

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SÜREKLİ GÖZLEM YAPAN REFERANS İSTASYONLARI TEKNİĞİ İLE İNSANSIZ
HAVA ARAÇLARININ KONUMLANDIRILMASI**

EMRAH GÜRÇAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOMATİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ATINÇ PİRTİ**

İSTANBUL, 2017

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜREKLİ GÖZLEM YAPAN REFERANS İSTASYONLARI TEKNİĞİ İLE İNSANSIZ
HAVA ARAÇLARININ KONUMLANDIRILMASI**

Emrah GÜRÇAY tarafından hazırlanan tez çalışması 21.12.2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Atıncı PİRTİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Atıncı PİRTİ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Uğur ŞANLI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Bihter EROL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Bu tez çalışmasında Türkiye’de ve dünyada hızla gelişen İnsansız Hava Araçlarının seyrüsefer halinde CORS Tekniği kullanılarak daha hassas konumlandırılabilceği ve bu hassas konumlandırma sayesinde elde edilecek sonuç ürünlerin daha hassas ürünler olacağı Büroda Değerlendirme (PPK: Post Process Kinematic) yöntemi kullanılarak incelenmek istenmiştir.

CORS Tekniği sayesinde tek gezen GPS alıcısı ile cm mertebesinde koordinat hassasiyeti elde edilebilmektedir. İnsansız Hava Aracını tek gezen GPS alıcısı olarak düşünürsek bu tekniği kullanarak İnsansız Hava Araçlarını da hassas bir şekilde konumlandırılabilceği düşünülerek tez çalışması yürütülmüştür. İnsansız Hava Araçlarının uzak mesafelere gidebilmeleri ve yüksek irtifalara çıkabilmelerinden dolayı kontrol istasyonu ile İHA arasında iletişim veya sinyal kaybı olabilmektedir. Bu sebeple uygulamamızda CORS Tekniği yerine Büroda Değerlendirme (PPK: Post Process Kinematic) yöntemi seçilmiştir.

Öncelikle tez konusunu seçerken bilgi ve tecrübesini esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. Atınç Pırtı’ya ve tez aşamasında tüm imkanlarını seferber eden çok değerli meslektaşım Hasan Güner’e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca İnsansız hava araçlarını ve zamanalarını bana tahsis eden UGS Müh. Hrt. İnş. Mak. Truzim ve Tic LTD. ŞTi firmasına ve zorlu tez sürecinde ve tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Aralık, 2017

Emrah GÜRÇAY

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin amacı	3
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI	4
2.1 Tarihçe	5
2.2 İHA Alt Sistemleri	6
2.2.1 Kontrol İstasyonu	6
2.2.1.1 Kontrol İstasyonu Özellikleri.....	7
2.2.1.2 Kontrol İstasyonu Alt Sistemleri	7
2.2.1.3 Kontrol İstasyonu Açık Sistem Mimarisi	9
2.2.1.4 Örnek Mini İHA Yer Kontrol İstasyonu.....	10
2.2.1.5 Yakın Menzil Yer Kontrol Sistemleri	10

2.2.2	Faydalı Yük	13
2.2.2.1	Faydalı Yük Kontrolü	14
2.2.3	Hava Aracı	15
2.2.3.1	Sınıflandırma	15
2.2.4	Seyrüsefer Sistemi	16
2.2.4.1	NAVSTAR Global Positioning System (GPS)	16
2.2.4.2	TACAN (Tactical Air Navigation, Taktiksel Hava Navigasyonu)	17
2.2.4.3	LORAN C (Long Range Navigation, Uzun Mesafeli Navigasyon)	17
2.2.4.4	İnertiyel Navigasyon Sistemi ve GPS	18
2.2.4.5	Kontrol ve Stabilize	20
2.2.5	Haberleşme Sistemi	24
2.2.5.1	İletişim Araçları	25
2.2.5.2	Görüş Hattı (LOS : Line of Sight)	26
2.2.5.3	Görüntü İstasyonu ile İHA arasındaki İletişimin Kaybolması	28
2.2.5.4	İletişim Veri Oranı ve Band Genişliği Kullanımı	28
BÖLÜM 3		
CORS TEKİNİĞİ ve GNSS		29
3.1	CORS Tekniği	29
3.2	Gerçek Zamanlı GNSS Ağ Prensipleri	31
3.3	CORS (Tusaga Aktif) Projesi	34
3.4	Diferansiyel GPS Yöntemi	36
3.5	Gerçek Zamanlı Kinematik GPS (RTK GPS)	37
BÖLÜM 4		
CORS TEKİNİĞİNİN İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA KULLANIMI		40
4.1	İHA ile Havadan Haritalama	41
4.2	Büroda Değerlendirme Yöntemi	41
4.3	Uygulama	42
4.4	Uçuş ve Fotoğraf Çekimleri	46
4.5	Uçuş Sonu İşlemleri ve Büroda Değerlendirme	47
BÖLÜM 5		
SONUÇ VE ÖNERİLER		49
KAYNAKLAR		51
EK-A		54

KOORDİNAT ANALİZİ	54
ÖZGEÇMİŞ	58



SİMGE LİSTESİ

Δh	Yükseklik Farkı
Δu	Uzunluk Farkı
H_1	Yükseklik
H_2	Yükseklik
$L_1 =$	L1 Frekansı
L_2	L2 Frekansı
Σ	Toplam

KISALTMA LİSTESİ

CORS	Continuously Operating Reference Stations
DGPS	Differential Global Positioning System
DSO	DirectSensor Orientation
DTED	Digital Terrain Elevation Data
DY	Y Yönündeki Koordinat Farkı
DX	Yönündeki Koordinat Farkı
EO/IR/SAR	Electro-Optical/Infrared/ Synthetic Aperture Radar
FCS	Flight Control System
FKP	Alan Düzeltme Tekniği
GM	Global Mapper
İHA	İnsansız Hava Aracı
IMU	Inertial Measurement Unit
INS	Inertial Navigation System
LOS	Line of Sight
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
KBRN	Kimyasal, Biyolojik, Radyolojik ve Nükleer
MAC	Master Auxiliary Concept
N.N	Nokta No
PPK	Büroda değerlendirme Kinematik
RTCM	Radio Technical Commission For Maritime Services
RGT	Remote Ground Terminal
RINEX	Receiver Independent Exchange Format (Alıcı Bağımsız Değişim Biçimi)
RTK	Real Time Kinematik (Gerçek Zamanlı Kinematik)
RVT	Remote Viewing Terminal
SPP	Single Point Positioning (Mutlak Konum Belirleme)
TUSAGA Aktif	Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı Aktif
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
VRS	Virtual Reference Station
Y.K.İ.	Yer Kontrol İstasyonu

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 İHA	4
Şekil 2. 2 Kontrol İstasyonu.....	7
Şekil 2. 3 İHA için Temel Kontrol İstasyonu Bileşenleri.....	8
Şekil 2. 4 Çöl Kartalı 3 - İletişim Sistemi ve Anteni.....	10
Şekil 2. 5 Sprite Sistemi için Seçilen Araç.....	11
Şekil 2. 6 Bağımsız kontrol istasyonu	12
Şekil 2. 7 Konsol Modülünün Üstündeki Görev Monitörlerindeki Görüntüler	12
Şekil 2. 8 LORAN Çalışma Prensibi	18
Şekil 2. 9 Yatay İniş Kalkış Yapabilen Uçak Aerodinamik Kontrol Yüzeyi.....	21
Şekil 2. 10 Tipik temel uçuş kontrol sistemi.....	22
Şekil 2. 11 Görüş hattı	26
Şekil 2. 12 Görüş Hattı Uzaklığı	27
Şekil 3. 1 CORS Tekniğinin Kullanım Alanları	34
Şekil 3. 2 Referans İstasyonları	35
Şekil 4. 1 PPK Yöntemi	42
Şekil 4. 2 Ortomozaik ve Yer Kontrol Noktaları	43
Şekil 4. 3 Uçuş Rotası	46
Şekil 4. 4 Uçuşa Ait Fotoğraf Çekimleri	46
Şekil 4. 5 RTK GPS ile Elde Edilen Yükseklik Koordinat Analizi.....	47
Şekil 4. 6 İHA Üzerindeki GPS ile Elde Edilen Yükseklik Koordinat Analizi	48
Şekil 4. 7 RTK GPS ile Elde Edilen Yatay Koordinat Analizi.....	48
Şekil 4. 8 İHA Üzerindeki GPS ile Elde Edilen Yatay Koordinat Analizi.....	48

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1 Avrupa ülkeleri ve ABD tarafından askeri İHA sistemleri için yapılan harcamalar	6
Çizelge 2. 2 INS, GPS ve INS/GPS Karşılaştırması	19
Çizelge 2. 3 Radyo Frekans Spektrumu [5]	26
Çizelge 3. 1 RTK GPS-DGPS Farkları.....	39
Çizelge 4. 1 Yer Kontrol Noktaları	43
Çizelge 4. 2 İHA da Kullanılan GNSS in Özellikleri	45

SÜREKLİ GÖZLEM YAPAN REFERANS İSTASYONLARI TEKNİĞİ İLE İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KONUMLANDIRILMASI

Emrah GÜRÇAY

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Atınç PİRTİ

İnsansız Hava Araçları son yıllarda endüstrinin ve kamu sektörünün vazgeçilmez araçlarından biri olmuştur. İlk olarak askeri alanda yerini alan İnsansız Hava Araçları günümüzde arkeolojide, tarımda, ormanlık alanların belirlenmesinde, afet yönetiminde ve harita yapımında kullanılmaktadır.

CORS Tekniğinin hayatımıza girmesi ile birlikte tek sabitten hassas ölçümler yapılabilmekte, gerçek zamanlı kinematik ölçülere göre daha hassas koordinatlar elde edilebilmekte ve ölçümlerde daha geniş kapsama alanına sahip olunabilmektedir.

İHA'lar ile yapılan ölçümlere incelediğimizde uçakla yapılan fotogrametrik harita yapımına kıyasla İHA'lar, daha hızlı, daha hassas, düşük maliyetli ve tekrarlı ölçüm imkanına sahiptirler. Bu avantajlarının yanında havada kalış süresinin kısa olması, rüzgardan çok daha fazla etkilenmeleri, uçuş esnasında yer istasyonunda bulunan GPS anteni ile radyo bağlantısının kopması gibi dezavantajları da vardır.

CORS Tekniği ile İHA kullanımının sağladığı faydaları bir araya getirdiğimizde sonuç ürünleri elde etmek daha hızlı ve daha az maliyetli olacak, ayrıca uçakla yapılan ölçümlere göre de daha hassas ürünler elde edilebilecektir.

Tüm uçan hava araçlarında konumunu ve yönünü belirlemek için bir GPS alıcısı bulunmaktadır. UASTÜRK isimli İnsansız Hava Aracımıza kendi GPS alıcısına ek olarak CORS Tekniğini büroda değerlendirme yöntemi (PPK : Post Process Kinematic) ile

yapabilmek için çift frekanslı RTK GPS alıcısı monte edildi. Bu sayede uçağın üzerinde bulunan GPS aletinin ve RTK GPS aletinin kaydettiği verileri karşılaştırma imkanı bulduk.

Deneyimizde İHA ile Yer Kontrol istasyonu arasındaki radyo bağlantısının kopması durumunda tüm uçuşun tekrar yapılması gerektiğinden, radyo bağlantı kopmasını elimine etmek için büroda değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle uçuş esnasında İHA'ya monte edilen RTK GPS ve İHA üzerindeki GPS alıcısına kaydedilen GPS verilerine aynı zaman dilimi içerisindeki CORS istasyonundan geçmişe dönük veriler kullanılarak düzeltmeler getirildi.

İlk olarak RTK GPS alıcısına getirilen düzeltmelerle tüm fotoğrafların merkez koordinatları hesaplanarak ortomozaik ürün elde edildi. Aynı işlem İHA üzerindeki GPS alıcısı kullanılarak da yapıldı ve diğer bir ortomozaik ürün elde edildi. Ardından deney alanında kullanılan 17 adet yer kontrol noktası ile oluşturulan ortomozaiklerin koordinat doğruluk analizi incelendi. Bu analiz sonucunda RTK GPS ile yatayda ve düşeyde santimetre mertebesinde (10.7 - 26.9 cm) ortomozaik ürün elde edilirken İHA üzerindeki GPS alıcısı ile yatayda ve düşeyde desimetre mertebesinde (3.687 – 3.194 m.) ortomozaik ürün elde edildi.

Uçakta bulunan GPS-IMU sistemiyle hesaplanan koordinatlarının yaklaşık 2-5 m. doğrulukta olduğunu düşünürsek bu yöntem sayesinde İHA'nın koordinatlarının düşeyde ve yatayda, desimetre mertebesinde santimetre mertebesine düşeceği öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: İnsansız hava Araçları, GPS, RTK GPS, CORS Tekniği, GNSS, IMU, Fotogrametrik Nirengi

ABSTRACT

POSITIONING OF UNMANNED AIR VEHICLES BY USING CONTINUOUSLY MONITORING REFERENCE STATIONS

Emrah GÜRÇAY

Department of Surveying Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Atınc PİRTİ

Unmanned Air Vehicles have become one of the indispensable tools of industry and public sector in recent years. Although Unmanned Air Vehicles, initially started to use in military area, it is now used in archeology, agriculture, identification of forest areas, disaster management and in map construction.

By using CORS Technique in surveying, more precise positioning measurements can be observed with only using one fixed GPS, and also these measurements can be done in wider coverage areas.

When the photogrammetric mapping made by the UAVs compare with photogrammetric mapping made by airplanes, UAVs are faster, more precise, more cost-effective and have opportunity to make repetitive measurements. Besides these advantages, there are also some disadvantages which are the short duration of flight time, more affected by the the wind and disconnection of the radio link between the GPS antenna and the ground station during flight time.

When we combine the benefits provided by the use of CORA with the use of CORS Technique, it will be faster and less costly to obtain the final products, and more accurate products will be obtained than with the measurements made with the airplane.

All air vehicles have a GPS receiver to determine their position and direction. In addition to its GPS receiver, the UASTURK unmanned aerial vehicle was also equipped with a dual-frequency RTK GPS receiver for measuring with CORS Technique. By this way, we made a comparison of the GPS device on the plane and the equipped RTK GPS device.

In our experiment, in the event of a radio link failure between the UAV and the Ground Control Station, the entire flight must be redone, for this reason an office evaluation method was used to eliminate radio link failure. With this method, the GPS datas recorded on the default GPS receiver and on the equipped RTK GPS receiver were corrected using past datas from the CORS station in the same time slot.

First, the center coordinates of all the photographs were calculated by the corrections made for the RTK GPS receiver, and first orthomosaic product was produced. The same process was also performed using the GPS receiver on the UAV and second orthomosaic product was produced. Coordinate accuracy analysis of the orthomosaic products were made by 17 ground control points used in the field. As a result of this analysis, first orthomosaic product (RTK-GPS corrected) has centimeter level accuracy (10.7 cm horizontal - 26.9 cm vertical) and the second orthomosaic product (UAV-GPS corrected) has decimeter level accuracy (3.687 m horizontal - 3.194 m. vertical)

If we consider that the coordinates calculated with the GPS-IMU system on board are accurate about 2-5 m, by this method the coordinates which observed by the measurement of UAV will be in the cm level.

Keywords: Unmanned Air Vehicle, GPS, RTK GPS, CORS Technique, GNSS, INS, IMU, Photogrammetric triangulation

1.1 Literatür Özeti

Havacılığın ilk başladığı yıllarda pilotlar yönlerini pusula ve harita yardımı ile bulabilmekteydiler. Bu sebeple gece uçuşları yapılamamakta sadece gündüz uçuşları yapılabilmekteydi. Teknolojik gelişmelerle birlikte günümüzde uçakların yön ve konum bilgileri çok gelişmiş yön bulma, mesafe belirleme, pistlere yaklaşma/iniş yapma cihazları, sistemleri ile belirlenebilmekte gece ve gündüz uçuşları yapılabilmektedir.

Son yıllarda insanlı hava araçların yerini alan İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemlerinde yaşanan teknolojik gelişmeler söz konusu platformların pek çok alanda kullanılması hususunu da beraberinde getirmiştir. Düşük maliyetli olmaları ve nispeten daha hızlı, esnek ve kolay kullanılabilmesi nedeni ile İHA'lar özellikle havadan bilgi toplama ihtiyacının yoğun olduğu Haritacılık, Keşif/Gözetleme ve Güvenlik gibi sektörlerden ilgi görmektedirler. Bu noktada, başarıyı belirleyen en kritik hususlardan biri toplanan ve işlenen bilginin ve sonuçta elde edilen ürünün hassasiyeti ve doğruluğu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kapsamda yapılan çalışmalar öncelikle İHA'ların hassas konumlandırması üzerine olmuştur. Platformun hassas konumunun bilinmesi elde edilecek ürünlerin de doğruluğuna pozitif yönde katkıda bulunacaktır.

İHA'larla havadan haritalama konusunda "İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Büyük Ölçekli Fotogrametrik Harita Üretim Olanaklarının Araştırılması" çalışması Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden Serkan KARAKIŞ tarafından incelenmiş ve 5 cm çözünürlükte hava fotoğrafları elde edilmiştir. Lensten kaynaklanan sorunlardan ötürü bazı fotoğraflar bulanık olarak elde edilmiştir.

Daha önce aynı bölgede yapılan ortofo çalışması ile elde edilen İHA ile elde edilen ürünler karşılaştırıldığında Y yönünde 22 cm kayıklık gözlemlenmiştir.

Atak, V. ve Aksu, O., “Algılayıcı Yönelme Sistemleri” (Temmuz 2004) Hrt.Gn.K.lığı, Harita Dergisinde hazırlanan makalesinde, nirengi noktası tesis edilmeden ve arazi çalışmaları yapılmadan hava fotoğrafı alımını gerçekleştirerek doğrudan fotogrametrik değerlendirme işlemlerine başlanması ve Global Positioning System-Inertial Navigation System (GPS-INS) ve Global Positioning System-Inertial Measurement Unit (GPS-IMU) adı verilen Algılayıcı Yönelme Sistemleri ile arazi çalışmaları ve fotogrametrik nirengi ölçüm işlemlerinde zaman ve maliyet tasarrufu araştırılmıştır. Araştırma sonucunda uçuştan önce yapılacak kalibrasyon uçuşunda yer kontrol noktalarına ihtiyaç duyulması, kalibrasyon uçuşlarının her uçuş faaliyetinden önce yapıp yapılmayacağının netlik kazanmaması ve kalibrasyon uçuşunun yapılacağı referans-test alanının iş bölgesine olan uzaklığının ne kadar olması gerektiği soruları netlik kazanmamıştır.

Austin, R.’nin “Unmanned Aircraft Systems” (2010) adlı kitabında İHA’ların konumunun belirlenmesi için hangi sistemlerin kullanıldığı ve sistemlerin doğrulukları incelenmiştir. Günümüzde konum doğruluğunun için en uygun sistemin GPS sistemi olduğu fakat İHA’larda GPS sisteminin tek başına yeterli olmadığı, GPS sisteminin yanında ivme ve dönüklük bilgilerini sağlayan, ölçüm hızı yüksek olan ve zamana bağlı olarak konum hassasiyeti azalan bir sistem olan IMU’nun da GPS sistemi ile tümleşik olması gerektiği bu sayede İHA’ların konum bilgilerinin daha hassas bir şekilde bulunabileceği ortaya konmuştur.

Jong-Hyuk Kim, Stuart Wishart ve Salah Sukkarieh “Real-time Navigation, Guidance, and Control of a UAV using Low-cost Sensors” adlı makalelerinde düşük maliyetli IMU ve GPS sistemlerinin daha önceden uçuş kontrol bilgisayarına yüklenen rotadaki manevraları yapıp yapamayacaklarını incelemişler ve test sonucunda İHA’nın istenilen rotada uçuş yapabildiğini gözlemlemişlerdir.

Yukarıda yapılan çalışmalar kapsamında, elde edilen sonuçlar ve deneyimlerde hava araçlarının konum belirlemede IMU-GPS entegrasyonu kullanıldığı , INS’ten gelen anlık konum bilgilerinin zamanla bozulmasının GPS ile yapılan gözlemlerle önemli

ölçüde elimine edildiği bu sayede GPS-IMU sistemlerinin yön bulmada en iyi yöntem olduğu, bununla beraber DGPS yöntemi ile 2-5 m arasında konum doğruluğu elde edildiği ortaya konmuştur. DGPS yöntemine benzer olan RTK CORS tekniği ile bu konum doğruluğunun arttırılabileceği, elde edilecek sonuç ürünlerin doğruluklarının daha yüksek olacağı, zamandan ve maliyetten tasarruf edileceği bu tez çalışmasında ispatlanmıştır.

1.2 Tezin amacı

İnsansız hava araçlarının günümüzde birçok alanda ve disiplinde yerini almasıyla birlikte onlardan elde edilebilecek ürünlerin de gün geçtikçe önemi ve doğruluğu artmaktadır. TUSAGA Aktif projesinin hayata geçmesiyle GPS ölçmelerinde elde edilen koordinat doğruluğunun hızlı ve ekonomik bir şekilde elde edilmesinden yola çıkılarak İnsansız Hava Araçlarının da seyrüsefer zamanında hassas koordinatlarının elde edilebileceği düşünülmüştür. Bu sayede İHA'lerden alınan koordinatların doğruluk derecesinin artması haritacılıkta, inşaatla, tarımda ve jeoloji ana bilim dallarında üretilen sonuç ürünlere de olumlu etki edecektir. Bu tezde İHA'ların üzerinde mevcut bulunan GPS ile daha sonradan monte edilmiş çift frekanslı GPS alıcıları arasındaki konumlandırma hassasiyeti ortamozaik, nokta bulutu ve yer yüzeyinde RTK GPS tekniği ile tesis edilen yer kontrol noktaları kullanılarak karşılaştırılmıştır. İncelenen ürünlerin doğruluğu, sonuçlar tezin son kısmında incelenmiştir. Yerde tesis edilen baz istasyonundan koordinat düzeltmeleri İHA ile GPS'in iletişimin kopma riskinden dolayı anlık olarak verilmemiş, büroda değerlendirme yöntemi ile daha sonra büroda işlenerek sonuç ürünlerin doğruluğu incelenmiştir.

1.3 Hipotez

Türkiye sınırları içerisinde kurulan TUSAGA Aktif ağını kullanarak İHA'lara GPS düzeltmeleri anlık olarak gönderildiğinde İHA'lerden daha hassas koordinatlar elde edilebilecektir. Bu hipotezin doğrulamasını İHA ile yer baz istasyonu arasındaki veri iletişimin kaybolma olasılığını dikkate aldığımız için büroda değerlendirme yöntemi kullanarak ispatlandı.

BÖLÜM 2

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

İnsansız Hava Aracı (İHA) terimi çok genel bir ifade ile, kokpitteki pilot tarafından kumanda edilmeyen, önceden belirlenmiş bir rotada ya da uzaktan kumanda ile uçan sabit ya da döner kanatlı hava araçlarını tanımlar [1]. Bir başka deyişle insansız hava araçları “İçinde pilotu olmayan aerodinamik güçlerle kalkış, uçuş ve iniş yapan; otomatik olarak veya bir operatör kontrolünde uçuşunu gerçekleştiren; üzerinde silah mühimmat veya faydalı yük taşıyabilen hava aracı olarak tanımlanmaktadır.” İHA’lar günümüzde bir çok alanda yaygın bir biçimde kullanılmakta ve her geçen gün yeni İHA teknolojileri geliştirilmektedir. Bu araçlar günümüzde askeri ve sivil çalışmalarda etkin birer yardımcı elemandır.



Şekil 2. 1 İHA

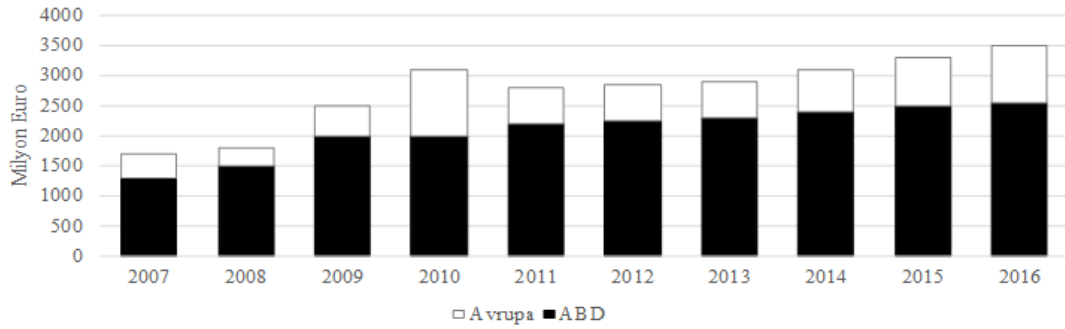
2.1 Tarihçe

İHA'lar insan veriminin tavan yapabileceği uzun süreli ve risk içeren operasyonlarda insan üzerindeki riski azaltmak üzere Birinci Dünya Savaşı yıllarından bu yana yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Aslına bakılırsa İHA'ların tarihçesi daha önceki yıllara dayanmaktadır. 1883'te İngiliz Archibald, bir uçurtmaya anometre (rüzgar/hava hızını ölçen alet) ilâştirip, meteorolojik ölçümler yapmıştır. Amerikan Hispanik savaşlarında, yine uçurtmaya yerleştirilmiş fotoğraf makineleriyle ilkel İHA istibarat uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Ancak gerçek anlamdaki ilk uygulama; 1916'da Elmer Sperry'nin ABD deniz kuvvetlerine ait Curtiss uçağının gyro-stabil uçuşunu göstermesiyle başlamıştır. Sonraları gene ABD'den Charless Kattering tarafından geliştirilmiş olan kumandaları önceden ayarlanan ve kanatlarını hedef üzerinde bırakıp dalışa geçen "Kattering Bug" lakaplı uçağın, 1918'deki uçuşuyla ilk "otonomi" ve nihayet Elmer Sperry'in oğlu Lawrance Sperry tarafından 1920'de radyo dalgalarıyla kumanda edilen Messenger uçuşuyla ilk "uzaktan kumanda" kavramlarının temelleri atılmıştır [2].

Yıllar boyunca sürekli gelişim ve ilerleme gösteren İHA'lar 2. Dünya Savaşı, Kore, Vietnam ve İsrail'deki savaşlardaki kullanımlarıyla dikkat çekmeye başlamıştır. Bu denli yoğun ve başarılı kullanımdan ötürü İHA'lar üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmaya başlamıştır. Zira, savaş alanında keşif, gözetleme ve istihbarat toplama görevleri gittikçe daha tehlikeli hale gelen İHA'lar her geçen gün yenilenmiştir [3].

1991 yılındaki Körfez Savaşında, Bosna ve Kosova harekâtları ile 2001 Afganistan ve 2. Körfez Savaşı, çok değişik boyut ve görevdeki İHA sistemleri muharip unsurlara bir çok fayda sağlamıştır. Bunu göz önünde bulunduran devletler İHA sistemlerine ciddi yatırımlar yapmaya başlamıştır. Bu yatırım hacmi her geçen sene artış trendi göstermiştir. İHA sistemlerine Avrupa ülkeleri ve ABD tarafından yapılan yatırımlar Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 2. 1 Avrupa ülkeleri ve ABD tarafından askeri İHA sistemleri için yapılan harcamalar



İHA sistemleri için yapılan tedarik ve Ar-Ge maksatlı harcamaların en az 2020'ye kadar bu şekilde bir artış trendinde devam edeceği değerlendirilmektedir [1].

Türkiye'de kullanılan İHA'lar ilk olarak Silahlı Kuvvetler bünyesinde kullanılmaya başlanmış, ASELSAN, TAI, Vestel ve Bayraktar gibi firmalar bu sektörde başı çekmişlerdir. Türk Silahlı Kuvvetleri envanterinde bugün birçok insansız hava araçları mevcuttur. Günümüzde sivil kullanımda da yerini alan İHA'lar, haritacılık sektöründe de havadan harita yapımında etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

2.2 İHA Alt Sistemleri

İnsansız hava aracı bir sistem olarak düşünülmelidir. Sistemin tam ve eksiksiz olması İHA'lardan alınan verimi yükseltmektedir. Birçok sistem gibi İHA sistemi de alt sistemlerden oluşmaktadır. Bu alt sistemler;

- Kontrol istasyonu
- Faydalı yük
- Hava aracı
- Seyrüsefer Sistemi
- Haberleşme Sistemi

2.2.1 Kontrol İstasyonu

Kontrol İstasyonu sistemin ana bileşenlerinden olup uçuşta bulunmayan pilotu ve faydalı yük operatörlerini ihtiva eden kısımdır.

2.2.1.1 Kontrol İstasyonu Özellikleri

Kontrol istasyonu insansız hava araçlarında insan-makine arayüzüdür. Kontrol istasyonu sayesinde operatör uçuş profilini yönetmek ya da planlanan uçuş programına müdahale etmek üzere up-link iletişim sistemleri vasıtasıyla hava aracını kontrol eder. Faydalı yüklerin kontrolü de kontrol istasyonu tarafından sağlanmaktadır.

Hava aracı gerçek zamanda down-link iletişimi sayesinde operatöre görüntü bilgileri ve faydalı yük çeşidine göre farklı tür bilgiler sunar. Bu veriler genellikle faydalı yüklerden gelen bilgiler, yardımcı sistemlerin durum bilgileri (housekeeping data), yükseklik, hız ve karasal konum bilgileridir.

Hava araçları ana kontrol istasyonu tarafından ya da otomatik iniş kalkış özelliğine sahip olanlar pist üzerinden iniş kalkış yapabilirler.



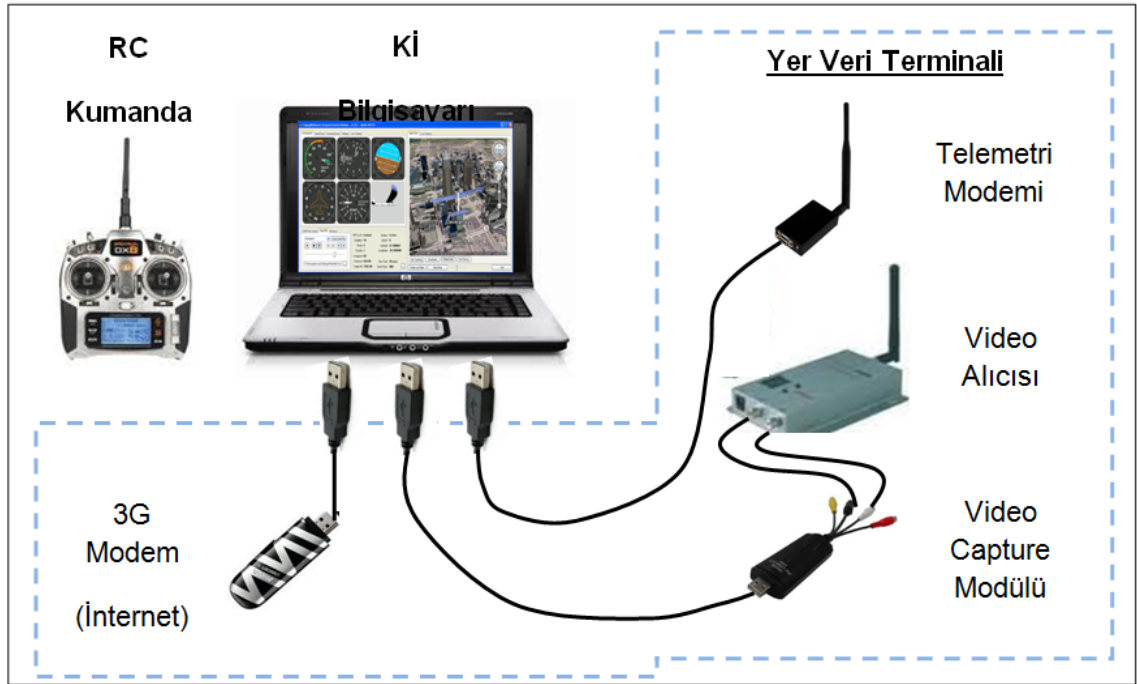
Şekil 2. 2 Kontrol İstasyonu

2.2.1.2 Kontrol İstasyonu Alt Sistemleri

Kontrol istasyonu tüm görevleri yapabilmek için bazı alt sistemler içerir. Bu sistemler hava aracının yapacağı göreve ve merkezle arasındaki maximum uzaklığa bağlıdır. Genel olarak alt sistemler aşağıdaki bileşenleri içerecek şekilde yapılandırılmıştır.

- İHA Uçuş Kontrolleri
- Faydalı Yük sistemi
- Kodlayıcı-Alıcı-Verici ve Operasyon Kontrolleri
- Bilgisayar

- Harita
- Datalar



Şekil 2. 3 İHA için Temel Kontrol İstasyonu Bileşenleri
cokiha.metu.edu.tr/sistemtasarimi.doc

İHA Uçuş Kontrolleri

İHA'nın ve kayıt aletlerinin durumunu gösterir. Kontroller otomatik uçuş kontrol sistemi ile arayüz oluşturur. Manuel olarak gerçek zamanda İHA'nın kontrolü için ya da iç içe geçmiş uçuş hafızasındaki alt programları seçmek için kullanılır. Örneğin programlardan biri İHA'nın istenen hızda belli bir yarıçap etrafında devriye olarak gezmesini sağlarken diğer bir program ise helikopter biçimindeki hava araçlarının istenilen koordinatta sabit olarak kalıp görüntü almasını isteyebilir.

Faydalı Yük Sistemi

İHA'ya yüklenen faydalı yükün tipini teşhis etmek ve bu teşhis ettiği faydalı yük için faydalı yük kontrollerini düzgünce ayarlayan bir alt sistem bulunmalıdır. Ayrıca faydalı yükün durum bilgisini ve faydalı yükten gelen datayı ekranda gösterir.

Kodlayıcı-Alıcı-Verici ve Operasyon Kontrolleri

Radyo anten direklerini yükselten ve indiren, manuel veya otomatik olarak yönlendiren, gerektiğinde frekanslarını değitirebilen bir sistemdir. İletişim durumunu göstermek için ayrıca ekran içerebilir. Arzu edilen konduktör (iletken kablo) uzunluğunu minimize etmek için radyo anteninin kontrol istasyonu üzerinde monteli olması gerekmektedir, fakat önemli olan radyo dalgalarının iyi bir şekilde yayılımı ve alımı için antenin uygun şekilde yerleştirilmesidir. Bazı askeri operasyonlar için yer kontrol istasyonu küçük ve saklı olmadığı durumda düşman taaruzuna açık olur. Genelde bunun için çözüm; anteni, küçük, mobil ve daha az keşfedebilir bir platformda uygun şekilde monte etmektir. Bu terminale uzak yer terminali (Remote Ground Terminal (RGT)) denir. Dezavantajı kendisine ait sistemle ve kontrol istasyonu ile iletişim için yer konuşlu fiber optik iletişime ihtiyaç duymasıdır. Çoğu operasyon için yer kontrol istasyonu ve uzak yer terminali koordinatları sisteme girilmelidir.

Bilgisayar

İHA'nın uçuş yolunu, konumunu görmek için ve navigasyon ekranına veriyi işlemek için gereklidir.

Harita Altlığı

Altlık harita görev planlaması ve gerekli hesaplamaların yapılabilmesi için kullanılır.

2.2.1.3 Kontrol İstasyonu Açık Sistem Mimarisi

Açık sistem mimarisi; sistemin ve alt sistemlerin yeni eklenecek sistemleri kendi sistem mimarisini değiştirmeden kabul etmesi manasına gelir. Bu yüzden yeni bir faydalı yük, İHA'nın ya da kontrol istasyonunun elektronik ve mekanik yapısını değiştirmeden monte edilebilmelidir. Hatta tamamen yeni bir İHA dahi eklense, yer istasyonu tarafından mevcut İHA ile eşgüdömlü yönetilebilmelidir. Bunu gerçekleştirmek için elektronik parçaların ve bilgisayar işletim fonksiyonlarının özelleştirilmesi ve eklenebilecek potansiyel sistemlere uyumlu bir şekilde dizayn edilmesi gerekmektedir.

2.2.1.4 Örnek Mini İHA Yer Kontrol İstasyonu

Mini İHA (Çöl Kartalı 3) Şekil 2.4'te görüldüğü üzere iletişim sistemi ve anteniyle birlikte taşınabilir yer kontrol istasyonu kullanmaktadır. Anten daha yüksek menzil için ayarlanabilir tripodun üzerine yerleştirilmiştir. Anten yer kontrol istasyonundan 100 m uzaklıktaki bir (binanın) üzerine de yerleştirilebilir.



Şekil 2. 4 Çöl Kartalı 3 - İletişim Sistemi ve Anteni

Yer kontrol istasyonu, yol noktalarını haritaya işlemek ve diğer önemli özellikleri kullanabilmek için grafiksel kullanıcı arayüzü ve dokunmatik ekrana sahiptir. Çöl Kartalı-3 yazılım olarak ek görevleri yerine getirebilmek için eşyükseltili sayısal yükseklik verisini kullanılır. (DTED : Digital Terrain Elevation Data) DTED bilgisi uzaklık kaybı ya da görüş hattı kaybı durumları için hava aracına fırlatma anında yüklenir. Görev bilgisi, hava aracına yeni bir görev verildiğinde taktiksel durumlar için, hemen yenilebilir. Askeri birimlere İHA'dan gelen görüntüleri depolamasına izin verir.

2.2.1.5 Yakın Menzil Yer Kontrol Sistemleri

Çoğu hava araçlarının sistemleri ya eğik fırlatmalı ya da dikey iniş kalkış yapabilen sistemlerdir. Kurtarma ve fırlatma safhaları hariç bu iki sistemin gereksinimleri ve kapasiteleri benzerdir.

Kapalı menzil sistemlerin yer kontrol istasyonları genelde mobildir ve sistem bir arazi taşıtının içinde yer alır. Şekil 2.5'teki Sprite Sistem bunun bir örneğidir. 2 radyo frekansı hava aracı ile iletişime geçmek ve ayrıca gerektiğinde inter-network (ağlar arası iletişim) için kullanılır. DGPS anten opsiyonel olup aracın üstüne monte edilir. Aracın rüzgardan dolayı ya da çevresinde çalışan araçlardan dolayı salınımına maruz

kalmasını önlemek için araç kaldıracılarla sabit duruma getirilir. Aracın stabil olmasının nedeni yüksekliği belirleme gereksinimindendir.



Şekil 2. 5 Sprite Sistemi için Seçilen Araç

Şekil 2.5'teki araca modüler kontrol konsollarını kullanılacak şekilde duyarlı bir dizayn verilmiştir. Sistemin çalışır durumunda, iki mürettebat konsolları kullanır.

Bağımsız sistemlere normalde iki operatör gereklidir. Sol tarafta hava aracını kontrol eden (yani komutan) olur. Sağ tarafta ise faydalı yükü kontrol eden görüntüyü yorumlayan operatör oturur. Uçağın icra edeceği görevler farklılık göstermekle beraber buna bağlı olarak faydalı yükler de farklılık gösterebilir ve bu faydalı yüklerin kullanımını sağ taraftaki operatör gerçekleştirir. Ayrıca navigasyon ve tüm sistemin durumuyla ilgili konularda da komutana yardımcı olur. Sistemin tüm ağ ile olan işbirliğinin entegrasyonunun derecesine bağlı olarak komutan çoğunlukla iç iletişimden sorumludur. Hangi görev seçilirse seçilsin; navigasyon, uçuş profili , program ön işlemleri her üç monitörde de gözükmesi, görevin esnekliği ve mürettebat arasındaki işbirliğini sağlar.



Şekil 2. 6 Bağımsız kontrol istasyonu

Operatörlerin birbirlerinin görevlerini bilmesi operatörlerin üzerindeki stresi azaltmakta ve acil bir durumda bir operatörün yedeğinin olması sistemin işleyişine katkı sağlamaktadır.

Yer kontrol istasyonu içerisinde güç jeneratörü ve havalandırma bulundurmaktadır. Bunlar sadece mürettebatın konforu için değil ayrıca bilgisayarın, radyo frekanslarının ve monitörlerin iklimsel kontrolü için de gereklidir. Şekil 2.7’de her konsol modülünün üstündeki görev monitörlerindeki tipik görüntüleri göstermektedir.



Şekil 2. 7 Konsol Modülünün Üstündeki Görev Monitörlerindeki Görüntüler

Soldaki monitor gündüz yoğun sisteki nehir kenarını göstermektedir. Bu görüntü istenildiği takdirde yasal işlemler için saklanabilir. Ortadaki monitor hava aracının konumu ve Yer Kontrol İstasyonuna (Y.K.İ) olan uzaklığını gösterir. Turuncu halka hava aracının üsse yeterli yakıtla tekrar dönebilmesi için kalması gereken limitleri göstermektedir. Uçuş süresince yakıt azalmasından dolayı halka giderek daralmaktadır. Ekranın sağında geometrik datalar; hava aracının yüksekliği, hızı, yönü ve koordinatlarıdır. İstendiğinde dijital harita da ekranda gösterilebilir. En sağdaki monitor

program ön işlemlerini göstermektedir. Ekranda gösterilen datalardan bazıları şunlardır.

- Yakıt göstergesi
- Motor-Silindir sıcaklık göstergesi
- Pervane ve motor hızı
- Motor hatası
- Elektrik güç sağlayıcılar
- Kontrol fonksiyonları ve konumlandırmalar
 - Elevator
 - Konatak
 - Rudder
 - Motor eyleyici
- Kritik parçaların fonksiyonları ve sıcaklıkları
 - Altimetre
 - Cuyro
- Monte edilmiş faydalı yükler
- Kamera ayarları
- Hava aracının koordinatları
- Radyo frekansları
- Faydalı yük ve görevle ilgili diğer datalar

Her parametre için durum barı tahsis edilmiştir. Bu bar parametre kendi sınırları içindeyse yeşil, limite yakınsa turuncu, limitlerin dışındaysa kırmızı renkte olur.

Eğer bir bar kırmızı renge dönerse, kırmızı renkte bir uyarı ışığı operatörü uyarmak için yanıp söner. Operatör bu durum için ne yapılacağına karar verir.

2.2.2 Faydalı Yük

Faydalı yüklerin türü ve performansı operasyon görevindeki ihtiyaca göre tasarlanır. Sabit lensden oluşan basit kameradan yüksek güçlü radarlara kadar çeşitlilik gösterir. Bazı daha gelişmiş İHA'lar faydalı yük olarak çeşitli sensörlerin birleşiminden oluşan sistemler taşırlar. Bu sistemler yardımıyla elde edilecek bilgi daha geniştir ve bir tek

sensör tarafından algılanması imkansızdır. Bunun için optik renkli video kamera, termal kamera ve radar tarama sistemlerinin birleşiminin oluşturduğu görüntüler gösterilebilir. Fakat bu sistemlerinin beraber kullanılması durumunda İnsansız Hava Aracının havada kalış süresi azalabilmektedir. Genel olarak faydalı yüklerin işlevleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Görüntü İstihbaratı (EO/IR/SAR)
- Sinyal İstihbaratı
- Haberleşme Röle
- NBC Algılama
- Atmosferik Gözlem
- Karıştırma (RADAR/Haberleşme)
- Fiziksel İmha

2.2.2.1 Faydalı Yük Kontrolü

Uçağın kontrolüne ve stabilizesine ek olarak, faydalı yük kontrolü de önem arz etmektedir. Uçağın kontrolü istenilen yere uçağı getirmek için gereklidir fakat faydalı yük düzgün bir şekilde kontrol edilmezse uçağın istenilen yere gitmesinin bir anlamı olmayacaktır. Faydalı yükün kontrolü (FCS :Flight Control System) ile ya da ayrı bir modül kullanarak gerçekleştirilmektedir. Faydalı yükün seçimi uçağın hangi operasyonda kullanılacağına bağlıdır.

Faydalı yükün kontrolünden kasıt çoğu faydalı yükler için, faydalı yükü hassas bir şekilde hedefin üzerine getirip orada tutmaktır. Bu başlangıçta faydalı yükün hareket ettiricilerini iki eksenli manuel olarak yönlendirmek daha sonra tribulansa duyarlı uzaysal stabillizasyonu uçak ile gerçekleştirmektir.

Hedef üzerinde görüş hattında faydalı yükü tutmak, görüş hattının stabilizasyonuna dayanır. Bu da elektro optik sensör hedef kitleme sistemi ya da hedefin ve uçağın GPS koordinatlarının hesaplamasını içeren DGPS yöntemi kullanarak yapılmaktadır.

Uçuş Kontrol Sistemi (FCS) iki set koordinat eksenlerini kontrol etmektedir. Bunlar uçak koordinat eksenleri ve faydalı yük koordinat eksenleridir. Faydalı yükün eksenleri uçağın

ile birleşiktir. Bu nedenle uçak bambaşka bir yöne ilerlerken faydalı yük tam tersinde bir noktayı hedefliyor olabilir.

Bu olay birçok manevra kabiliyetine imkan sağlar. Örneğin büyük geniş bir deniz üzerinden geçerken keşif görevi için kullanılan faydalı yük uçağın her iki tarafındaki belirli genişlikteki uçuş çizgisinde belirli frekans aralığında, görüş hattındaki görüntüye sabitlenmek için programlanmış olabilir.

2.2.3 Hava Aracı

Bir çok değişik ebat ve boyutta değişik amaçlı bir çok hava aracı bulunmaktadır. Hava aracının başlıca görevi faydalı yükü ve onun çalışması için gerekli olan alt sistemleri uygulama alanına taşımaktır. Hava aracı konfigürasyonu tasarımında diğer belirleyici etkenler aracın işlem menzili, hızı ve görev ihtiyacına göre havada kalış süresidir.

2.2.3.1 Sınıflandırma

İHA'lara ağırlıklı olarak keşif ve gözetleme görevlerinin yüklenmesi, bu görev tipine en küçük askeri birimden en büyüğüne kadar tüm seviyelerde ihtiyaç duyulması nedeniyle, önemli bir kuvvet çarpanı olmuştur: Bir piyade bölüğünün keşif-gözetleme bağlamında bir İHA'dan beklentisi ile bir ordu karargâhınıninkinin çok farklıdır. Bu farklılık, İHA'larda menzil, havada kalış süresi, faydalı yük taşıma kapasitesi ve alt sistem bakımından çok çeşitli tasarımların ortaya çıkmasına neden olmuştur [5]. Nitekim günümüzde, bu sayılan özelliklere göre değişik İHA sınıflandırmaları mevcuttur. Bu sınıflandırmaların başlıcaları şu şekilde özetlenebilir.

Havada Kalış Süresine Göre

- Uzun : 24 saatten fazla
- Orta : 5 ila 24 saat arası
- Kısa : 5 saatten az

Görev Yapılan İrtifaya Göre

- Yüksek : 10.000 m'den yukarı irtifalar
- Orta : 1000 m ile 10.000 m arası irtifalar
- Alçak : 1000m'ye kadar olan irtifalar

Menzile Göre

- Uzun : 1.500 km'den fazla
- Orta : 100 km ile 400 km arası
- Kısa : 100 km'den az

Kullanılan Motor Tipine Göre

- Piston
- Turboprop
- Turbofan / Turbojet
- Elektrik
- Diğer

Göreve Göre

- İstihbarat, Gözetleme, Keşif,
- Muharebe
- Nakliye
- Denizaltı Savunma Harbi

2.2.4 Seyrüsefer Sistemi

İHA operatörü İHA'nın konumunu bilmek zorundadır. Otomatik operasyon için ise konumun izleniyor olması gerekir. Noktalar arası navigasyon ve konumlama olarak şu an en popüler sistem GPS'dir. GPS bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Bu kısımda Global Positioning System(GPS) ve INS Sistemleri hakkında genel bilgilere değinilecektir.

2.2.4.1 NAVSTAR Global Positioning System (GPS)

GPS Amerika Birleşik Devletlerinin Savunma bakanlığı tarafından geliştirilmiş olup resmi ismi NAVSTAR GPS'tir Başlangıçta 1982 yılına kadar ABD Silahlı Kuvvetleri tarafından limitli kullanımı varken daha sonra genel kullanıma açılmıştır. İHA sistemi kullanılabilir referans istasyonlarının network ağını ya da kendi yer kontrol istasyonunu referans istasyon olarak kullanılabilir. Referans istasyondan uzaklaştıkça her 100 km'de 0.2 m GPS doğruluğu düşmektedir [5].

GPS sistemi İHA'nın operasyonu için çok geniş bir alan imkanı tanır. Bu durumda GPS sinyalinin kesme girişimi olasılığı endişe yaratan bir faktördür. GPS sinyali alıcıda zayıflama eğilimindedir ve bundan dolayı geomanyetik fırtınalar, beklenen veya beklenmeyen radyo sinyalleri ile çok kolay bozulabilir. Bundan dolayı düşman GPS sinyalinin daha yakın güçlü bir sinyal ile bozabilir [5].

Bazı askeri birlikler, TACAN ve LORAN C gibi sistemleri GPS yaygınlaşmadan önce kullanmaktaydılar. Bu sistemler GPS ile kıyaslandığında dezavantajları olduğu gözlenmekte fakat bu sistemler hala kullanılmaktadırlar.

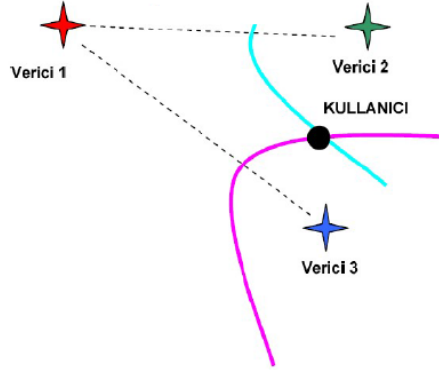
2.2.4.2 TACAN (Tactical Air Navigation, Taktiksel Hava Navigasyonu)

LORAN ve GPS gibi TACAN'da yerde sabitlenmiş olan vericilerin yaymış olduğu radio dalgalarıyla konum sabitleme için kullanılır. Bu sayede uzaklık da belirlenmiş olur. GPS sinyallerinden daha güçlü olmalarına rağmen karıştırılabilirler. Askeri kullanımda en büyük dezavantajı düşmanın bu sistemle donatılmış bir uçağı izleyebilir olmasıdır.

2.2.4.3 LORAN C (Long Range Navigation, Uzun Mesafeli Navigasyon)

Loran-C gemi ve uçak navigasyonu için tasarlanmış, düşük frekanslı navigasyon ve zamanlama sistemidir. LORAN sisteminde (Long range radio system) TACAN'dan daha güçlü vericiler kullandığından dolayı karıştırılması çok daha zordur.

Loran alıcısı, verici istasyon çiftlerinden gelen aynı anda gönderilmiş sinyaller arasındaki zaman farkını ölçer. Bu zaman farkı ölçümünü alıcının üzerinde olduğu hiperbolik bir konum çizgisi tanımlar. İki ya da daha fazla defa alınmış zaman farkı ölçümleri sonunda tanımlanan hiperbolik konum çizgilerinin kesişimi ise alıcının konumunu tanımlar. Genellikle 150-300 metre doğruluğa sahiptir [5].



Şekil 2. 8 LORAN Çalışma Prensibi

E-LORAN (Geliştirilmiş LORAN), LORAN C'nin modern uygulamalara uygun hale getirmek için güncelleştirilmiş halidir. 8-20 m doğruluk elde etmek mümkündür.

2.2.4.4 İnersiyal Navigasyon Sistemi ve GPS

İnersiyal Navigasyon Sistemi (INS); devamlı olarak (kesintisiz) 3 ortogonal doğrusal ivme vektörünü ve 3 açısal dönüklüğü ölçen bir sistemdir. INS teorisi; Newton'un, "İnersiyal koordinat sistemine göre hareket halindeki bir aracın ölçülen gücü; sistemin doğrusal ivmeleri ile yerçekimi ivmesinin bir doğrusal kombinasyonundan elde edilebilir" kuramına dayalıdır. Elde edilen hızların ikinci integrali istenilen konumlama bilgilerini verir. Ayrıca dönüklük ölçümleri zamana bağlı entegre edilerek durum bilgileri hesaplanır.

Platform ve bant üzerinde kayan sistemler olmak üzere genelde iki farklı tipte INS kullanılır. Bant üzerinde kayan sistemler ortogonal ivme ölçüm birimi kullanırlar ve jiroskop, hareket eden aracın uçağın eksenlerine sabitlenmiştir. Sistemin açısal hareketleri, döngü algılayıcıları kullanılarak devamlı ölçülür. İvme ölçüm birimi uzayda durağan durumda değildir ancak içinde bulunduğu aracın hareketlerini takip eder.

INS eğer tek başına (stand-alone) modda çalışıyor ve dış ölçümlerle güncelleştirilmiyorsa, yüksek rölatif doğruluk sağlar ancak zamana bağlı olarak mutlak doğruluğu bozulur. INS, anlık durum ve konum bilgilerini elde etmek için entegrasyon teknikleri kullandığından, konum ve durum hataları zamanla büyür. Zamana bağlı hata davranışı nedeniyle INS farklı doğruluk sınıflarında gruplandırılabilir. GPS ile sağlanan gözlemler sayesinde, uygun dış konum veya hız güncelleme ölçümleri ile sistematik

hataların etkisi önemli ölçüde elimine edilir ve 1 saniye aralığında geliştirilmiş doğruluklar elde etmek mümkündür.

İnertiyel Ölçme Ünitesi (Inertial Measurement Unit-IMU) ise, jiroskop ve ivme ölçme sistemlerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş bir sistemdir. IMU, INS sisteminin ana parçasıdır ve izdüşüm merkezi koordinatları ile üç dönüklük parametresini 50-200 Hz. frekansında belirleyerek bu bilgileri navigasyon amaçlı olarak kullanır. Atalet verisi kuvvetli sürüklenmeler nedeni ile yalnızca kısa süreli boyutlarda yeterli doğruluğa sahip olur, bu nedenle mutlak doğruluğa sahip bir GPS ile kombinasyonu gereklidir. Yaygın olarak kullanılan İteratif Kalman Filtreleme yöntemi ile her iki sistemin avantajları birleştirilebilir ve böylece GPS-INS Doğrudan Algılayıcı Yöneltmesi (Direct Sensor Orientation - DSO) için kullanılabilir. Bu sistemlerin birlikte kullanımı, tek tek kullanımları ile elde edilecek doğruluğu ve güvenilirliği önemli ölçüde geliştirmeye olanak sağlamaktadır. INS'in kısa aralıklardaki yüksek durağanlığı, GPS gözlemlerinde görülen hataları düzeltmeye olanak sağlar. Kestirim suretiyle elde edilen INS konumu ve hızı, GPS alıcısının taşıyıcı faz atlamalarını (cycle slip) belirtmeye ve uydu ile kopan bağlantıları bağlamaya yardımcı olur. Bağlama kapasitesi INS'in performansına bağlıdır. Diğer taraftan, GPS'in hayli uzun süreli durağanlığı sayesinde, GPS gözlemlerinin kullanılması ile INS'in sistematik ve zamana bağlı hatalarının giderilmesi mümkündür [6].

Çizelge 2. 2 INS, GPS ve INS/GPS Karşılaştırması

	INS	GPS	GPS/INS
Avantajlar	- Kısa zaman periyodunda yüksek konum ve hız doğruluğu - Gerçek yönelim bilgileri - Yüksek oranda ölçme hızı - Otonom, özerk - Sinyal kesintisi yok	- Uzun zaman periyodunda yüksek konum ve hız doğruluğu - Zamandan bağımsız sürekli doğruluk - Yerçekimine duyarlı	- Yüksek konum ve hız doğruluğu - Hassas yönelim belirleme - Yüksek veri hızı - GPS kesikliği boyunca navigasyon veri temini - Cycle Slip algılaması - GPS sinyali yakalama zamanının azalması - Yerçekimi vektörünün belirlenmesi - Gürültü rezistansı
Dezavantajlar	- Zaman arttıkça doğrulukta bozulma - Yerçekimi etkisi, - Sıfırlama, doğrultulama ve uygulama anında kalibrasyon gerekliliği	- Gürültülü yönelim bilgileri - Düşük oranda ölçme hızı - Otonom/özerk değil - Cycle slip ve loss of lock	

2.2.4.5 Kontrol ve Stabilize

Bu bölümde ihtiyaç olarak belirlenen isterlerin uçağın dizaynına nasıl etki ettiğini göreceğiz. Kontrolü daha kolay anlamak için verilen örnekler, baş istikameti ve dikey jiroskopu referans olarak gösteren geleneksel yükseklik uygulama yolları olup hala birçok sistemde kullanılmaktadır.

İHA'ların kontrol ve stabilizasyon fonksiyonları doğal olarak farklı hava aracı konfigürasyonuna ve karakteristiğine göre değişecektir. İHA'nın kontrolünden kasıt İHA'nın bizim istediklerimizi ve amaçlarımızı yerine getirmesidir. Örneğin hava aracının istediğimiz konuma ve/veya hıza gelmesidir. Stabilizasyon dediğimizde ise bu istediğimiz koşullarda uçağın mevcut durumunu muhafaza etmesidir.

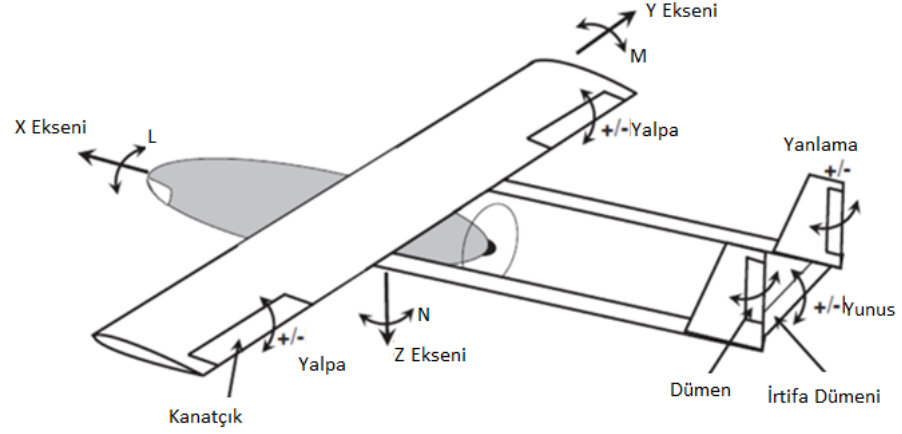
Tüm sistem 2 parça olarak düşünülebilir.

- Otomatik Uçuş Kontrol Sistemi: Sistemin düşünülen parçası dediğimiz operatörden komutları kabul eden, kısa ve uzun periyotlarda verilen komutlarla mevcut durum arasındaki farkı değerlendiren, uygun ve doğru düzeltmeyi yapmak için sistemin diğer parçalarını yöneten, görevi kaydetmek için hafıza birimi içeren sistemdir.
- Uçuş Kontrol Birimi : Sistemin kasları dediğimiz komutları kabul eden ve girdileri, motorlara, kontrollere, aerodinamik yüzeylere uygulayan kısımdır.

Yatay İniş ve Kalkış Yapan Uçaklar

Yatay iniş kalkış yapan uçaklar için temel olarak uçuş değişkenleri aşağıdaki gibidir.

- Yön
- Yatay Hız
- Yükseklik
- Tırmanma Oranı



Şekil 2. 9 Yatay İniş Kalkış Yapabilen Uçak Aeorodinamik Kontrol Yüzeyi

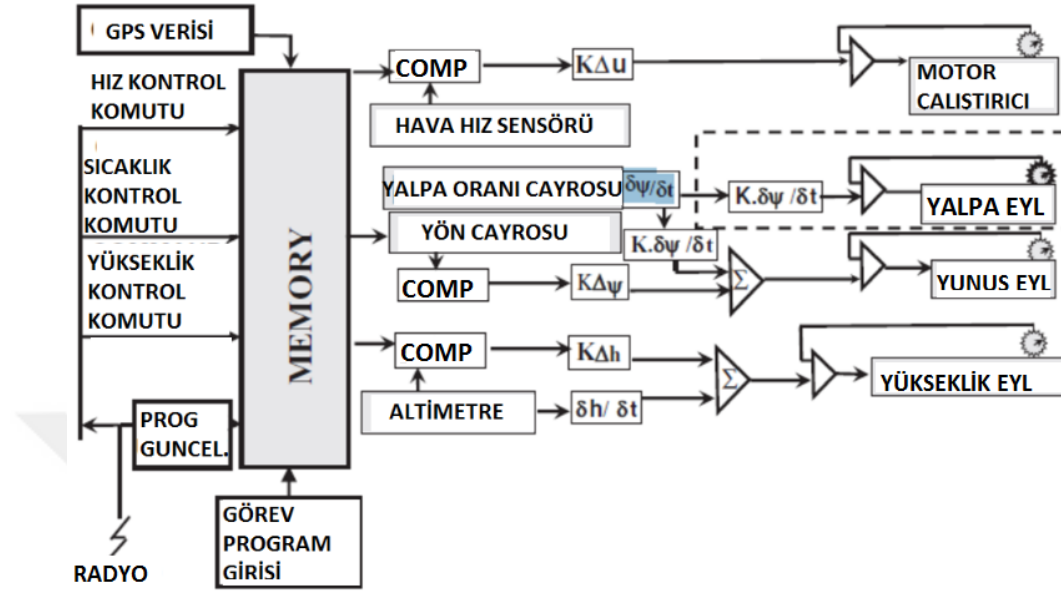
Uçuş yönü, kuyruk dümeni ve kanatçıkların yer değiştirilmesiyle kontrol edilir. Kanatçıklar L yönünde hareket sağlar, yükselticiler aşağı yukarı hareket ederek M yönünde hareket sağlar, kuyruk dümeni N yönünde hareket sağlar. Yatay hız, itme gücü motor ve elevatörlerin yön değiştirmesiyle kontrol edilir. İstenilen yüksekliğe tırmanma oranı elavatörün yön değiştirmesi ve motor gücünün kombinasyonu ile belirlenir. Tipik temel uçuş kontrol sistemi Şekil 2.9’da gösterilmektedir.

Uçuş öncesinde görev programı, Uçuş Kontrol Sistemi (UKS) bilgisayarına kopyalanabilir. Basit bir program üzerinden geçip daha sonra üsse döneceği yol noktalarını ve bu noktalar arasındaki hızları içerebilir. Faydalı yük tarafından bu noktalar zamanlanarak karışık bir uçuş patterni de hazırlanabilir.

Eğer operatörler uçakla radyo iletişimdeyseler program komutları iptal edilebilir. Örneğin daha detaylı olarak manuel hedefin keşfini yapmak için. Uçuş esnasında görev programını güncelleme yapmak için de kayıt yapılabilir.

Uçağın kalkışları ve inişleri programın başlangıç ve bitiş kısmı ile kontrol edilebilir ya da manuel olarak yapılır. Bazı sistemler uçak inişte ve kalkışta ters rüzgara maruz kalabileceklerinden uçağın iniş ve kalkışını manuel olarak kontrol etmek zorunlu olmaktadır.

Şekil 2.10'da görüleceği üzere uçağın durumu “sıfırlanmış hata metodu” ile sağlanmaktadır. Bu metod, uçuş kontrol sisteminin (UKS) kullanıcı komutlarını kabul edip çalıştırmasını ve uçağın verilen hız, yön ve yükseklikte stabilize olmasını sağlar.



Şekil 2. 10 Tipik temel uçuş kontrol sistemi

- **Hız Kanalı :** Hafızadan gelen hız komutu mevcut hissedilen ile karşılaştırılır ve ikisi arasındaki hata kaydedilir. Çarpan K, kendi geri bildirim döngüsü ile motor eyleyici sistemine giden hata sinyaline uygulanır. Bunu anlık hata ile istenilen hız aynı olana kadar uygulanır.
- **Yönlendirme Kanalı :** Benzer prensip yönlendirme kanalında da uygulanır. Uçağın asıl yönü manyetik monitör cayrosu ile ölçülür ve komut verilen yön ile karşılaştırılır. Uçağın dümeni hareket ettirilmeden aradaki fark hesaplanır. Bu durumda uçağın sağa sola salınımını engellemek için “söndürme” gerekli olabilir. Salınımın olma olasılığı çalışma sistemine ve uçağın aerodinamik titreşim söndürme karakteristiğine bağlıdır.
- **Yükseklik ve İrtifa Kanalı :** Uçağın yüksekliği, radio yükseklik ölçer ile yerden dikey ölçülen uzunluk olarak bilinir ve buna da “tape” yüksekliği denir. Basınç yüksekliği olarak bilinen ise uçağın deniz seviyesinden ne kadar yüksekte olduğudur. Bu da uçağın bulunduğu ortamdaki hava basıncını ölçerek bulunur. İki ölçüm de görevin amacına göre tercih edilir. Basınç yüksekliği uzun mesafelerde çok yüksek

irtifada kullanımı daha uygunken alçak irtifalar da ise uygun değildir. Tepelik ve dağlık mevkilerde gerekli tepkiyi gösteremez.

Tape yüksekliği kullanımı uçağın eş yükselti eğrilerini takip ettiği durumda alçak ve kısa mesafelerde kullanılması daha uygundur. Her ikisi de uçuş kontrol sistemine monte edilip durum senaryolarına göre kullanılabilir. Aynı sıfır hata metodundaki algoritma, yükseklik kanalı için de uygulanabilir. İstenilen yüksekliğe elevatörlerin hareketleri ve motor gücüyle ulaşılır. Havada tırmanmak motordan daha fazla itme gücü ister ve motor gücü hemen açılmazsa uçak aniden bir hız kaybına uğrar. Eğer hız kontrol kanalının isteğine motor tepkisi yeterli değilse yükseklik kanalından hata sinyali, motor çalıtırıcısı tarafından alınması gerekir. Bu motor gücünü anlık arttırarak aşırı hız düşmesini engelleyecektir. Aynı durum alçalma için de geçerlidir.

Yukarıdakilere ek olarak yükselme oranı kontrolü gerekli olacaktır. Yükselme ya da alçalma oranı belli bir zaman aralığında ölçülen yükseklikteki değişimdir. İzin verilen tırmanma ya da alçalma oranının üzerine çok fazla ya da yetersiz kuvveti motordan istemeyi ve uçağın dizayn limitlerini geçmemek için kalibre kullanılması gerekmektedir. Uçağı korumak için gerekli olan kalibre değeri uçağın belli zamandaki hızına ve ağırlığına göre değişir. En iyi performans için kalibre değerinin bu parametrelere göre değişmesi gerekir. Belli bir zamanki hızı belirlemek mümkünken uçağın o zamandaki ağırlığını belirlemek mümkün olsa da kolay değildir. Bundan dolayı kalibre değerini belirlemek çok önemlidir.

Hız, tırmanma oranı ve motor gücü birbirleriyle ayrılmaz biçimde birleştirilmelidir. Hızın artması kanatlar üzerindeki kaldırma kuvvetini arttırır ve tırmanma başlar. Yükseklik kanalı buna tepki olarak yüksekliği korumak için elavatörlerin yönünü aşağı doğru çevirir. Bu yüzden basit bir Uçuş Kontrol Sistemi oluşturmak bile çok dikkatli çalışma ve simülasyon denemeleri gerektirir. Sistemin içindeki mantık günümüzde dijital ve yazılım tabanlıdır. Bu zamana kadar uçak üreticileri kendi uçuş kontrol sistemlerini geliştirmekteydiler fakat endüstrinin yaygınlaşması sadece uçuş şirketlerini değil farklı şirketlerin de bu sistemlerle ilgilenmesine yol açtı. Bu firmalar şimdi uçak üretici şirketlerle beraber Uçuş Kontrol Sistemleri geliştirmektedirler.

2.2.5 Haberleşme Sistemi

Bu sistemin başlıca görevi hava aracıyla kontrol istasyonu arasında aşağı-yukarı veri linkleri (uplink ve downlink) ile haberleşmeyi sağlamaktır. Aktarma ortamı genelde radyo frekansdır, ama alternatif olarak lazer hüzmesi şeklinde ışık da kullanılabilir. Uplink, kontrol istasyonundan hava aracına, daha sonradan otomatik uçuş kontrol sisteminde tutulacak olan uçuş yol görevini, faydalı yüke kontrol komutlarını ve INS'e (Inertial Navigation System) güncelleşmiş konum bilgisini iletir. Downlink, hava aracından kontrol istasyonuna uçak konum bilgisini, faydalı yükten alınan verileri, yakıt durumunu, motor sıcaklığı gibi uçağın önemli parametrelerini iletir .

İnsansız hava aracı ile Yer Kontrol İstasyonu arasındaki iletişim temel olarak “Up Link” yani komutların operatörler vasıtasıyla hava aracını kontrol etmek için hava aracına gönderilmesi “Down Link” yani hava aracından yer kontrol istasyonuna faydalı yüklerle ilgili görüntü, durum bilgisinin gönderilmesi ile oluşur.

İletişimin devamı insansız hava aracı sistemlerinin en önemli özelliğidir. Uçuş esnasından iletişimin kopma sebepleri;

- Tüm sistemin ya da sistemin bir parçasının iptal olması
- Coğrafi özelliklerden dolayı Görüş Hattı (LOS:Line of Sight) kaybı
- İHA ile Yer Kontrol İstasyonu (YKi) arasındaki mesafenin artmasından dolayı alınan sinyal gücünün azalması
- Kasıtlı ya da kasıtsız sinyal bozulmasıdır.

İletişim performansı etkileyen 2 temel parameter vardır.

- **Veri Oranı** : Saniyede transfer edilen veri miktarı (Byte/Saniye)
- **Band Genişliği** : İletişim kanalının en yüksek ve en düşük frekansları arasındaki farktır. Mhz ve Ghz ile ölçülür.

2.2.5.1 İletişim Araçları

Yer kontrol istasyonu ile insansız hava aracı arasındaki iletişim radyo, fiber optik ve lazer süzmesi ile gerçekleşir. Atmosferik emilmeden dolayı yani atmosferik emilmenin uzaklığı sınırladığından ve bunun da sistemi olumsuz yönde etkilediğinden dolayı “lazer süzmesi” kullanılmamaktadır.

Fiber optik ile data iletimi alçak irtifada çok fazla veri alış verişinin gerektiği gizlilik arz eden data iletişimde kullanılmaktadır. Örneğin KBRN bombasının savaş aracında tespiti gibi (Afganistan da havadan KBRN bombası yapan satih kuvvetlerinin tespiti).

Radyo şu an en çok kullanılan sistemdir. Elektromanyetik dalgalar kızılötesi dalganın altında bulunan genelde 300 Ghz’ den 3 Hz’e kadar olan radyo taşıyıcıları olarak düşünülür. 3 Hz’den 3 Ghz’e kadar olan frekanslar genelde gerçek radyo frekansları olarak bilinirler. Sebebi alçak atmosferde dünya çemberine uygun şekilde kırılmalarıdır.

3 Ghz’den 300 Ghz’e kadar olan frekanslar, mikrodalga frekanslar olarak bilinirler. Bu frekans aralığındaki frekanslar radyo ve radar sinyallerini taşıyabildikleri halde kırılmaya maruz kalmazlar. Bundan dolayı sadece görüş hattında (LOS:Line of Sight) kullanılabilirler.

İnsansız hava aracından yer kontrol istasyonuna görüntü veya faydalı yüklerden yüksek oranda veri aktarımı gerçekleşir. Bunu gerçekleştirmek için yüksek frekans aralıkları kullanılır. Bu durum, alıcı anten ile verici anten arasında herhangi bir engelin olmadığı durumlarda mümkündür. Kısacası “Görüş Hattı” sağlanmalıdır. Bu sebeple frekans seçimine karar vermek önemlidir. Düşük frekans daha iyi ve daha güvenli bir yayılım sağlarken düşük oranda veri aktarımına izin verir. Yüksek frekans yüksek oranda veri aktarımına sağlarken görüş hattı koşulunu ve bu yüksek frekans için gerekli olan güç gereksinimi de sağlanması gerekmektedir.

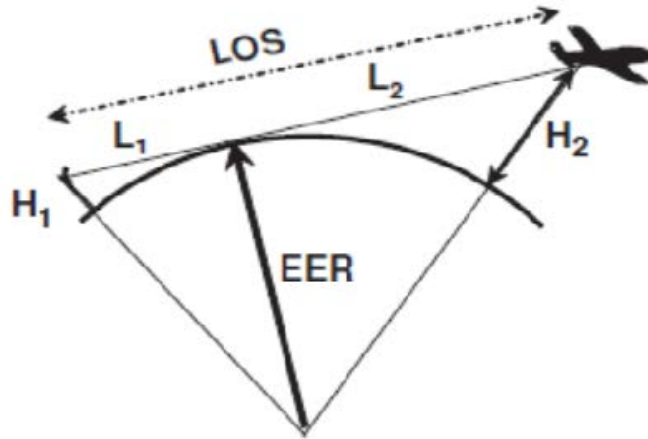
1-3 Ghz aralığındaki frekanslar çoğu durumlar için istenilen aralıktır. Fakat televizyon yayını gibi VHF ve UHF frekans kullanımlarının artmasından dolayı frekans tahsis kurumları 5 Ghz ve üzeri kullanımını istemektedir.

Çizelge 2. 3 Radyo Frekans Spektrumu [5]

Band Name (Frequency)	Abbr.	ITU Band	Frequency	Wave Length	Typical Uses
Extremely Low	ELF	1	3-30Hz	100,000km-10,000km	Submarine Communcations
Super Low	SLF	2	30-300Hz	10,000km-1,000km	Submarine Communcations
Ultra Low	ULF	3	300-3000Hz	1000km-100km	Comm. in mines
Very Low	VLF	4	3-30kHz	100km-10km	Heart Monitors
Low	LF	5	30-300kHz	10km-1km	AM Broadcast
Medium	MF	6	300-3000kHz	1km-100m	AM Broadcast
High	HF	7	3-30MHz	100m-10m	Amateur Radio
Very High	VHF	8	30-300MHz	10m-1m	TV Broadcast
Ultra High	UHF	9	300-3000MHz	1m-100mm	TV , phones, air to air comm. 2-way radios
Super High	SHF	10	3-30GHz*	100mm-10mm	Radars, LAN *
Extremely High	EHF	11	30-300GHz*	10mm-1mm	Astronomy *

2.2.5.2 Görüş Hattı (LOS : Line of Sight)

Optik ve/veya elektronik cihazların yardımı olmaksızın ilgili hava sahasında geçerli havacılık kurallarını uygulamak ve hava aracını yönetmek için uzaktaki pilotun hava aracı ile doğrudan görsel temasta kalarak operasyonları gerçekleştirdiği şartlar olarak tanımlanır [7].

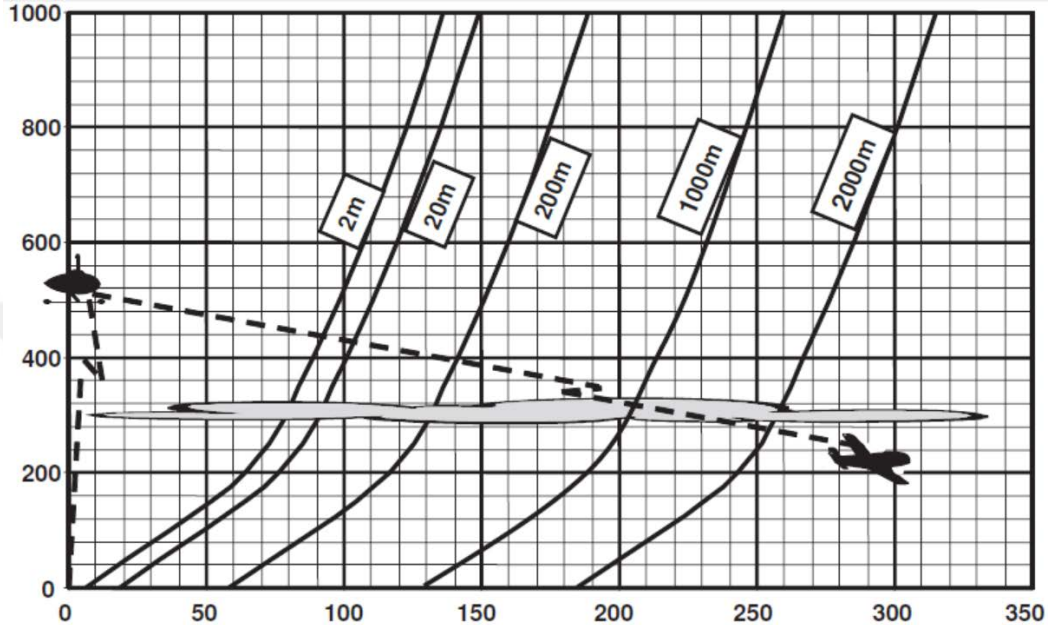


Şekil 2. 11 Görüş hattı

$$LOS = L1 + L2$$

$$LOS = \sqrt{2 \cdot EER \cdot H1 + H1^2} + \sqrt{2 \cdot EER \cdot H2 + H2^2}$$

Yüksek mikrodalga frekanslar için uygun dünya yarıçapı 6400 km, düşük radyo frekansları için ise dünya yarıçapının 8500 km alınması uygundur. Şekil 2.12’de 1000 m’ye kadar olan alçak irtifadaki uçuşu ve kullandığı radyo frekansları gösterilmektedir. Örnekten yere monteli verici anten $h:2-4m$. $h-İHA: 1000 m$ olduğunda iletişim uzaklığının 130 km olduğu anlaşılmaktadır [5].



Şekil 2. 12 Görüş Hattı Uzaklığı

600 km’lik iletişim uzaklığı için İHA’nın 20.000 m yükseklikten uçuşması gerekmektedir. Bu yüzden 600 km den uzak mesafeler için iletişim uydular üzerinden ya da diğer bir hava aracı üzerinden yapılmalıdır.

300 m yükseklikte çoğunlukla bulutlar olmaktadır. Bu nedenle elektroptik kameraların kullanılması durumunda uçağın 300 m altında uçuşması gerekmektedir. Bu durumda efektif radyo iletişim uzaklığı 50 km’den biraz fazla olacaktır.

İHA’nın yönlendirme yollarından bir diğeri de radyo takibidir. Bunun sebeple İHA, kontrol istasyonundan ya da izleme istasyonundan gelen sinyali alacak, yükseltecek ve geri gönderecek bir transponder (alıcı-verici) ile donatılmış olmalı ya da İHA’dan uygun bir sinyal, kontrol istasyonuna gönderilmelidir.

Kontrol istasyonu alıcı verici anteni birbirine monteli paralel iki offset antenden oluşur. Sinyal iletişim sistemi gelen sinyallerin faz içi mi faz dışı mı olduğunu bu iki anten

sayesinde belirler ve anten sisteminin rotasyonuna sinyallerini faz içine getirmek için komut verir.

Bu noktada anten sistemi direk olarak İHA'yı gösteriyor olacak ve İHA'nın azimut rotası kontrol istasyonu ile ilgili olacaktır. İHA ile kontrol istasyonu arasındaki uzaklık sinyalin geliş-gidiş süresinin ölçümüyle bulunur.

2.2.5.3 Görüntü İstasyonu ile İHA arasındaki İletişimin Kaybolması

Kontrol istasyonu ve İHA'nın her ikisinin de anten sistemleri azimut tarama ve/veya yükseklik taramaya uygun olabilir. Bu nedenle link kaybında ikisinden de yayılan ışının genişliğine bağlı olarak son konuma göre her biri diğerini taşıyacaktır. Programlanmış zamanda her iki anten arasında kontak bulunmaz ise bu durumda, İHA önceden programlanmış rotayı izleyerek üsse geri dönüş yapacak ya da duruma göre kendini imha edecektir.

2.2.5.4 İletişim Veri Oranı ve Band Genişliği Kullanımı

Askeri İHA'lar iletişim bandının çoğunluğunu kullanmaktadırlar. Eğer sivil İHA'ların üretimi artarsa mevcut durum daha kötüleşecektir. Band genişliğini daraltan tekniğin bir an önce geliştirilmesi gerekmektedir.

Yüksek çözünürlüklü bir TV kamerası ya da kızılötesi kamera saniyede 75 Mb data üretmektedir. Gelecekte birçok sensör sistemleriyle birlikte çok yüksek irtifalardan muhtemel hedefleri görebilen yüksek çözünürlüklü görüntüleme sistemleriyle, saniyede 500 Mb'a kadar veri üreten sistemler kullanılması planlanmaktadır. Bu sebeple band genişliği bu duruma uyum sağlamalıdır.

Alçak irtifada yakın mesafede görev yapan İHA, geniş band genişliği kullanmamasına rağmen, sistemler arasındaki radyo karışımı belirli bir bölgedeki İHA kullanım sayısını sınırlandıracaktır.

CORS TEKNIĞİ ve GNSS

Bu bölümde CORS (Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNSS) Tekniği, Diferansiyel ve Gerçek Zamanlı Kinematik GPS ölçüm yöntemleri ve 8 Mayıs 2006 tarihinde başlayan İstanbul Kültür Üniversitesi tarafından yürütülen TUSAGA Aktif Projesi hakkında bilgiler verilecektir.

3.1 CORS Tekniği

GPS Sistemi, teknik olarak toprak ile çalışma alanı olan tüm mühendislik disiplinleri projelerini hızlı ve hassas olarak gerçekleştirmek amacıyla bir araç olarak yoğun kullanılmaktadır (Harita, jeoloji, jeofizik, maden, ziraat, biyoloji, inşaat, elektrik - elektronik, arkeoloji). Ayrıca GPS alıcılarının fiyatlarının düşmesi, teknolojinin daha hassas hala gelerek uygulama alanlarının genişlemesi ile hızlı bir şekilde günlük hayatımıza da girmiştir. Yürüyüşlerde ve doğa sporlarında, hem güvenlik hem de zevk amacıyla amatör ve profesyonel dağcılar, sporcular tarafından; denizde yerini bulma, güvenli seyir yapma, balık avlama ve dalma yerlerine daha sonra tekrar gelebilmek için tekne ve yat sahiplerince kullanılmaktadır. Askeri kullanım alanları ise; kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu, arama-kurtarma, uçakların iniş ve kalkışları, hedef bulma ve diğer amaçlardır.

Hesaplama tekniği ve uzay çalışmalarındaki hızlı gelişmeler 1980'li yılların en önemli ürünlerinden biri olan Global Konum Belirleme Sistemi'nin (GPS) günlük yaşama girmesini sağlamıştır. GPS sistemi 1980 yılından önce ABD tarafından yalnızca askeri amaçlı, bu yıldan sonra da uzun bir süre jeodezik amaçlı olarak kullanılmıştır. Başka bir

ifadeyle, jeodezik amaçlı GPS kullanımı, sistemin ilk sivil uygulaması olarak düşünülebilir. Ancak, zaman içerisinde uydu tekniklerinin kullanım alanları artmış, GPS, insan yaşamının hemen her alanına girmiş ve bugün haritacılık uygulamaları yanında; gerçek zamanlı araç navigasyonu, yerkabuğu hareketlerinin izlenmesi, coğrafi bilgi sistemleri, meteoroloji, turizm, tarım, ormancılık ve arama-kurtarma gibi sayılmayacak kadar çok alanda yaygınlaşmaya başlamıştır.

1980'den sonra GPS tektonik hareketlerin belirlenmesinde de kullanılmaya başlamış, bunun için tekrarlı ölçülerin yapılmasına olanak veren jeodinamik amaçlı noktalar tesis edilmiş ve bu sayede noktalar arası uzaklığın birkaç bin kilometreyi bulduğu bazı uzunluklarının hesabı gündeme gelmiştir. Yukarıda belirtilen nedenlerle aynı noktalarda periyodik GPS ölçülerinin yapılması, ulusal/uluslararası temel GPS ağlarının ve sıklaştırma ağlarının kurulmasını sağlamak amacıyla sabit referans noktalarından oluşan ve gerektiğinde üzerine alet kurularak ölçü yapılan pasif jeodezik GPS ağlarının (Örn. TUTGA) yerini günümüzde aktif sabit GNSS ağları (CORS) almıştır. 1990'lı yıllarda RTK tekniğinin ortaya çıkması, jeodezi ve ölçme kontrol sistemlerinin gelişmesinde de önemli rol oynamıştır. Günümüzde GNSS RTK tarım sektöründe, karayolu ve demiryolu yapımında, kaldırımların döşenmesinde yoğun bir şekilde kullanılmakta olup bu yöntemle makine kontrol anlamına gelen "machine guidance / control" veya "mmGPS" gibi isimler verilmektedir.

CORS ağlarının kurulması günümüzde tüm ülkelerde hızlı bir şekilde artmaktadır. Kurulan ağların verimliliğinin ve kullanılabilirliğinin zaman içerisinde optimizasyonu sivil ve askeri kullanım gereksinimlerine ne kadar yanıt verebildiği ile orantılı olacaktır.

Gerçek Zamanlı Sabit GNSS ağları ülkeleri, kamu kurum ve kuruluşlarını, üniversiteleri, ticari kullanıcıları ve özel sektörü yakından ilgilendiren çok amaçlı ağlardır. Bu ağlar kullanıcılara gerçek zamanlı ve yüksek doğruluklu konum bilgisi sağlamalarının yanında ülkelerin ulusal uzaysal referans sistemlerinin tanımlanmasında da temel rol oynamaktadır.

3.2 Gerçek Zamanlı GNSS Ağ Prensipleri

Jeodezik doğruluk isteyen GNSS ağlarında en az iki alıcı ile eş zamanlı ölçüye gereksinim vardır. Bunlardan bir tanesi koordinatları bilinen referans (baz) istasyonu diğeri ise koordinatları hesaplanacak olan gezen alıcı olarak tanımlanmaktadır. GNSS sistemindeki gelişmeler gerçek zamanlı sabit referans istasyonlarının kurulmasını ve kullanıcılara kesintisiz hizmet sağlanmasını olanaklı kılmıştır. Böylece, kullanıcının tüm alıncılarını gezen alıcı olarak kullanabilmesinin yolu açılmış, bu da zaman ve maliyet açısından önemli ölçüde tasarruf sağlamıştır.

Daha önce de ifade edildiği gibi, bir ağ tabanlı konum belirleme sistemi olan Gerçek Zamanlı Sabit GNSS (RTK CORS) ağlarının kurulmasındaki temel hedef uzaklığa bağlı olarak farklılık/değişim gösteren hataların(iyonosfer,troposfer,yörünge vb.) giderilmesidir. Gerçek zamanlı ve kontrollü hesaplamaların yapılabilmesi için ağdaki tüm istasyonlar birbirleriyle güvenilir bir iletişim vasıtasıyla bağlanmaktadır. Bir referans istasyonu en az bir alıcı, bir anten, iletişim vasıtası ve güç kaynağından oluşmaktadır. Birçok ağda ise veri kontrolü ve veri aktarımı amaçlarıyla ilave bir bilgisayar da tesis edilmektedir. İdeal ağ yapılarında yedek sistemler de kurulmaktadır. En sonunda ise ağa herhangi bir iletişim vasıtasıyla (Örn. Cep telefonu, internet vb.) bağlanabilen kullanıcılar vardır. Eğer kullanıcıya ağ hizmeti gerçek zamanlı verilmiyorsa buna “çevirimdışı (offline) hizmet” adı verilmektedir. Bu tür ağlar büro hesaplamaları (büroda değerlendirme) için kullanılmakta olup, veriler genelde RINEX formatında arşivlenmektedir. Gerçek zamanlı hizmet veren ağlarda ise genelde RTCM formatı kullanılmaktadır.

Sonuç olarak sabit GNSS ağları çok genel anlamda iki farklı yapıda düşünülebilir. Bunlar; gerçek zamanlı uygulamalar için olan ağlar ve büro hesaplamaları (post process) için kullanılan ağlardır (3. tip olarak ise her iki yapıya da sahip olan ağlar düşünülebilir.) Günümüzde gerçek zamanlı hizmet veren ağ yapıları en fazla kullanılanlardır. Bunlara örnek olarak Hong Kong (SatRef) ,İsviçre (SWIPOS) ve Almanya (SAPOS-HEPS) verilebilir. Büro hesaplamaları için olan ağlara ise Almanya (SAPOS-GPPS/GHPS), İsveç (SWEPOS) ve Avusturalya (ARGN ve AUSPOS) örnek olarak verilebilir. Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından kurulmuş olan TUSAGA ölçü sonrası hesaplamaya

(özellikle tektonik amaçlı çalışmalar için) yönelik ağ olarak, TUSAGA-Aktif ağı ise her iki özelliğe sahip bir ağ olarak tasarlanmıştır.

Gerçek zamanlı sabit GNSS (RTK COURSE) ağları kurulurken ülkenin ya da bölgenin coğrafi koşullarının yanında maliyet etkin olup olmadığı da dikkate alınmalıdır. Örneğin, Türkiye gibi bir ülkede 50-70 kilometre aralıklı bir ağ ekonomik olurken, Suudi Arabistan ya Avusturalya gibi bir ülke ya da bölgede bu ekonomik bir çözüm olarak görülmeyebilir. Dolayısıyla, bu tür RTK ağları kurulurken ülkenin ya da bölgenin nüfus ve sunulacak olan hizmetten yararlanacak potansiyel kullanıcı dağılımı sık aralıklı bir ağ tasarımı için uygun olmayabilir. Bu durumda yapılacak en mantıklı tasarım, cm doğruluğunda RTK hizmet gereksinimi olmayacak ya da çok nadiren gereksinim duyulacak bölgelerde daha seyrek, potansiyel kullanıcı yoğun olan bölgelerde ise daha sık referans istasyonu kurulması şeklinde olacaktır. Bunu Türkiye’den bir örnekle açıklamak gerekirse; ağ kurulmasındaki ana amacın cm doğruluğunda RTK hizmeti olduğu ve bununla birlikte metre doğruluğunda navigasyon hizmetlerinin de kullanıcılara eş zamanlı sağlamasının hedeflendiği varsayıldığında İstanbul, Ankara, İzmir gibi şehir alanlarında daha sık (Örn. Her 30-40 km’de bir referans noktası tesisi) ağ noktası tasarımı, Doğu ve Güney Doğu Anadolu’nun çok dağlık bölgelerinde ise daha seyrek (Örn. Her 100-130 km’de bir referans noktası tesisi) en uygun çözüm olacaktır. Bu uzaklıkların büyüklüğünü iyonosferik etki oldukça kısıtlamaktadır. Başka bir ifadeyle, iyonosferik etkinin çok fazla olduğu dönemlerde ve yerlerde yukarıda verilen uzaklıklar daha da azaltılmalıdır. Bunlara ilave olarak kullanılacak ağ yazılımının sınırlamaları da dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Örneğin, referans istasyonları arasındaki korelasyonun sağlanabilmesi ve ağ düzeltmelerinin en iyi şekilde hesaplanabilmesi için kontrol ve hesap merkezinde bulunan ağ yazılımlarında, genelde gezen alıcılarla referans noktaları arasının 130-150 km’yi geçtiği durumlarda düzeltme hesaplamamaktadır. Gerçekte ağ RTK teorisine bakıldığında, gezen alıcıya en yakın referans istasyonlarının seçilmesindeki prensibin temel nedeni budur.

CORS ağlarının GNSS kullanıcılarına sağladığı yararlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Ağ yapısında modelleme (atmosfer,yörünge vb. hata kaynakları) yapıldığı için tek noktada mutlak konum belirleme (SPP) ve tek sabitten RTK ölçülerine göre çok daha yüksek doğruluk sağlamaktadır.
- Tek bir referans istasyonu yöntemine göre daha çok geniş bir kapsama alanı kullanıcıların hizmetine sunulduğundan sistem sürekliliği sağlanmaktadır.
- Tek bir gezegen alıcı ile etkin çalışmalar yapılabilir. Gerekğinde referans istasyonlarından bile gezen alıcı gibi yararlanılabilir.
- Yapılan ölçüler sonucu elde edilen koordinatlar belirli bir datumda ve kurumsal standartlar dahilinde olacağından sonuç ürünler mutlak doğrulukta olacaktır.
- Ölçüler kaba hatlardan ayıklandığı, hata kaynakları en iyi şekilde modellendiği ve hesaplamalarda en uygun uydu geometrisi seçildiği için sistem güvenilirliği yüksektir.
- Her gereksinim duyan kurum ve kuruluş tarafından ayrı bir ağ kurulmasını önlediği ve tüm kullanıcıların tek bir yatırımla oluşturulmuş ağdan yararlanmalarını sağladığı için maliyet düşürücü bir sistemdir.

CORS ağları aklı gelen hemen her alanda kullanılabileceği gibi çok genel olarak kullanım alanları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Jeodezik çalışmalar ve mühendislik ölçümleri
- Tektonik çalışmalar (plaka hareketlerinin belirlenmesi, depremlerin önceden tahmini vb.)
- Meteorolojik çalışmalar (sayısal hava tahmini vb.)
- Ticari amaçlı kullanımlar (araç takip, kadastro, navigasyon vb.)
- Makine kontrol (karayolu ve demiryolu yapımı, kaldırım döşenmesi)
- Madencilik
- İnşaat



Şekil 3. 1 CORS Tekniğinin Kullanım Alanları

3.3 CORS (Tusaga Aktif) Projesi

Gelişmiş birkaç ülkedeki gibi, ülkemizde de israfı önleyen, çok az maliyetli, sürekli çalışan duyarlı bir koordinat belirleme sisteminin kurulması düşüncesi, TUSAGA Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı) (CORS TR) Projesi'nin tasarlanmasına neden olmuştur.

Çeşitli aşamalardan geçen proje, 8 Mayıs 2006 tarihinde başlamış ve 31 aylık başarılı bir çalışmadan sonra 8 Aralık 2008 tarihinde işler hale getirilmiştir. Türkiye için son derece önemli olan bu proje, İstanbul Kültür Üniversitesi (İKÜ) tarafından yürütülmüştür. Harita Genel Komutanlığı(HGK) ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) ortak müşteri sıfatıyla çalışmalara katılmıştır.

Önce literatür araştırması yapıp dünyada mevcut sistemler yerlerinde incelendikten sonra daha iyi bir tasarım ve seçim için kenar uzunlukları yaklaşık 60, 90, 120 km olan üçgenlerden oluşan toplam 13 noktalık örnek CORS ağları kurularak test (benchmark test) yapılmasına karar verilmiştir. Böylece dünyanın en kapsamlı testlerinden birisi, Eylül, Ekim 2006 tarihleri arasında Trakya – İstanbul'da gerçekleştirildi. Testten edinilen bilgiler ve diğer araştırmalar sonucunda, yaklaşık 80 – 100 km uzaklıklarda 147 adet CORS referans istasyonundan oluşan CORS-TR ağı tasarımılandı.



CORS TR’de referans istasyonlarındaki alıcılar, GPS, GLONASS ve Galileo sinyalleriyle işlem yapabilmektedir. Referans istasyonlarına gelen uydu bilgileri, CORS kontrol merkezine iletilir. Kontrol merkezinde ağ ilkesiyle değerlendirilen verilerin sonuçları, gezici alıcılara gönderilir.

İstasyonlara 2-4 m uzunluğundaki pilyeler üzerine konan GNSS alıcıları ile içerisinde modemler ve diğer aksesuarların korunduğu klimalı çelik dolaplar yerleştirilmiştir. İletişim için tüm istasyonlarda ve kontrol merkezlerinde TT-ADSL ve alternatif olarak Turkcell-EDGE seçildi. Her referans istasyonundan kontrol merkezine ADSL veya EDGE aracılığıyla yaklaşık 700 kbit/sn lik GNSS verileri iletilmekte; ağ hesapları ve düzeltme değerleri ise kontrol merkezinden kullanıcılara RTCM3.x vasıtasıyla ulaştırılmaktadır. Bu sistemde tüm dünyada yaygın olan VRS, FKP ve MAC teknikleri kullanılmaktadır.

Böylece haritacılık, kadastro, her türlü coğrafi bilgi teknolojilerinde ve mekansal araştırmalarda devrim yaratacak yeni bir dönem başladı. Kurulan bu sistem sayesinde kullanıcılar, 24 saat boyunca tüm ülke genelinde gerçek zamanda santimetreler veya sonradan yapılan hesaplarla (post-processing) milimetreler mertebesinde hata paylarıyla koordinatlarını belirleyebilmektedirler. Koordinatlar, karada, denizde ve havada çok daha hızlı, ekonomik ve duyarlı olarak hesaplanır; ulusal bir standart ve formatta üretilir.

Özetle, eski yöntemde harita yapılması ve bu haritalar üzerinde yapılan projelerin araziye uygulanması için gerekli olan tesisi ve ölçümü göreceli olarak çok pahalı arazi

kontrol noktaları (nirengi ve poligon noktaları) bir daha kullanılmayacağı değerlendirilmektedir.

Projenin, benzerleri ile karşılaştırıldığında en düşük maliyetli olmasının yanısıra şu ayırt edici özellikleri de vardır. CORS TR projesi,

- 150 noktalı ağ olarak tasarlanan sistem, kuruluş büyüklüğü bakımından dünya üçüncüsü,
- Kuruluş sırası bakımından dünya dokuzuncusu,
- Gelişmekte olan ülkeler arasında ilk,
- TÜBİTAK'ın, "ulusal büyüklükte; somut sonuçları alınan, ürünleri birçok yeni araştırma ve uygulama çalışmalarına altlık oluşturan ve kapı açan; mali bakımdan son derecede şeffaf özellikleri nedeniyle örnek proje" olarak vasıflandırdığı bir projedir [8].

3.4 Diferansiyel GPS Yöntemi

Temel olarak DGPS kavramı, eş zamanlı gözlem yapan belirli bölgedeki alıcıların belirli uydulara yaptığı gözlemlerde aynı ortak hataların etkisinde olduğu gerçeğine dayanır. Biri konumu bilinen sabit bir noktada diğeri konumu belirlenmek istenen noktalarda olmak üzere en az iki alıcı kullanılır. Gezici alıcıyla aynı uyduya gözlem yapan referans alıcının bilinen konumu ile gözlem sonucunda hesaplanan konumu arasındaki farkı ifade eden düzeltme vektörü atmosferik etkiler (iyonosfer, troposfer) ile uydu saati ve yörünge hatalarını giderecek şekilde formüle edilir ve alıcıya gönderilir. Referans istasyonları hesapladıkları düzeltmeleri genel olarak RTCM (Radio Technical Commission for Marine Services) formatında göndermektedir [9]. GPS uydularından değişik frekansta 2 taşıyıcı sinyal (L1 ve L2) yayınlanır L1 taşıyıcı sinyali üzerinde C/A ve P kodları, L2 sinyali üzerinde ise sadece P kodu gelmektedir.

Daha önceki konularda anlatıldığı üzere İHA'ların konumları DGPS yöntemi ile belirlenmektedir. Koordinatları bilinen, sabit İHA yer istasyonundan gözlem yapılarak İHA üzerindeki alıcıya hesaplanan düzeltmeler gönderilir. Bu sayede İHA'nın sabit bir noktaya göre 2-5 m duyarlılığındaki koordinatlarını hesaplamak mümkündür. Oluşacak

hata sabit ve gezici alıcılar arasındaki uzaklıkla doğru orantılı olup her 1 km için 1 cm hata eklenebilir [10]. İHA ile yer istasyonu arasındaki maksimum yüksekliğin 5000 feet (fiziksel yer yüzeyinden itibaren) yüksekliği geçmemesi gerekmektedir. Geçtiği takdirde İHA GPS sinyalini sağlıklı alamayacaktır.

3.5 Gerçek Zamanlı Kinematik GPS (RTK GPS)

RTK – GPS (Real Time Kinematic Global Position System) gerçek zamanlı ölçümlere olanak sağlayan ve bu amaçlar için kullanılmak üzere tasarlanmış bir ölçü yöntemidir. RTK yöntemi, ölçü yöntemi olarak DGPS (Differential GPS)’ e benzer ve bu nedenle de gerçek zamanda hassas diferansiyel GPS olarak da tanımlanabilmektedir.

RTK GPS tekniği, bağıl konum belirleme esasına göre tasarlanmıştır. Bağıl konum belirlemede, koordinatları bilinmeyen bir noktanın koordinatları, bilinen bir nokta vasıtasıyla belirlenmektedir. Diğer bir ifadeyle bağıl konum belirleme iki nokta arasındaki baz vektörünün belirlenmesi olarak da ifade edilebilir. Bu noktalardan bir tanesi koordinatları bilinen (A) noktası, diğeri ise koordinatları bilinmeyen (B) noktası ve aradaki baz uzunluğu vektöründe r_{AB} olarak tanımlanmaktadır.

Konum vektörleri r_A ve r_B arasındaki ilişki

$$r_B = r_A + r_{AB}$$

formüle edilebilir ve baz vektörünün bileşenleri r_{AB}

$$r_{AB} = \begin{bmatrix} X_B - X_A \\ Y_B - Y_A \\ Z_B - Z_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix}$$

elde edilir.

Bağıl konum belirlemede hem referans hem de gezici noktada eş zamanlı ölçülere gereksinim duyulmaktadır.

RTK - GPS yöntemi ile nokta konumları cm doğrulukla gerçek zamanda belirlenebilmektedir. RTK alıcısından alınan temel çıktılar jeodezik koordinatlar (elipsoidal enlem, elipsoidal boylam ve yükseklik), WGS 84 koordinat sistemine göre dir. Bütün RTK sistemlerinin temelinde GPS alıcılarının eş zamanlı olarak 5 ortak uyduyu gözlem yapabilme şartı vardır. Ek olarak da, RTK sisteminin “eş zaman” unsuru gezici ve referans alıcı arasındaki radyo bağlantısına bağlıdır.

RTK GPS Ölçme ilkesi klasik GPS ölçme ilkeleri ile aynıdır. Burada da başlangıçtaki tam sayı belirsizlikleri çözümlenmeli ve 5 veya daha fazla uyduya sürekli gözlem yapılmalıdır. RTK uygulamalarında koordinatları bilinen bir noktada bir GPS alıcısı sürekli gözlem yaparken, bir veya daha fazla gezici GPS alıcısı da, hızlı bir şekilde, konum çözümünü gerçekleştirir.

Referans istasyonundaki alıcı ile uydu arasındaki herhangi bir t epochunda ölçülen taşıyıcı fazdan hesaplanan uydu-alıcı arasındaki uzunluk ile uydu – alıcı arasındaki koordinat farklarından hesaplanan geometrik uzunluk karşılaştırılır ve taşıyıcı faz ölçülerine getirilecek düzeltme ve düzeltme oranı hesaplanarak gezici alıcılara iletilir. Gezici alıcılar, kodlanarak radyo dalgaları üzerine modüle edilmiş olan bu düzeltmeleri alarak kendi taşıyıcı faz ölçülerine düzeltme olarak getirirler. Gezicideki düzeltilmiş pseudorange ölçülerinin kullanılmasıyla da konum doğruluğu daha da artırılabilir.

Uydular yeryüzünden yaklaşık 20200 km uzaklıktadır. Baz uzunlukları ne kadar kısa ise hata miktarı azalacaktır. Bu bakımdan gezici alıcının bulunduğu noktalarda alınan düzeltmeler, referans noktasında hesaplanan düzeltme değerleridir ve referans noktasında hesaplanan bu düzeltme değerleri aynen gezici alıcılara aktarılır. Başka bir deyişle referans noktasındaki düzeltme değerleriyle, gezici alıcının bulunduğu noktadaki düzeltme değerleri eşit kabul edilir. Bunun yanında düzeltmelerin gönderilmesinde kullanılan veri iletişim donanımları genellikle radyo modemlerin veri iletme uzaklıkları ile sınırlıdır. Tüm bu anlatılan kısıtlamalar dikkate alınarak RTK sistemlerinin uygulama alanları yaklaşık 15 km ile iyonosfer ve troposfer etkisinden dolayı sınırlandırılmıştır.

RTK, DGPS ile benzer özellikler göstermesine karşılık çeşitli açılardan farklara sahiptir (Çizelge Tablo 3.1). Bu farklılıkların en başında da kod ölçülerinden farklı olarak taşıyıcı dalga faz gözlemlerini kullanması gelir. Taşıyıcı dalga faz ölçülerinin kod ölçülerine göre daha duyarlı olması sebebiyle RTK metodu DGPS' e nazaran çok daha duyarlıdır [11].

Çizelge 3. 1 RTK GPS-DGPS Farkları

RTK GPS	DGPS
Başlangıç için en az 5 uydu	Minimum 3 uydu
Başlangıçta bir dakikalık tanımlama	Anlık tanımlama
2 – 3 cm doğruluk	1 Metrenin altında doğruluk(kod ölçüleri) ile
Baz istasyonları ile çalışılan bölge arasında mesafe kısıtlaması var (<15 km)	Çok daha uzun mesafelerde kullanılabilir (Uçak, gemi v.b. konumlama).

CORS TEKNIĞİNİN İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDA KULLANIMI

Bu bölümde AT-1 model İHA üzerindeki RTK GPS ve İHA'nın üzerinde halihazırda bulunan GPS alıcısındaki verilere, yerde konumlu sabit GPS alıcısındaki düzeltmeler getirilerek elde edilen koordinatlar arasındaki fark karşılaştırılmıştır. Bu çalışmamdaki amacım İHA üzerinde RTK GPS ölçümleri ile DGPS kullanarak elde edilen ölçümlerin koordinat doğruluk analizini gerçekleştirmek ve seyrüsefer zamanında İHA'lardan daha hassas koordinat alabileceğini ispatlamaktır. Yerde konumlu GPS alıcısı radyo link vasıtasıyla İHA üzerindeki GPS alıcısına anlık düzeltmeleri gönderebilmesine rağmen arazi koşullarından, İHA ile sabit arasındaki mesafeden dolayı radyo linkinin kopma olasılığı mevcuttur. Bu sebeple uçuş sonrasında sabit GPS alıcısı, İHA üzerindeki RTK GPS alıcısına, bağlandığı CORS istasyonundan gelen düzeltmeleri getirir. Bu işlemin doğruluğunu ispatlamak için yerde 17 adet RTK GPS yöntemi ile elde edilmiş yer kontrol noktalarını kullandım. Her iki yöntemle oluşturulan nokta bulutu ve ortofoto ürünlerin üzerinde işaretlenmiş yer kontrol noktaları ile arazide hesaplanmış yer kontrol noktalarının arasındaki koordinat farkları hesaplanmıştır. Örneğin RTK GPS verilerinin büroda değerlendirmeden geçirildikten sonra oluşturulan nokta bulutunda veya ortofotosunda bulunan P4 numaralı yer kontrol noktası ile İHA'nın üzerinde halihazırda bulunan GPS verilerinin büroda değerlendirmeden geçirildikten sonra nokta bulutunda veya ortofotosunda bulunan P4 numaralı yer kontrol noktasının, arazide RTK tekniği ile ölçülmüş P4 noktası ile aralarındaki koordinat farkları hesaplanmış ve ortaya çıkan değerlerin doğrulukları incelenmiştir.

4.1 İHA ile Havadan Haritalama

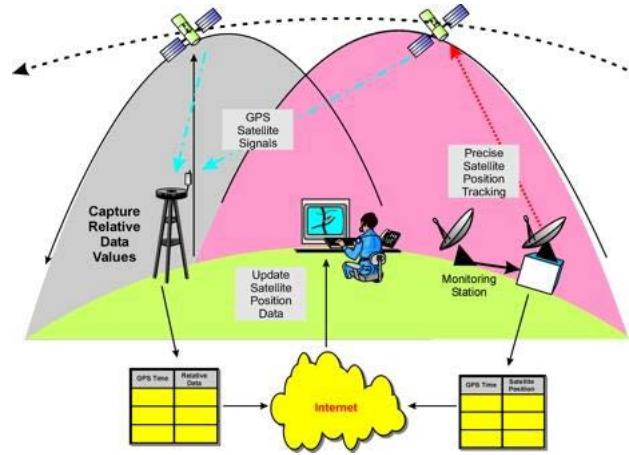
Aslında teorik olarak, havadan haritalamanın İHA'lar ile yapılması ile gerçek uçakla yapılması arasında çok fark bulunmamaktadır. İHA'nın taşıdığı yüksek çözünürlüklü kameradan belirli bir yatay ve düşey bindirme oranı ile üst üste çekilen ve yere bakan (Nadir) fotoğraflar gelişmiş fotogrametrik haritalama yazılımları kullanılarak dijital 3 boyutlu nokta bulutuna dönüştürülüp sayısallaştırılmaktadır [12]. Daha sonra bu nokta bulutu kullanılarak alanın ortofotosu, 3 boyutlu modeli, sayısal yükseklik modeli, fotogrametrik haritası vb. ürünler elde edilebilmektedir.

Bu süreçte, elde edilen ürünün kalitesini belirleyen pek çok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerden en önemlisi İHA'nın seyrüsefer süresince hassas konumlandırılmasıdır.

İHA'lar otonom hareketlerinin büyük bir kısmını üzerlerindeki GNSS alıcılarından elde ettikleri verileri kullanarak gerçekleştirirler. Ancak çok özel alıcılar haricinde, düşük maliyetli ve hafif olabilmeleri amacı ile İHA'lar üzerinde kullanılan alıcıların hassasiyeti düşüktür. Bu tarz alıcılarla DGPS yöntemi kullanılarak 2-5 m aralığında konum doğruluğuna ulaşılabilir. Daha sürecin en başından yeterli doğruluk ve hassasiyet ile alınamayan fotoğrafların işlenmesi sonucunda, elde edilen üründe de hassasiyet ve doğruluk seviyesinin arzu edilen değerlerin altında gerçekleşmesi kaçınılmazdır.

4.2 Büroda Değerlendirme Yöntemi

Büroda değerlendirme (PPK) yönteminde, İHA üzerinde konumlandırılan hassas GNSS alıcısından elde edilen veriler belirli aralıklarla daha sonra işlenmek üzere hava aracı üzerinde kayıt edilir. Yerde kurulacak bir sabit istasyonda da benzer şekilde aynı zaman dilimi içerisindeki GNSS verileri kayıt altına alınır veya başka bir seçenek olarak en yakın CORS istasyonundan geçmişe dönük olarak alınabilecek veriler de kullanılabilir. Ancak uçuş alanında sabit tesis edilmesi daha yüksek doğruluk sağlayan bir yöntem olarak kabul edilmektedir (Şekil-4.1).



Şekil 4. 1 PPK Yöntemi

Uçuş sonunda İHA üzerinden ve sabitten alınan veriler Pix4D Photogrammetry Software yazılımı ile işlenerek İHA üzerindeki koordinatların sabit referansa göre düzeltilmesi sağlanır. Buradaki diğer önemli bir husus fotoğrafların ortofotolarının sonradan yapılıyor olması nedeni ile hangi fotoğrafın hangi zamanda çekildiği bilgisinin İHA üzerinde kayıt edilen loglarda yer alması gereksinimidir. Eğer zaman bilgisini öğrenirsek çekilen fotoğrafın da koordinatları belirleneceğinden ortofoto işlemi yapılabilir. Bunun için fotoğraf makinelerinin flaş çıkışlarına yerleştirilen bazı özel elektronik devreler kullanılmaktadır.

PPK ile RTK kıyaslandığında, PPK uçuş sonrası kısa süreli de olsa bir ofis çalışması gerektirmektedir. Yani yer istasyonundan ve İHA'dan alınan verilerin bir yazılımda işlenerek sonuç fotoğraf koordinatlarının üretilmesi gerekmektedir. RTK'da ise bu işlem otomatik olarak uçuş esnasında havada yapılmasına rağmen yer istasyonundan ile İHA arasında oluşabilecek bir radyo iletişimi kopması sonucunda yapılan tüm uçuşun başarısız olma riski bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada PPK metododu kullanılmıştır.

4.3 Uygulama

1.1 Test uçuşu için Adıyaman TUT ilçesinde çalışma yapılmış, SHGM (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü) İHA talimatına göre uçuş izni alınmıştır. Haritalanacak alan ($37^{\circ}48'33.49''N$ $37^{\circ}53'29.91.8''E$; $37^{\circ}48'45.47''N$, $37^{\circ}56'19.17''E$) 3379.35 km^2 dikdörtgen şeklinde bir alan olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. 2 Ortomozaik ve Yer Kontrol Noktaları

Çalışma alanında tesis edilen 17 adet yer kontrol noktaları ortofotonun düzeltilmesi amaçlı değil, RTK GPS ve DGPS teknikleri kullanılarak elde edilen koordinatların gerçek ölçüme ne derece yakınsadığını tespit etmek amacıyla kullanılmıştır. YKN'lere ait yersel olarak okunan konum bilgileri Çizelge 4.1'de sunulmuştur.

Çizelge 4. 1 Yer Kontrol Noktaları

NOKTA NO	Y	X	H (Ortometrik)	h (Elipsoid)
P.4	403084,255	4185516,874	1070,900	1099,872
P.12	402773,694	4185239,258	1015,625	1044,536
P.32	403333,433	4185349,554	1064,064	1092,996
P.33	403683,221	4185420,461	1057,516	1086,459
P.34	403882,969	4185180,535	1027,457	1056,352
P.35	404265,701	4185497,863	1049,718	1078,667
P.36	404560,065	4185224,831	1039,816	1068,717
P.37	404816,589	4185298,725	1049,960	1078,871
P.38	405074,632	4185094,291	1033,104	1061,985
P.39	405389,909	4185490,763	1075,223	1104,154
P.40	405733,488	4185520,428	1070,972	1099,901
P.41	403512,781	4184752,938	991,465	1020,271
P.42	406381,384	4185554,218	1059,544	1088,464
P.44	403336,378	4184848,850	998,653	1027,477
P.47	404743,606	4184957,798	1007,474	1036,333
P.48	404481,520	4184912,229	1004,122	1032,971
P.50	403853,974	4184918,544	1005,165	1034,009

Uçuş yüksekliği 240 metre, sürat 15 m/sn, yan bindirme %60, nden bindirme %80 olarak belirlenmiştir. İHA zerinde Sony DSC-RX100M2_10.4_5472x3648 (RGB) 20.3 MP dijital kamera kullanılmıştır. 240 metre uçuş irtifasında, söz konusu kamera ile üretilen ortofotoda 5.07 piksellik bir znrlk (GSD- Ground Sample Distance) elde edilmiştir. Uçuşun fotoğraf çekimi yapılan bölümü 27 dakika, kalkıştan inişe kadar geçen toplam süre ise 67 dakikadır. Uçuş boyunca toplamda 497 adet fotoğraf çekimi gerçekleştirilmiştir.

Test uçuşunda kullanılan İHA sistemi L1 ve L2 bandındaki uydulara bağlanabilen hassas bir GNSS alıcısı ve bu alıcıya uygun helezonik bir alıcı antenine sahiptir. Ayrıca İHA'nın üzerinde daha düşük kapasite ve kabiliyetteki ve özellikle sadece L1 bandında çalışabilen bir GNSS alıcısı kullanılmaktadır. Kullanılan bu tip alıcıların ortalama konumlandırma doğruluğu 2-5 m arasında değişmektedir. Günümüzde cep telefonları ve araç GPS kitleri başta olmak üzere pek çok cihazda bu seviyedeki alıcılar kullanılmaktadır. Kullanılan hassas GNSS alıcısına ait özellikler izelge-4.2'de belirtilmiştir

Çizelge 4. 2 İHA da Kullanılan GNSS in Özellikleri

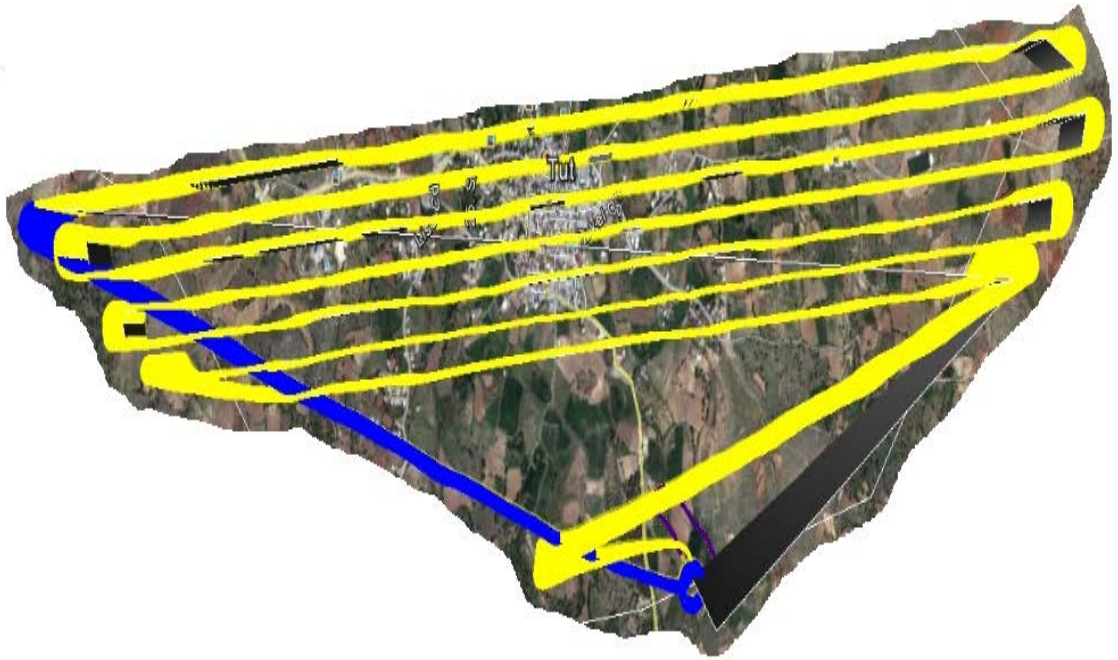
Genel Özellikler	Konumlandırma Hassasiyeti	
	Horizontal	Vertical
- Desteklenen Sinyaller: GPS (L1, L2), GLONASS (L1, L2) - SBAS için 3 kanallı izleme (EGNOS, WAAS, GAGAN, MSAS, SDCM) 25Hz ham veri çıktısı (kod, taşıyıcı, navigasyon verisi) isteğe bağlı özellik 25Hz SBAS, DGNSS 10Hz RTK - Posterior Çok Yollu Değerlendirici Tekniği (APME+), (kod ve faz çok yolluluğunu azaltmayı içeren)	Tek Başına 1.2m	1.9m
	SBAS	0.6m
	DGPS	0.4m
		0.8m
		0.9m
RTK performansı		
- RAIM - Differansiyel GNSS (base station and rover) - Real Time Kinematic	Yatay Doğruluk	0.6cm + 0.5ppm
	Düşey Doğruluk	1cm + 1ppm
	Fixlenmesi için Gereken Ortalama Zaman	7 sec
Konumsal Doğruluk		
	Yatay	Düşey
	0.01 m/s	0.015 m/s
Maksimum Yenileme Oranı		
	Konum (Standalone, SBAS, DGNSS)	25Hz
	Konum (RTK)	10Hz
	Ölçümler	25Hz
	Gecikme	< 20msec

Ayrıca kullandığımız İHA, otopilot sistemi tarafından yapılan hesaplamalar sonucunda fotoğraf makinesine gönderilen çekim sinyalleri ile fotoğrafın çekildiği zaman arasında az da olsa bir gecikmesi vardır. Test için kullanılan sistemde yapılan denemelerde bu gecikmenin ortalama 300 ms olduğu gözlenmiştir. 15 m/sn ortalama hızla seyir eden bir hava aracında bu gecikme kabaca 5 metrelik bir hataya karşılık gelmektedir. Santimetre seviyesinde hassasiyet beklenen bir çalışmada daha ilk başta 5 metrelik bir hata ile veri toplanması, sonuca negatif etkide bulunmaktadır. Bu nedenle UASTürk İHA

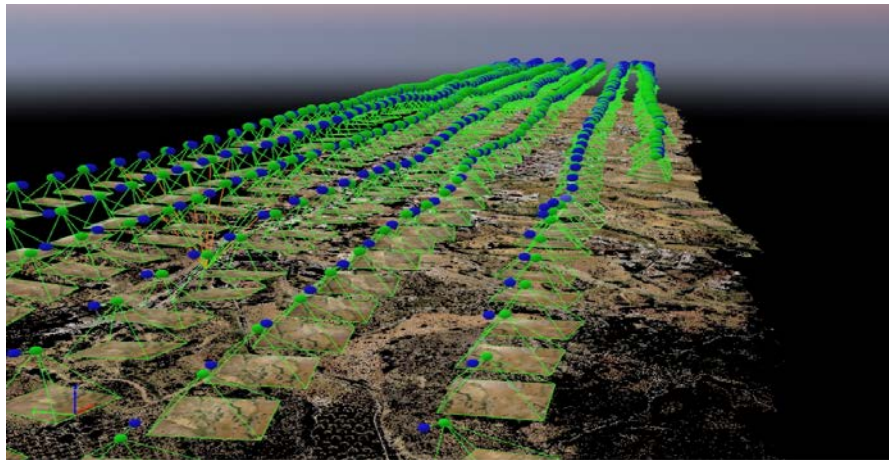
sistemi üzerinde bulunan özel elektronik donanım kullanılarak fotoğraf çekim komutlarının verildiği T0 anları değil, gerçekten fotoğrafın çekildiği T1 anları GNSS alıcısı üzerindeki hafıza kartına bir “Event Marker” (işaret) olarak kayıt edilmekte ve bu sayede hangi fotoğrafın hangi zamanda ve hassas konumda çekildiği tespit edilebilmektedir [4].

4.4 Uçuş ve Fotoğraf Çekimleri

Test uçuşu süresince planlanan arazi üzerinde 497 adet fotoğraf çekimi yapılmıştır. Uçuşa ait gerçekleşen rota ve fotoğraf çekimleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. 3 Uçuş Rotası



Şekil 4. 4 Uçuşa Ait Fotoğraf Çekimleri

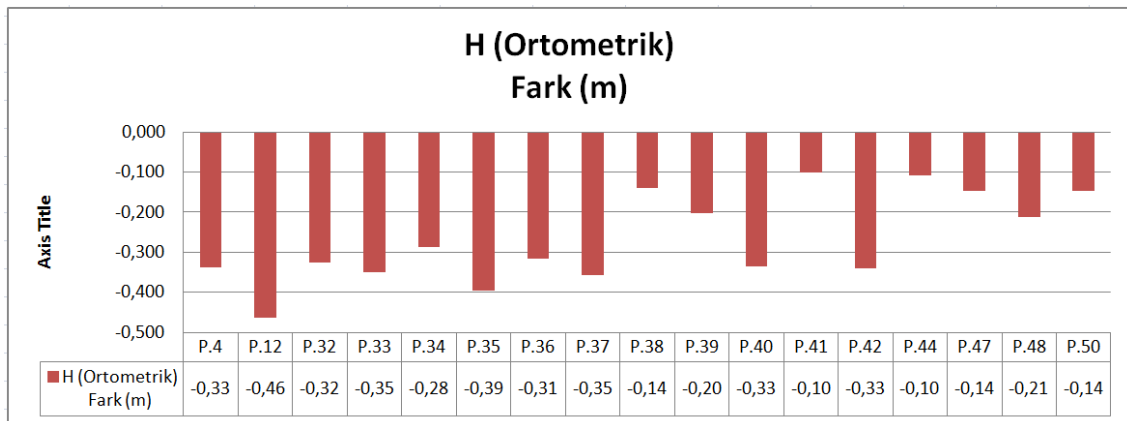
4.5 Uçuş Sonu İşlemleri ve Büroda Değerlendirme

Uçuş sonunda İHA üzerindeki hassas GNSS alıcısında kaydedilmiş olan veriler ve fotoğraf makinesi tarafından çekilen fotoğraflar bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

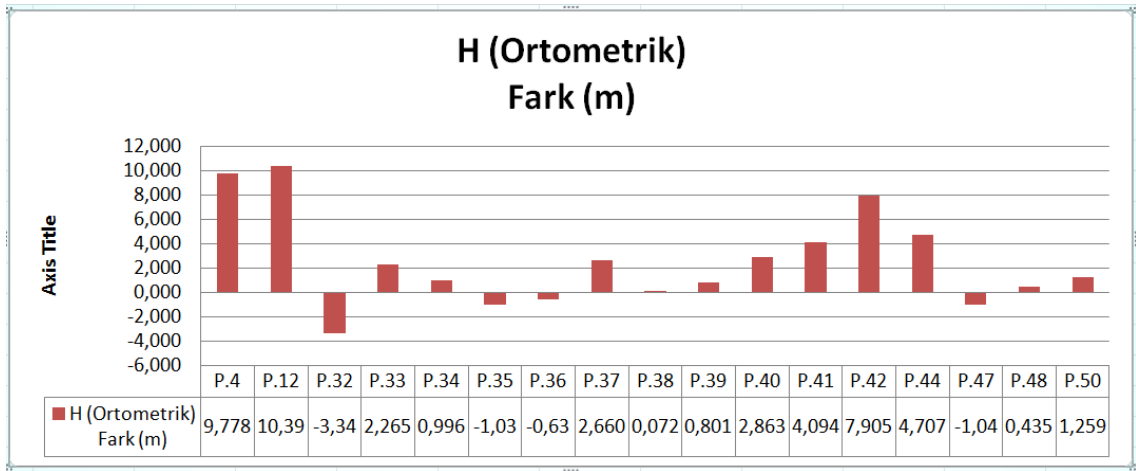
Aynı zamanda referans veri olarak kullanılmak üzere uçulan bölgenin uçuş saat aralığındaki 1 sn hassasiyetli GNSS verisi (RINEX) Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı olan TUSAGA Aktif sistemi üzerinden indirilmiştir.

GNSS alıcısı ile birlikte sunulan GeoTagZ yazılımı kullanılarak istasyondan alınan veriler, uçak üzerinden alınan hassas GNSS verisi ve çekilen fotoğraflar kullanılarak fotoğrafların hassas çekim koordinatları PPK yöntemi ile yazılım tarafından tespit edilmiş ve Pix4D tarafından otomatik olarak kullanılabilir formatta üretilmiştir.

Konum bilgileri hassas olarak bilinen fotoğrafların ortofotoya dönüştürülmesi için; İHA ile yapılan uzaktan algılama ve haritalama uygulamalarına özel olarak geliştirilmiş ve bu çerçevede yaygın bir kullanım alanı olan Pix4D yazılımı kullanılarak resimler dengelenmiş ve eşleştirilerek çekim alanının 3 boyutlu nokta bulutu üretilmiştir [13]. Daha sonra da ortomozaik elde edilmiştir. RTK GPS ve İHA üzerindeki GPS verileri kullanarak büroda değerlendirme yöntemi ve pixel 4d programı ile üretilen nokta bulutundaki ve ortomozaik ürünündeki yer kontrol noktalarının koordinatları, yerde tesis edilmiş yer kontrol noktaları ile karşılaştırılmış, bu dört tabloda çıkan sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılarak RTK GPS alıcısı ile yapılan ölçümün hassasiyeti ortaya konmuştur. Yapılan işlemlere ait şekiller aşağıda, çizelgeler ise EK-A'da sunulmuştur.



Şekil 4. 5 RTK GPS ile Elde Edilen Yükseklik Koordinat Analizi



Şekil 4. 6 İHA Üzerindeki GPS ile Elde Edilen Yükseklik Koordinat Analizi



Şekil 4. 7 RTK GPS ile Elde Edilen Yatay Koordinat Analizi



Şekil 4. 8 İHA Üzerindeki GPS ile Elde Edilen Yatay Koordinat Analizi

SONUÇ VE ÖNERİLER

İnsanoğlu geçmişten günümüze kadar yönünü ve konumunu bilmek istemiş, bunun için gökyüzünü ve doğayı referans almıştır. Konumunu ve yönünü bularak yeni yerler keşfeden insanoğlu bu sayede ticaret yapabilmiş ve sosyalleşmiştir. Teknolojide yaşanan gelişmelerle birlikte insanoğlu konumunu daha hassas bilmek ihtiyacı hissetmiş ve bu alanda çalışmalarına hız vermiştir. Bu çalışmaların en önemlisi NAVSTAR GPS Sistemidir. İlk olarak askeri kullanım için tasarlanan sistem daha sonra sivil kullanıma da açılmıştır. Gemilerden uçaklara, sivil kurtarma ekiplerinden araç takip sistemlerine, çevre kirliliğinden jeolojiye kadar birçok araç ve sistem konumlarını bulabilmek için GPS sistemini kullanmaktadır. Bu sistemlerden birisi de İnsansız Hava Araçlarıdır.

İnsansız Hava Araçlarının üzerinde bulunan GPS-IMU sistemi ile yönleri ve konumları bilinebilmekte ve kontrol istasyonu ile rotaları güncellenebilmektedir. Radyo sinyalleri ile alınan İHA'ların konum doğruluğu 2-5 m civarındadır. Yaptığım tez çalışmamda İHA üzerinde monte ettiğimiz RTK GPS'den elde ettiğimiz verilere aynı bölgedeki CORS istasyonundan geçmişe dönük olarak elde ettiğimiz verilerle düzeltme getirerek analizini gerçekleştirdik. Bu analiz sonucunda yatayda 10 cm, düşeyde ise 27 cm doğruluk elde ettik. İHA üzerindeki GPS ile aynı işlemleri yaptığımız zaman ise yatayda 3.7 m, düşeyde ise 3.2 m değerlerini elde ettik. RTK GPS ile konum hassasiyeti santimetreler mertebesinde olurken, tek alıcılı İHA üzerindeki GPS ile desimetreler mertebesinde olduğunu gözlemledik.

Test çalışmamızda radyo sinyalinin kopma olasılığından dolayı büroda değerlendirme (PPK : Post Process Kinematic) yöntemini seçtik. Sinyal kopmasının, amacı etkilemeyecek senaryolarda, kontrol istasyonu üzerine kurulacak GPS anten ile İHA'ya düzeltmeler getirilerek de İHA'nın konumu hassas bir şekilde bulunabilecektir. Bu metodun dezavantajı CORS ağına bağlanma gereksinimidir. Çalışma yapılan bölgede CORS ağlarına bağlanabilinirken, İHA'nın çalışma alanının dışına çıktığında düzeltmelerini hangi CORS ağından alacağı ve başka bir CORS ağına bağlanmak istediğinde bağlanmanın nasıl olacağı ayrı bir çalışma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca yurtdışında yapılacak projelerde CORS tipi ağların olup olmaması da çalışmaları etkileyecek ayrı bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır.

Gelecekte tüm hava araçlarının insansız olarak seyrüsefer yapması düşünüldüğünde İHA'ların konum doğruluğu çok daha önemli olacaktır. Ayrıca büyük sanayi projelerinde, inşaat sektöründe, jeolojide, tarımda ve altyapı çalışmalarında konum doğruluğu da artan bir gereksinim olarak karşımıza çıkacaktır.

KAYNAKLAR

-
- [1] Mevlütoğlu, A., (2009). “İnsansız Hava Araçları ve Ağ Merkezli Muharebe Kavramı”, TMMOB Makina Mühendisleri Odası V. Ulusal Uçak, Havacılık ve Uzay Kurultayı.
- [2] SSM (Savunma Sanayi Müsteşarlığı) Türkiye İnsansız Hava Araçları Yol Haritası, http://www.ssm.gov.tr/_layouts/images/iha_ekatalog_web/files/assets/seo/page20.html.
- [3] AFCEA (Silahlı Kuvvetler Muharebe ve Elektronik Derneği) ASELSAN İHA Sistemleri www.afcea.org.tr/afceatr/makaleler/IHA_Sistemleri0498.pdf.
- [4] Boy, O ve Saraloğlu S., (2016). “Yer Kontrol Noktaları Kullanılmadan İHA’lar ile Hangi Doğruluk Seviyesinde Haritalama Yapılabilir”, UASTÜRK.
- [5] Austin, R., (Aeronautical Consultant) “Unmanned Aircraft Systems” (2010) Aerospace Series A John Wiley and Sons, Ltd.,
- [6] Atak, V. ve Aksu, O., “Algılayıcı Yönelme Sistemleri” (Temmuz 2004) Hrt.Gn.K.lığı, Harita Dergisi, 132:26-37.
- [7] T.C Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü İnsansız Hava Aracı Talimatı https://iha.shgm.gov.tr/public/document/SHT-IHA_REV1.pdf 22 Şubat 2016
- [8] Uzel, T. ve Eren K. , (2008). Ulusal CORS Sisteminin Kurulması ve Datum Dönüşümü Projesi, İstanbul.
- [9] Dündar V. ve Erdi A., “Coğrafi Bilgi Sistemi için Diferansiyel GPS Yöntemi ile Veri Toplama” Hrt.Gn.K.lığı.
- [10] Uzel, T. ve Eren K. , (1995). GPS Ölçmeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbası, Yayın no: 301, İstanbul.
- [11] Pırtı, A., (2009). Mühendislik Ölçmelerinde RTK GPS Kullanımı, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Çömert R, Avdan U. ve Şenkal E., “İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Gelecekteki Beklentiler” (2016), Eskişehir.
- [13] Pix4D Photogrammetry Software- www.pix4d.com.

- [14] Real-Time Software Receivers, GPS World, Eylül 1, 2009 by Pierre-André Farine, Marcel Baracchi-Frei, Grégoire Waelchli, Cyril Botteron.
- [15] Saldıraner Y.,(2015). "Hava Seyrüsefer Yardımcı Sistem ve Kolaylıkları", Alanya HEP Üniversitesi.
- [16] Mekik Ç.,(2010). "Global Uydu Navigasyon Sistemleri ve Uydu Bazlı Alan Büyütme Sistemleri" CeBIT - Eurasia 2010 Coğrafi Bilgi Teknolojileri Çalıştayı.
- [17] Göktoğan H.A. ve Sukkarieh S., (2005). "An Augmented Reality System for Multi-UAV Missions" University of Sydney, NSW Australia.
- [18] McGarity M., (2005). "Simulation Across the UAV Life Cycle – Lessons Learnt", CAE Australia.
- [19] Schaefer P., Colgren R.D. ve Abbott R.J., (February 2000). "TECHNOLOGIES FOR RELIABLE AUTONOMOUS CONTROL (TRAC) OF UAVs", Lockheed Martin Aeronautics Company/University of Phoenix.
- [20] Elston J., Argrow B. ve Frew E., (2005). "Distributed Avionics Package for Small UAVs", Infotech@Aerospace Conferences, 26-29 September 2005, Arlington, Virginia.
- [21] Shively J., (May 2004). "A Shift in Automation Philosophy:From Manned to Unmanned", Human Factors of UAVs Workshop Cognitive Engineering Research Institute.
- [22] Allouche M., (2005). "Unmanned Air Vehicle Systems", Airworthiness & Airspace Integration, IAI-Malat Ongoing Experience and Activities & Recent European Rule-Making Initiatives An Overall Briefing, 18th UAV-NET MEETING, 13 MAY 2005, EILAT.
- [23] Demirkıran K., (2010). "İnsansız Hava Araçlarının Gelişimi", Bilim ve Teknik Dergisi, Aralık 2010 : 28-31.
- [24] Haser A.B., (2010). "Bu İnsansız Hava Aracı'ndan Daha Önce Yapmamış Mıydık?", Bilim ve Teknik Dergisi, Aralık 2010 : 32-37.
- [25] Altunok T., (2010). "Türkiye'nin İHA Serüveni", Bilim ve Teknik Dergisi, Aralık 2010 : 38-41
- [26] Bayraktar H. ve Bayraktar S., (2010). "Teknolojileriyle Dünyadaki Rakipleriyle Yarışan Özgün ve Milli İnsansız Hava Araçları Bayraktar, Malazgirt ve Çaldıran", Bilim ve Teknik Dergisi, Aralık 2010 : 42-47.
- [27] Çetin G., (2010). "Türk İnsansız Uçak Sistemlerinin En Gelişmiş Anka", Bilim ve Teknik Dergisi, Aralık 2010 : 48-51.
- [28] Karakış S., (2012). "İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Büyük Ölçekli Fotogrametrik Harita Üretim Olanaklarının Araştırılması", Harita Dergisi, 147:13-20.
- [29] Williams P. ve Crump M., (2012). "ALL-SOURCE NAVIGATION FOR ENHANCING UAV OPERATIONS IN GPS-DENIED ENVIRONMENTS", 28th International Congress Of The Aeronautical Sciences.

- [30] Cesetti A., Frontoni E., Zingaretti P., Longhi S. and Mancini A.,(2009). "A Vision-Based Guidance System for UAV Navigation and Safe Landing using Natural Landmarks", 21 October 2009, Netherland.
- [31] Kim J.H., Wishart S. And Sukkarieh S.,(2006). "Real-time Navigation, Guidance, and Control of a UAV using Low-cost Sensors", 07 July 2006, University of Sydney, NSW Australia.



KOORDİNAT ANALİZİ

RTK GPS ile Elde Edilen Yükseklik Koordinat Analizi

N.N	Y(m)	X(m)	H (Ortometrik)	N.N	Y'(m)	X'(m)	H (Ortometrik) Ölçülen (m)	H (Ortometrik) Fark (m)
P.4	403084,255	4185516,874	1070,900	P.4'	403084,139	4185516,762	1071,238	-0,338
P.12	402773,694	4185239,258	1015,625	P.12'	402773,734	4185239,176	1016,088	-0,463
P.32	403333,433	4185349,554	1064,064	P.32'	403333,415	4185349,602	1064,390	-0,326
P.33	403683,221	4185420,461	1057,516	P.33'	403683,134	4185420,519	1057,866	-0,350
P.34	403882,969	4185180,535	1027,457	P.34'	403882,995	4185180,634	1027,744	-0,287
P.35	404265,701	4185497,863	1049,718	P.35'	404265,706	4185497,820	1050,113	-0,395
P.36	404560,065	4185224,831	1039,816	P.36'	404559,978	4185224,871	1040,132	-0,316
P.37	404816,589	4185298,725	1049,960	P.37'	404816,554	4185298,817	1050,317	-0,357
P.38	405074,632	4185094,291	1033,104	P.38'	405074,565	4185094,385	1033,245	-0,141
P.39	405389,909	4185490,763	1075,223	P.39'	405389,855	4185490,764	1075,426	-0,203
P.40	405733,488	4185520,428	1070,972	P.40'	405733,418	4185520,393	1071,307	-0,335
P.41	403512,781	4184752,938	991,465	P.41'	403513,067	4184752,836	991,567	-0,102
P.42	406381,384	4185554,218	1059,544	P.42'	406381,361	4185554,197	1059,883	-0,339
P.44	403336,378	4184848,850	998,653	P.44'	403336,458	4184848,838	998,762	-0,109
P.47	404743,606	4184957,798	1007,474	P.47'	404743,526	4184957,922	1007,621	-0,147
P.48	404481,520	4184912,229	1004,122	P.48'	404481,485	4184912,356	1004,334	-0,212
P.50	403853,974	4184918,544	1005,165	P.50'	403853,919	4184918,661	1005,311	-0,146
							ORTALAMA	ΔH = 0.269
							STD. SAPMA	S = 0.110

İHA Üzerindeki GPS ile Elde Edilen Yükseklik Koordinat Analizi

N.N	Y(m)	X(m)	H (Ortometrik)	N.N	Y'(m)	X'(m)	H (Ortometrik) Ölçülen (m)	H (Ortometrik) Fark (m)
P.4	403084,255	4185516,874	1070,900	P.4'	403089,201	4185519,027	1061,122	9,778
P.12	402773,694	4185239,258	1015,625	P.12'	402778,877	4185242,562	1005,228	10,397
P.32	403333,433	4185349,554	1064,064	P.32'	403337,877	4185351,610	1067,407	-3,343
P.33	403683,221	4185420,461	1057,516	P.33'	403687,271	4185421,978	1055,251	2,265
P.34	403882,969	4185180,535	1027,457	P.34'	403886,784	4185182,248	1026,461	0,996
P.35	404265,701	4185497,863	1049,718	P.35'	404269,365	4185498,784	1050,757	-1,039
P.36	404560,065	4185224,831	1039,816	P.36'	404563,145	4185225,986	1040,449	-0,633
P.37	404816,589	4185298,725	1049,960	P.37'	404819,424	4185299,659	1047,300	2,660
P.38	405074,632	4185094,291	1033,104	P.38'	405076,911	4185095,544	1033,032	0,072
P.39	405389,909	4185490,763	1075,223	P.39'	405391,613	4185491,279	1074,422	0,801
P.40	405733,488	4185520,428	1070,972	P.40'	405734,507	4185521,038	1068,109	2,863
P.41	403512,781	4184752,938	991,465	P.41'	403516,742	4184755,458	987,371	4,094
P.42	406381,384	4185554,218	1059,544	P.42'	406380,854	4185555,490	1051,639	7,905
P.44	403336,378	4184848,850	998,653	P.44'	403340,542	4184851,709	993,946	4,707
P.47	404743,606	4184957,798	1007,474	P.47'	404746,369	4184959,298	1008,516	-1,042
P.48	404481,520	4184912,229	1004,122	P.48'	404484,692	4184913,869	1003,687	0,435
P.50	403853,974	4184918,544	1005,165	P.50'	403857,624	4184920,562	1003,906	1,259
							ORTALAMA	ΔH = 3.194
							STD. SAPMA	S = 3,857

RTK GPS ile Elde Edilen Yatay Koordinat Analizi

N.N	Y(m)	X(m)	N.N	Y'(m)	X'(m)	DY Fark (m)	DX Fark (m)	GM Ölçülen (m)
P.4	403084,255	4185516,874	P.4'	403084,139	4185516,762	0,116	0,112	0,161
P.12	402773,694	4185239,258	P.12'	402773,734	4185239,176	-0,040	0,082	0,091
P.32	403333,433	4185349,554	P.32'	403333,415	4185349,602	0,018	-0,048	0,05
P.33	403683,221	4185420,461	P.33'	403683,134	4185420,519	0,087	-0,058	0,105
P.34	403882,969	4185180,535	P.34'	403882,995	4185180,634	-0,026	-0,099	0,103
P.35	404265,701	4185497,863	P.35'	404265,706	4185497,820	-0,005	0,043	0,043
P.36	404560,065	4185224,831	P.36'	404559,978	4185224,871	0,087	-0,040	0,095
P.37	404816,589	4185298,725	P.37'	404816,554	4185298,817	0,035	-0,092	0,098
P.38	405074,632	4185094,291	P.38'	405074,565	4185094,385	0,067	-0,094	0,115
P.39	405389,909	4185490,763	P.39'	405389,855	4185490,764	0,054	-0,001	0,054
P.40	405733,488	4185520,428	P.40'	405733,418	4185520,393	0,070	0,035	0,078
P.41	403512,781	4184752,938	P.41'	403513,067	4184752,836	-0,286	0,102	0,304
P.42	406381,384	4185554,218	P.42'	406381,361	4185554,197	0,023	0,021	0,03
P.44	403336,378	4184848,850	P.44'	403336,458	4184848,838	-0,080	0,012	0,081
P.47	404743,606	4184957,798	P.47'	404743,526	4184957,922	0,080	-0,124	0,147
P.48	404481,520	4184912,229	P.48'	404481,485	4184912,356	0,035	-0,127	0,132
P.50	403853,974	4184918,544	P.50'	403853,919	4184918,661	0,055	-0,117	0,129
ORTALAMA						ΔY 0.069	ΔX 0.071	Σ 0,107
STD. SAPMA						0,093	0,081	0,063

İHA Üzerindeki GPS ile Elde Edilen Yatay Koordinat Analizi

N.N	Y(m)	X(m)	N.N	Y'(m)	X'(m)	DY Fark (m)	DX Fark (m)	GM Ölçülen (m)
P.4	403084,255	4185516,874	P.4'	403089,201	4185519,027	-4,946	-2,153	5,509
P.12	402773,694	4185239,258	P.12'	402778,877	4185242,562	-5,183	-3,304	6,145
P.32	403333,433	4185349,554	P.32'	403337,877	4185351,610	-4,444	-2,056	4,896
P.33	403683,221	4185420,461	P.33'	403687,271	4185421,978	-4,050	-1,517	4,324
P.34	403882,969	4185180,535	P.34'	403886,784	4185182,248	-3,815	-1,713	4,182
P.35	404265,701	4185497,863	P.35'	404269,365	4185498,784	-3,664	-0,921	3,777
P.36	404560,065	4185224,831	P.36'	404563,145	4185225,986	-3,080	-1,155	3,288
P.37	404816,589	4185298,725	P.37'	404819,424	4185299,659	-2,835	-0,934	2,983
P.38	405074,632	4185094,291	P.38'	405076,911	4185095,544	-2,279	-1,253	2,600
P.39	405389,909	4185490,763	P.39'	405391,613	4185491,279	-1,704	-0,516	1,782
P.40	405733,488	4185520,428	P.40'	405734,507	4185521,038	-1,019	-0,610	1,189
P.41	403512,781	4184752,938	P.41'	403516,742	4184755,458	-3,961	-2,520	4,694
P.42	406381,384	4185554,218	P.42'	406380,854	4185555,490	0,530	-1,272	1,379
P.44	403336,378	4184848,850	P.44'	403340,542	4184851,709	-4,164	-2,859	5,050
P.47	404743,606	4184957,798	P.47'	404746,369	4184959,298	-2,763	-1,500	3,145
P.48	404481,520	4184912,229	P.48'	404484,692	4184913,869	-3,172	-1,640	3,569
P.50	403853,974	4184918,544	P.50'	403857,624	4184920,562	-3,650	-2,018	4,170
					ORTALAMA	ΔY 3,251	ΔX 1,644	Σ 3,687
					STD. SAPMA	1,450	0,771	1,413

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Emrah GÜRÇAY
Doğum Tarihi ve Yeri : 19.10.1980
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : gurcayemrah@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Harita Mühendisliği	YTÜ	2003
Lise	Fen/Matematik	MPAL	1999

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2005	Hava Kuvvetleri Komutanlığı	Harita Mühendisi