

**FOTOGRAMETRİK UÇUŞLARDA YAN BİNDİRMENİN  
OPTİMİZASYONU**

**Mahmut ERSOY**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRILMASI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2006  
ANKARA**

Mahmut ERSOY tarafından hazırlanan FOTOGRAMETRİK UÇUŞLARDA YAN BİNDİRMENİN OPTİMİZASYONU adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Türkay TÜDEŞ  
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Cemal BIYIK

Üye : Prof.Dr. Türkay TÜDEŞ

Üye : Doç.Dr. Atila DORUM

Tarih : 22/06/2006

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mahmut ERSOY

**FOTOGRAMETRİK UÇUŞLARDA YAN BİNDİRMENİN  
OPTİMİZASYONU  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Mahmut ERSOY**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
Haziran 2006**

**ÖZET**

Fotogrametrik harita üretim amaçlı havadan fotoğraf alım görevlerinde; bölgenin uçuş planlaması esnasında uçuş kolonları tespit edilir. Bu kolonları birbirine bağlayabilmek için daha önceden konumları belli olan kontrol noktalarının her iki kolonda da görülmesine ihtiyaç vardır. Kontrol noktalarının her iki kolonda da görülmesi için aynı bölgenin iki kez fotoğraflanması zorunludur, diğer bir ifadeyle kolonların birbiri üzerine (yan bindirme) bindirilmesi gerekmektedir. Genellikle yan bindirme Türkiye’de ve dünyada uzun yıllardır tecrübî bir oran olan ortalama % 30 olarak planlanmaktadır. Yan bindirme az tutulduğunda bazen her iki kolonda bulunan kontrol noktaları hava fotoğrafı üzerinde görülememekte ve bu da kolonlar birleştirilemediğinden dolayı açığa sebep olmaktadır. Hava fotogrametrisinde açıkların giderilmesi çok pahalıdır. Çünkü ilave uçuş ve ofiste bir hayli ilave çalışmayı gerektirir. Yan bindirme ihtiyaçtan fazla olduğunda ise gereksiz fotoğraflanan alanlardan dolayı üreticilere ilave zaman ve maliyete sebep olmaktadır. Güvenilir navigasyon yardımcıları ile uçağın konumunun iyi bilinmesi, fotogrametrik bir uçuşta tatminkâr bir sonuç elde etmek için çok önemlidir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte günümüzde uçakların otopilot ve hassas navigasyon sistemlerine kavuşması, GPS’in uçakların navigasyon sistemlerince kullanılmasından dolayı hava fotoğrafçılığı daha doğru olarak yapılabilmektedir. Yine GPS ölçmelerinde, geleneksel jeodezik çalışmalarda gereken dizi veya üçgenleme mecburiyetinin olmaması

**kontrol noktalarının istenen bölgeye yerleştirilmesinde büyük kolaylık sağlar. İncelenen bilgilerin ışığında bu çalışmada yan bindirmenin optimizasyonu değerlendirilecektir.**

**Bilim Kodu : 703**  
**Anahtar Kelimeler : Hava Fotoğrafı, Yan Bindirme, Uçak, Hava Kamerası**  
**Sayfa Adedi : 88**  
**Tez Yöneticisi : Prof.Dr. Türkay TÜDEŞ**

**THE OPTIMISATION OF SIDELAP IN PHOTOGRAMMETRIC FLIGHT**  
(M.Sc. Thesis)

**Mahmut ERSOY**

**GAZI UNIVERSITY**  
**INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**  
**June 2006**

**ABSTRACT**

On aerial photography duties, which aim for photogrammetric map production, flight strips are determined while flight planning of the region. For connecting these strips, control points those coordinates known previously, need to be seen in each two strips. In order that control points can be seen on each strips, it is necessary to take aerial photo of the same region twice; in other words sidelap of the strip is needed. Usually sidelap has been planning with a nominal average of 30% in all over the world and also in Turkey for many years. When sidelap is less than needed sometimes it is impossible to see control points on the aerial photos which must be on each two strips and it causes gaps due to impossibility of connecting these strips. Gaps in the aerial photogrammetry are expensive to fill in.due to extra flight and much extra office work. When sidelap is greater than needed, it causes additional cost and time for producers because of the area. photographed unnecessarily In order to achieve a satisfactory result on a photographic sortie, the use of certain navigational aids can be of great value in positioning the aircraft. Nowadays as new technologies are developing, planes have autopilot and sensitive GPS navigation systems; aerial photography can be made more accurately. And also GPS surveys give an oppurtinuty of putting control points to wherever you want due to no need to triangulation as

**in the conventional geodetic survey. Based on this information, the optimisation of the sidelap will be evaluated in this study.**

**Science Code : 703**

**Key Words : Aerial Photo, Sidelap, Aircraft, Aerial Camera**

**Page Number : 88**

**Adviser : Prof. Dr. Türkay TÜDEŞ**

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, kıymetli tecrübelerinden ve bilgilerinden faydalandığım hocam Prof.Dr. Türkay TÜDEŞ'e yine destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmada yer alan görüş ve öneriler, kişisel düşüncelerim olup herhangi bir kurum veya makamı bağlayıcı değildir.



## İÇİNDEKİLER

|                                                              | <b>Sayfa</b> |
|--------------------------------------------------------------|--------------|
| ÖZET.....                                                    | iv           |
| ABSTRACT.....                                                | iv           |
| TEŞEKKÜR.....                                                | viii         |
| İÇİNDEKİLER .....                                            | ix           |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                    | xii          |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....                                     | xiii         |
| RESİMLERİN LİSTESİ .....                                     | xv           |
| SİMGELER VE KISALTMALAR .....                                | xvi          |
| 1. GİRİŞ .....                                               | 1            |
| 2. FOTOGRAMETRİ .....                                        | 2            |
| 2.1. Fotogrametrinin Sınıflandırılması .....                 | 3            |
| 2.1.1. Uygulama alanına göre .....                           | 3            |
| 2.1.2. Resimlerin çekiliş yerine göre.....                   | 4            |
| 2.1.3. Değerlendirme yöntemine göre.....                     | 4            |
| 2.1.4. Değerlendirilecek objenin büyüklüğüne göre .....      | 5            |
| 2.2.Tarihçe.....                                             | 5            |
| 2.3. Ülkemizde Fotogrametri .....                            | 8            |
| 2.4. Fotogrametrinin Diğer Uygulama Alanları .....           | 10           |
| 3. HAVA FOTOĞRAFÇILIĞINDA KULLANILAN UÇAK VE KAMERALAR ..... | 12           |
| 3.1. Uçaklar .....                                           | 12           |
| 3.2. Hava Kameraları .....                                   | 13           |

**Sayfa**

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.1. Hava kameralarının çeşitleri .....                          | 14 |
| 3.2.2. Hava kameralarının kısımları .....                          | 18 |
| 3.3. Yardımcı Uçuş Araçları .....                                  | 22 |
| 3.3.1. Statoskop .....                                             | 22 |
| 3.3.2. Ufuk kameraları .....                                       | 23 |
| 3.3.3. Navigasyon teleskopu .....                                  | 23 |
| 3.3.4. Kolon eksenini izlemeye yarayan elektronik sistemler.....   | 25 |
| 3.3.5. A.P.R.....                                                  | 25 |
| 3.3.6. Uçuş yönlendiricisi .....                                   | 25 |
| 3.3.7. Otomatik güç kontrolü .....                                 | 26 |
| 3.3.8. EFIS (Elektronik Uçuş Alet Sistemi).....                    | 27 |
| 3.3.9. EICAS (Motor Göstergeleri ve Mürettebat İkaz Sistemi) ..... | 27 |
| 3.3.10. FMS (Uçuş Yönetim Sistemi).....                            | 28 |
| 3.3.11. Otopilot .....                                             | 30 |
| 3.3.12. Birinci nesil otomasyon.....                               | 31 |
| 3.3.13. İkinci nesil otomasyon .....                               | 33 |
| 3.3.14. Üçüncü nesil otomasyon .....                               | 35 |
| 3.3.15. Kablo ile aktarılan uçuş kumandaları.....                  | 37 |
| 4. UÇUŞ PLANLAMASI .....                                           | 39 |
| 4.1. Uçuş Planlarının Hazırlanması.....                            | 39 |
| 4.2. Planlama.....                                                 | 40 |
| 5. UYDU BAZLI NAVİGASYON.....                                      | 51 |

**Sayfa**

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| 5.1. GPS'in Tanıtılması.....                        | 52 |
| 5.2. GPS'in Bölümleri.....                          | 52 |
| 5.3. GPS Hata Analizi .....                         | 58 |
| 5.4. Diferansiyal GPS (DGPS).....                   | 66 |
| 5.5. DGPS Düzeltmelerini Hesaplama Yöntemleri ..... | 70 |
| 5.6. Ana DGPS Teknikleri .....                      | 74 |
| 6. MEVCUT UYGULAMALAR.....                          | 82 |
| 7. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                          | 84 |
| KAYNAKLAR .....                                     | 86 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                      | 88 |

**ÇİZELGELERİN LİSTESİ**

| <b>Çizelge</b>                                                                    | <b>Sayfa</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 3.1. Görüş açısına göre kameralar.....                                    | 17           |
| Çizelge 5.1. DOP faktörleri [19].....                                             | 63           |
| Çizelge 5.2. DOP değerleri [19].....                                              | 63           |
| Çizelge 5.3. SA kapalı durumdayken hata çizelgesi [20]. ....                      | 65           |
| Çizelge 5.4. SA açık durumdayken hata çizelgesi [20]. ....                        | 66           |
| Çizelge 5.5. Pseudorange doğruluğu.....                                           | 69           |
| Çizelge 5.6. DGPS doğrulukları (SPS Kullanıcısı İçin). ....                       | 70           |
| Çizelge 6.1. Hava fotoğrafçılığında dünyada uygulanan yan bindirme oranları. .... | 83           |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                                                                     | Sayfa |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil.2.1. Yeryüzünden gelen milyonlarca ışık demeti resim (fotoğraf)<br>yüzeyinde yeryüzü şekillerini oluşturmaları..... | 3     |
| Şekil 3.1. Panoramik kamera .....                                                                                         | 15    |
| Şekil 3.2. Hava kamerasının kısımları .....                                                                               | 20    |
| Şekil 3.3. Kamera kesiti .....                                                                                            | 21    |
| Şekil 3.4. Hava kamerası odak düzlemi .....                                                                               | 22    |
| Şekil 3.5. Baz bileşenleri.....                                                                                           | 23    |
| Şekil 3.6. Wild RC 8 hava kamerası ve ufuk kamerası filmi.....                                                            | 24    |
| Şekil 3.7. FMS'siz elektromekanik kokpit [13] .....                                                                       | 32    |
| Şekil 3.8. FMS'li elektromekanik kokpit [13] .....                                                                        | 35    |
| Şekil 3.9. FMS'li ve EFIS'li kokpit [13] .....                                                                            | 36    |
| Şekil 3.10. Tamamen sayısal cam kokpit [15] .....                                                                         | 37    |
| Şekil 4.1. Baz uzaklığı ve boyuna bindirme .....                                                                          | 42    |
| Şekil 4.2. Yan bindirme .....                                                                                             | 43    |
| Şekil 4.3. Azalan boyuna örtü oranı.....                                                                                  | 45    |
| Şekil 4.4. Kolon açıklığı .....                                                                                           | 49    |
| Şekil 4.5. Kontrol noktaları.....                                                                                         | 50    |
| Şekil 5.1. GPS'in bölümleri .....                                                                                         | 53    |
| Şekil 5.2. GPS kontrol-uzay-kullanıcı bölümleri ilişkisi [16].....                                                        | 55    |
| Şekil 5.3. SA açıkken nokta konumlama (1 Mayıs 2000).....                                                                 | 59    |
| Şekil 5.4. SA kapalıyken nokta konumlama (3 Mayıs 2000) .....                                                             | 60    |

| <b>Şekil</b>                                                                        | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 5.5. Multipath etkisi .....                                                   | 61           |
| Şekil 5.6. Uydu geometrisi.....                                                     | 64           |
| Şekil 5.7. Lokal alan diferansiyel GPS'i.....                                       | 67           |
| Şekil 5.8. DGPS' de temel prensip .....                                             | 72           |
| Şekil 5.9. Gözlem sonrası hesaplama (Post Processing).....                          | 73           |
| Şekil 5.10. Sabit istasyon ve gezen alıcı veri toplama yükseklik açısı sınırı ..... | 74           |
| Şekil 5.11. Örnek WADGPS ağı.....                                                   | 76           |
| Şekil 5.12. DGPS referans istasyon kısmı veri iletişim blok diyagramı [22] .....    | 78           |
| Şekil 5.13. DGPS uçaktaki kullanıcı kısmı veri iletişim blok diyagramı [22].....    | 80           |
| Şekil 5.14. DGPS teknikleri ve doğrulukları .....                                   | 81           |

**RESİMLERİN LİSTESİ**

| <b>Resim</b>                                                       | <b>Sayfa</b> |
|--------------------------------------------------------------------|--------------|
| Resim 3.1. Hava fotoğrafçılığında kullanılan pervaneli uçak.....   | 12           |
| Resim 3.2. Hava fotoğrafçılığında kullanılan jet motorlu uçak..... | 13           |
| Resim 3.3. Zeiss RMK TOP hava kamerası .....                       | 15           |
| Resim 3.4. Hava kamerası bölümleri .....                           | 19           |
| Resim 3.5. Hava kamerası objektifi .....                           | 21           |
| Resim 3.6. Navigasyon teleskobu .....                              | 24           |
| Resim 3.7. T-Flight .....                                          | 25           |
| Resim 3.8. FMS kontrol paneli .....                                | 29           |
| Resim 3.9. Cam kokpit.....                                         | 29           |
| Resim 4.1. Navigatör görev başında .....                           | 48           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| <b>Simgeler</b> | <b>Açıklama</b>                         |
|-----------------|-----------------------------------------|
| $\alpha$        | Resmin Z eksenine etrafındaki dönüklüğü |
| $\omega$        | Resmin X eksenine etrafındaki eğikliği  |
| $\varphi$       | Resmin Y eksenine etrafındaki eğikliği  |
| $c$             | Kamera sabiti                           |
| $h$             | Yükseklik                               |

| <b>Kısaltmalar</b> | <b>Açıklama</b>                        |
|--------------------|----------------------------------------|
| <b>ABD</b>         | Amerika Birleşik Devletleri            |
| <b>ADI</b>         | Air Data Indicator                     |
| <b>ALT</b>         | Altitude (otopilot modu)               |
| <b>ALT SEL</b>     | Altitude Select (otopilot modu)        |
| <b>APPR</b>        | Approach (otopilot modu)               |
| <b>APR</b>         | Airborne Profile Recorder              |
| <b>CA</b>          | Course/Acquisition, Clear Access       |
| <b>CDU</b>         | Control Display Unit                   |
| <b>CFIT</b>        | Controlled Flight Into Terrain         |
| <b>CRT</b>         | Catod Ray Tube                         |
| <b>ÇÜ</b>          | Çukurova Üniversitesi                  |
| <b>DGPS</b>        | Differential Global Positioning System |
| <b>DME</b>         | Distance Measurement Equipment         |
| <b>DSİ</b>         | Devlet Su İşleri                       |
| <b>EADI</b>        | Electronic Attitude Director Indicator |
| <b>EFIS</b>        | Electronic Instrumentation System      |



| <b>Kısaltmalar</b> | <b>Açıklama</b>                             |
|--------------------|---------------------------------------------|
| <b>EHSI</b>        | Electronic Horizontal Situation Indicator   |
| <b>EICAS</b>       | Engine Indications and Crew Alerting System |
| <b>EİEİ</b>        | Elektrik İşleri Etüd İdaresi                |
| <b>FAA</b>         | Federal Aviation Administration             |
| <b>FADEC</b>       | Full Authority Digital Engine Control       |
| <b>FANS</b>        | Future Air Navigation System                |
| <b>FBW</b>         | Fly-by-wire                                 |
| <b>FD</b>          | Flight Director                             |
| <b>FDI</b>         | Flight Director Indicator                   |
| <b>FMC</b>         | Flight Management Computer                  |
| <b>FMS</b>         | Flight Management System                    |
| <b>GDOP</b>        | Geometric Dilution of Precision             |
| <b>GLONASS</b>     | Russian Satellite Navigation System         |
| <b>GNSS-2</b>      | Küresen Uydu Navigasyon Sistemi             |
| <b>GP</b>          | Glide Path                                  |
| <b>GPS</b>         | Global Positioning System                   |
| <b>GPWS</b>        | Ground Proximity Warning System             |
| <b>GS</b>          | Glide Slope                                 |
| <b>HDOP</b>        | Horizontal Dilution of Precision            |
| <b>HITS</b>        | Highways in the Sky                         |
| <b>HSI</b>         | Horizontal Situation Indicator              |
| <b>HTK</b>         | Hava Trafik Kontrolü                        |
| <b>HUD</b>         | Head-up Display                             |
| <b>ILS</b>         | Instrument Landing System                   |
| <b>INS</b>         | Inertial Navigation System                  |
| <b>İÜ</b>          | İstanbul Üniversitesi                       |
| <b>İTÜ</b>         | İstanbul Teknik Üniversitesi                |
| <b>JPO</b>         | Joint Program Office                        |
| <b>KTÜ</b>         | Karadeniz Teknik Üniversitesi               |
| <b>LCD</b>         | Liquid Crystal Display                      |

| <b>Kısaltmalar</b> | <b>Açıklama</b>                                                   |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>LF</b>          | Low-frequency                                                     |
| <b>LOC</b>         | Localizer                                                         |
| <b>LORAN</b>       | Long Range Navigation                                             |
| <b>MFD</b>         | Multifunction Display                                             |
| <b>MTA</b>         | Maden Teknik Arama                                                |
| <b>NAVSTAR/GPS</b> | Navigation Satellite Timing And Ranging/Global Positioning System |
| <b>NDB</b>         | Non-directional Beacon                                            |
| <b>OCS</b>         | Operational Control System                                        |
| <b>ODTÜ</b>        | Orta Doğu Teknik Üniversitesi                                     |
| <b>OMEGA</b>       | Radio Navigation System                                           |
| <b>P</b>           | Precise/Protected Code                                            |
| <b>PCB</b>         | Printed Circuit Board                                             |
| <b>PDOP</b>        | Dilution of Precision                                             |
| <b>PFD</b>         | Primary Flight Display                                            |
| <b>PPS</b>         | Precise Positioning Service                                       |
| <b>SA</b>          | Selective Availability                                            |
| <b>SKIP</b>        | Static And Kinematic Positioning                                  |
| <b>SPS</b>         | Standart Positioning Service                                      |
| <b>SUU</b>         | Standart Uygulama Usulleri                                        |
| <b>TCAS</b>        | Traffic Collision Avoidance System                                |
| <b>TDOP</b>        | Time Dilution of Precision                                        |
| <b>TKGM</b>        | Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü                                  |
| <b>TÜBİTAK</b>     | Türkiye Bilim ve Teknik Araştırma Kurumu                          |
| <b>TIS-B</b>       | Traffic Information Service-Broadcast                             |
| <b>VFR</b>         | Visual Flight Rules                                               |
| <b>VOR</b>         | VHF Omrange Receiver                                              |
| <b>VDOP</b>        | Vertical Dilution of Precision                                    |

## 1. GİRİŞ

Fotogrametrik harita üretim amacıyla uçaklar vasıtasıyla yapılan havadan fotoğraf alımı çok yüksek maliyetleri olan bir iştir. Uçuş planlaması için ofiste yapılan çalışma, hava kamerası bakım ve kalibrasyonu, hava fotoğrafı filmi ve film banyosu, uçak yakıtı ve uçak bakım masrafları, amortisman/kira giderleri, hava alanı konuş ve konaklama, personel ücretleri v.b. giderler üst üste kondukça bir arazinin havadan fotoğrafının çekilmesinin maliyetin oldukça fazla olduğu görülmektedir.

Hava fotoğrafçılığı yılın 365 gününde yapılamaz, hava fotoğrafı alımı için havanın açık ve bulutsuz olması gerekir. Uçağın fotoğraf çekeceği yüksekliğin üzerinde bulut olursa resimlerde gölge oluşur ve kıymetlendirme safhasında sorun yaşanabilir. Ayrıca sis ve pus da fotoğraf alımını etkileyen meteorolojik olaylardır. Güneşin eğikliği de yüksek arazi şekillerinde gölge uzamalarına sebep verdiğinden negatif bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayıdır ki fotoğraf alım sezonu Mayıs ve Eylül ayları arasında ve 10:00 ile 15:00 saatleri arasında yapılabilmektedir. Bu arada uçuşun yapılabilmesi için bölgenin ilgili sivil havacılık otoritesi notam ofisince notamlanması gerektiğinden zaman çok önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır.

Fotoğraflanacak bölgenin uçuş planlaması safhasında istenen ölçeğe göre uçuş yükseklikleri tespit edilerek uçağın resim çekim esnasında izleyeceği uçuş kolonları tespit edilir. Kolonların birbirine bağlanabilmesi için her iki kolonda da kontrol noktalarının görülmesi zarureti vardır. Bu da yan bindirme ile mümkün olabilmektedir. Yan bindirme oranının az tutulması planlanan uçuş kolon sayısını azaltır, dolayısıyla zaman ve ekonomi açısından düşünüldüğünde bir kazanım sağlanır. Yan bindirme oranının az tutulması uçağın hassas navigasyon yapabilme kabiliyetine bağlıdır. Bu çalışmada gelişen teknolojiyle birlikte fotoğraf alım uçaklarında Lokal Alan DGPS uygulaması kullanılarak yan bindirmenin azaltılması araştırılacaktır.

## 2. FOTOGRAMETRİ

Fotogrametri kelimesi, eski Yunancadaki,

*fotos* : Işık

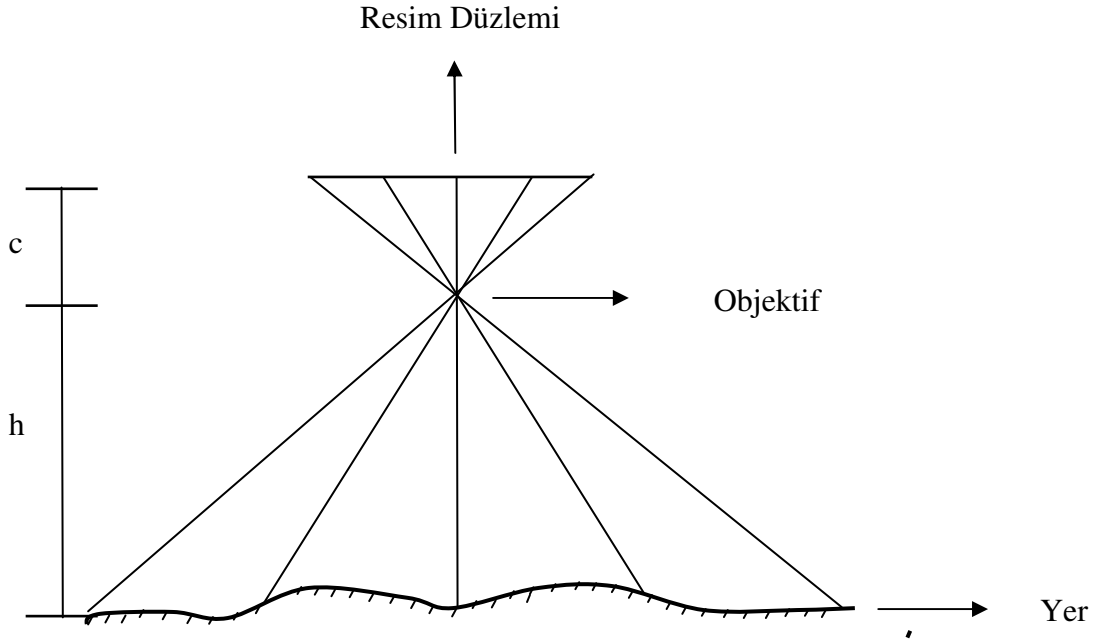
*gramma* : Çizim

*metron* : Ölçme

kelimelerinin birleşmesinden meydana gelmiş olup, "ışık yardımıyla ölçme-çizim" anlamına gelmektedir [1].

Günümüzde dar kapsamlı tanımı ile fotogrametri, "fiziksel nesneler ve çevre hakkında, görüntülerinden ölçüler alarak ve yorumlar yaparak güvenilir bilgiler elde etme bilimi ve sanatı"dır. Daha geniş kapsamlı bir tanımla; Fotogrametri, bir yer noktasına veya bir hava aracına (uçak, uydu v.s.) yerleştirilen özel bir fotoğraf makinesi (veya bir algılayıcı) ile çekilen fotoğraflardan yararlanarak resmi çekilen nesnenin şekli veya yapısı hakkında bilgi edinme tekniği ya da bilimidir.

Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere fotogrametri ve uzaktan algılama bilim dalları esasen içiçe girmiş bir durumdadır.



Şekil 2.1.Yeryüzünden gelen ışık demetinin resim (fotoğraf) yüzeyinde yeryüzü şekillerini oluşturması.

## 2.1. Fotogrametrinin Sınıflandırılması

Fotogrametri değişik ölçülere göre değişik biçimlerde sınıflandırılmaktadır. Ayrıca uygulanan tekniğin ve yöntemlerin gelişmesi, sınıflandırmanın da zamanla değiştirilmesini gerektirmektedir. Aşağıda, günümüzdeki uygulama alanları ile yapım yöntemleri ve tekniğine göre bir sınıflandırma yapılmıştır [2].

### 2.1.1. Uygulama alanına göre

- Topoğrafik fotogrametri
- Topoğrafik olmayan fotogrametri (Nontopographic)
- Foto yorumlama (fotointerpretasyon)
- Mühendislik fotogrametrisi (Teknik fotogrametri)

biçiminde sınıflandırılabilir.

Bunlardan Topoğrafik fotogrametri, harita yapımı gibi, topoğrafik amaçlar için uygulanan fotogrametridir. Topoğrafik olmayan fotogrametri ise genel anlamda, fotogrametrinin topoğrafik amaçlar dışındaki tüm uygulamalarını içermektedir.

Bunlardan bir kısmında, değişik amaçlar için foto yorumlama yapılmaktadır. Mimarlık fotogrametrisi, yol yapım çalışmalarında ve başka amaçlarla en ve boy kesit çıkarma, montaj vb. gibi fotogrametrik ölçme ve değerlendirme işlemleri, mühendislik fotogrametrisi ismi altında toplanmaktadır.

### **2.1.2. Resimlerin çekiliş yerine göre**

- Hava fotogrametrisi
- Yersel fotogrametri
- Uydu fotogrametrisi (uzaktan algılama)

olarak üçe ayrılır. Bunlardan birincisinde, yorumlama, ölçme ve değerlendirme işlemleri, havadan çekilen resimler kullanılarak yapılırken, ikincisinde yerden çekilen resimler kullanılmaktadır. Gerek havadan gerekse yerden çekilmiş resimler, hem topoğrafik hem de topoğrafik olmayan amaçlar için kullanılabilirler. Ancak topoğrafik amaçlar için genellikle hava fotogrametrisi kullanılmaktadır.

### **2.1.3. Değerlendirme yöntemine göre**

- Kullanılan alet sistemine göre değerlendirme yöntemleri
  - \* Analog yöntem
  - \* Analitik yöntem
- Tek resim değerlendirmesi
- Differansiyel yataylama (ortofoto)
  - \* Digital yöntem
- Elde edilen ürünün türüne göre
  - \* Çizgisel (vektörel) değerlendirme
  - \* Sayısal değerlendirme

- \* Fotoğrafik değerlendirme (tek resim veya ortofoto)
- \* Dijital değerlendirme
  - Vektörel
  - Sayısal

#### **2.1.4. Değerlendirilecek objenin büyüklüğüne göre**

- Mikro fotogrametri
- Makro fotogrametri

olarak iki bölümde toplanabilir. Bunlardan mikro fotogrametri küçük cisimlerin, makro fotogrametri de büyük cisimlerin, binaların ve arazi parçalarının fotogrametrik olarak incelenmesi demektir.

Bunlardan başka, çok yakından çekilen resimlerle yapılan değerlendirmeye yakın mesafe fotogrametrisi veya yakınsak fotogrametri adı verilir. Bu, resim çekim yeri bakımından yersel fotogrametri, objenin küçüklüğü nedeniyle de, mikro fotogrametri kapsamı içinde düşünülebilir.

Ayrıca mimarlık amaçları için fotogrametri uygulamasına Mimarlık Fotogrametrisi, endüstriyel amaçlar için kullanılan fotogrametriye de Endüstri Fotogrametrisi denilmektedir. Aslında bunun her ikisi de yersel fotogrametrinin özel uygulamaları olup ayrıca çift resim fotogrametrisi sınıfındadırlar.

## **2.2. Tarihçe**

Fotogrametrinin doğuşu, bazı yazarlar tarafından, Aristotle'la kadar götürülür. Aristotle optik izdüşümle görüntü elde etme yöntemini ilk defa ortaya koymuştur (M.Ö.350). Daha sonra birçok bilim adamı ve araştırmacı tarafından değişik yönleri ile geliştirilmiştir. Halen bu gelişme devam etmektedir. Bunlardan önemlileri, başlıklar halinde aşağıda verilmiştir [2]:

- Leonardo da Vinci 1442'de optik izdüşümün geometrisini ortaya koymuştur.
- 1726'da Capeller, Platus dağının haritasını bir takım basit ölçülerle elle çizmiştir.
- 1759'da Lambert serbest perspektif adlı bir kitap yazmış, bu kitapta önerilen yöntemlerle sahil haritaları yapılmıştır.
- 1839 yılında Louis Daguerre tarafından fotoğrafın bulunması fotogrametrinin esas başlangıcı sayılabilir. Metal levha ışığa duyarlı gümüş iyodidle kaplanarak ilk fotoğraf çekimi yapılmıştır.
- 1840 yılında Jean Arago ilk kez fotoğrafların topoğrafik harita alanında kullanılmasını önermiş ve ilk uygulamalarını da kendisi yapmıştır.
- 1849 yılında fotoğrafı ölçme ve çizim işlemlerinde ilk defa Fransız ordusunda mühendis olan Alme Laussedat kullandı.
- Bazı yazarlar tarafından fotogrametrinin kurucusu olarak kabul edilen A.Laussedat 1858 yılında bir uçurtmaya bağladığı resim çekme makinesi (kamera) ile ilk hava resimlerini çekerek birçok fotogrametrik haritalar yapmıştır. 1867 de foto teodolit'i yaparak bununla çektiği resimlerle Paris'in planını yaptı.
- Almanya'da 1858 yılında Dr.A.Meydanbauer, zor ve tehlikeli mimari ölçmeler için resimlerden yararlandı. Fotogrametri terimi ilk defa Dr. A. Meydanbauer tarafından 1893 yılında yayınlanan bir makalesinde kullanıldı.
- Gene Almanya'da, 1873 yılında Dachel Oasis ve S.Finsterwalder, Alp buzullarının ölçmelerinde fotogrametriyi kullandı, S. Finsterwalder tarafından 1889 yılında "Fotogrametrinin Temel Geometrisi" isimli ilk fotogrametri kitabı yayınlandı.
- 1892 yılında F.Stolze tarafından ölçü markası prensibinin ve Dr.C.Pulfrich tarafından ölçü markaları yardımıyla pratik ölçme yönteminin geliştirilmesinden sonra, stereo fotogrametri uygulanmaya başlandı. 1901 yılında Dr. C. Pulprich tarafından ilk stereo comparator yapıldı.
- Avusturyalı bir kaptan olan Scheimpflug, 1898 yılında "perspektif dönüşüm" teorisini ve "ışınal triyangülasyon" fikrini ortaya koydu. Ayrıca çift projektör fikrini geliştirerek, arazinin hava resimlerin den yararlanıp foto haritalarının yapılabileceğini açıkladı. Bir balona bağladığı sekiz objektifli bir resim çekme makinesi ile geniş bir arazinin resmini çekerek bunları birleştirip ilk defa fotoplan'ı elde etti.



- 1908 yılında Jena'daki Zeiss fabrikasında E.Von Orel tarafından "Otostereograph" isimli ilk fotogrametri değerlendirme aleti, 1909'da da "Stereoautograph" isimli değerlendirme aleti yapıldı. Bu aletlerle, otomatik olarak ilk defa üç boyutlu model yardımıyla yapılan çizgisel değerlendirme yöntemiyle haritalar elde edildi.
- XX. yüzyılda uçakların geliştirilmesi ile fotogrametri günümüzdeki anlamını kazanmaya başladı. 1909 yılında bir İtalyan olan Wilbur Wright tarafından uçaktan resimler çekildi. Birinci Dünya Savaşı boyunca uçaklardan çekilen büyük ölçekli hava resimleri askeri amaçlar için kullanıldı.
- 1915 yılında Gasser, Scheimpflug'un fikrinden yararlanarak ilk "Çift Projektör" ü yaptı. 1920 de Heyde şirketi tarafından Hegershoff'un düzenlediği ilk "Autocartograph" yapıldı. Bunu 1923 yılında Bauesfeldin düzenlediği Zeiss "Stereoplanigraph" izledi. Benzer aletler, Fransa'da Poivilliers, İtalya'da Nistri, İsviçre'de Wild firmaları tarafından yapıldı.
- İlk hassas fotogrametrik nirengi kuramı 1919 yılında İtalya'da Umberto Nistri tarafından ortaya konuldu. Nistri'nin "Multiplo" isimli fotogrametrik nirengi aleti 1932 de yapıldı.
- Fotogrametriye büyük katkılar getiren önemli bilim adamlarından birisi de Otto Von Gruber'dir. 1924 yılında karşılıklı yöneltmenin kurallarını ortaya koyan O.V.Gruber'in 1935 yılında, yayınlanan ve fotogrametrik nirengi yöntemini ayrıntılı olarak inceleyen kitabı, fotogrametrinin temel taşlarından biri sayılmaktadır. Resim ölçeği ile harita ölçeği arasındaki bağıntıyı belirten formülü, fotogrametrik yöntemle elde edilen eş yükseklik eğrilerinin konum ve yükseklik hassasiyetini inceleyen bağıntıları günümüzde de kullanılmaktadır.
- 1927 yılında bir Fransız mühendisi olan R.Feber "Ortofoto" fikrini ilk defa ortaya attı ve yapımını gerçekleştirdi. Günümüzde kullanılan ortofoto tekniği, temelde R.Feber'in prensibine dayanmaktadır.
- İkinci Dünya Savaşında çekilen hava resimleri, askeri alanda olduğu kadar coğrafi ve ekonomik planlama konularında da büyük ölçüde kullanılmıştır .
- 1952 ila 1966 yılları arasında çeşitli firmalarca incelik derecesi yüksek ve değişik prensiplere dayalı, izdüşüm tipli çeşitli aletler yapılmıştır. Bunlardan pek çoğu günümüzde halen kullanılmaktadır.

- Artan harita ihtiyacının kısa sürelerde tamamlanması isteği, fotogrametrinin harita yapımında yaygın olarak kullanılmasını ve dolayısıyla hızla gelişmesini sağlamıştır. Bu gelişme, uygulama alanlarını da büyük ölçüde arttırmıştır. Haritacılığın dışında, tarımda, ormancılıkta, çeşitli inşaat işlerinde, mimarlıkta, coğrafya, jeoloji ve jeomorfolojide, şehircilikte, arkeolojik çalışmalarda, endüstride, tıpta, çevre mühendisliğinde, meteorolojide, madencilikte, kara ve demiryolu yapım ve bakımında, kriminolojide ve uzay araştırmalarında, özet olarak görüntülenebilen her şeyin incelenmesi, ölçülmesi ve değerlendirilmesi konularında, fotogrametri büyük başarı ile kullanılmaktadır. Sağladığı hız, ekonomi ve kolaylık nedeniyle uygulama alanları her geçen gün artmaktadır.
- Bilgisayarların kontrol ettiği değerlendirme aletlerinde değerlendirme işlemi çizgisel, fotogrametrik veya sayısal biçimde, elle (manuel) veya otomatik olarak yapılabilmektedir.

### 2.3. Ülkemizde Fotogrametri

Ülkemizde fotogrametrinin tarihsel gelişimi aşağıdaki kronolojik sıraya göre incelenmiştir [2].

- 1925'te Harita Umum Müdürlüğü kuruldu. Bizde haritacılığın babası Mehmet Şevki Paşa'dır. Fotogrametri Şubesi de Ömer Kadri Koray tarafından geliştirilmiştir.
- Ülkemizde fotogrametri ilk defa 1925 yılında Harita Umum Müdürlüğü günümüzdeki adıyla Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından, yersel resimler yardımıyla 1/25000 ölçekli haritaların yapımında uygulanmaya başlanmıştır. Yersel resimlerden topoğrafik değerlendirmenin zorluğu nedeniyle, uygulama sınırlı düzeyde kalmıştır.
- 6 Ekim 1926'da Kayseri'de ilk uçak fabrikası kurulmuştur.
- 1927 yılında Kâzım Paşa tarafından getirilen. Dr. Löşer tarafından stereootograf yardımıyla Ankara'nın 1/2000 ölçekli haritaları yapılmıştır.
- 1927'de F-23 Jungers uçağı ilk hava fotoğrafını Ankara üzerinde çekti. İlk uçuşunda arızalanan uçak tamirata alındı. İlk geldiğinde 15000 feet (5 km.) olan uçuş yüksekliği, tamirden sonra 22000 feet (7 km.) ye çıkarıldı.

- 1928’ yılında Ülkemiz ilk kez kısa adı (ISP) olan Uluslararası Fotogrametri Kongresine katıldı. 1976 yılında uzaktan algılama alanındaki büyük gelişmeler sonucu bu kuruluşun adına ismine “RS” harfleri eklenerek “ISPRS” olmuştur. Bu birliğin her ülkede temsilcileri vardır ve ülkemizdeki temsilci kurum Harita Genel Komutanlığı’dır (TUFUAB).
- 1937 yılında yine 1/25000’lik haritaların yapımında hava fotogrametrisi uygulanmasına başlanmıştır. Hava fotogrametrisinin sağladığı büyük ekonomi ve kolaylık nedeniyle uygulama artarak devam etmiştir. 5557 paftadan oluşan 1/25000 ölçekli topoğrafik memleket haritaları, (HGK) tarafından, hava fotogrametrisi ile yapılarak 1968 yılında tamamlanmıştır.
- 1938’den itibaren hava fotogrametrisi uygulamasına başlanılmıştır.
- 1945 yılında bu Komutanlıkta, daha sonra da Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünde (TKGM) hava fotogrametrisi ile ülkenin 1/5000 ölçekli Standart Topoğrafik Kadastro (STK) haritaları yapılmaya başlanmıştır. Halen bu kurumlarda, yılda yaklaşık 15000 km<sup>2</sup> lik bir alanın 1/5000 ölçekli (ST) haritaları yapılmaktadır. 203 sayılı yasa, hava resimleri çekimi ve bunlardan yararlanarak harita yapımı görev ve yetkisini, ülkemizde sadece bu iki kuruluşa vermiştir. Ancak 1987 yılında ilgili mevzuatta yapılan değişikliklerle, fotogrametrik harita yapımında özel sektörden de yararlanma olanağı sağlanmıştır.
- 1969 yılında Fotogrametrik nirengi geliştirilmiş,
- 1983 yılında da Analitik yöntemle ortofoto harita üretimine geçilmiştir.

Günümüzde;

- (HGK)'nda (ST) haritalardan başka 1/1000, 1/2000 ölçekli yol geçki (güzergah) haritaları, 1/5000 ölçekli etüt haritaları ve 1/25000 ölçekli haritaların güncelleştirme işlemleri ve benzerleri fotogrametrik yöntemle yapılmaktadır.
- (TKGM)'nde (ST) haritaların dışında kadastro amacıyla bazı bölgelerin 1/2500 ve 1/1000 ölçekli haritaları yapılmaktadır.
- T.C. Karayolları Genel Müdürlüğünde (TCK), yol güzergâhındaki yarma ve dolguların hacim hesaplarına esas olacak enine kesitler fotogrametri yöntemi ile çıkarılmaktadır.

- Özel sektörde de etkili fotogrametri uygulaması yapan şirketler oluşmuştur. Bunlar MNG Bilgisayar A.Ş., STFA HARİTA A.Ş., EMİ HARİTA A.Ş. v.b. gibi şirketlerdir. Bu şirketler bugüne kadar İstanbul, Bursa ve Ankara'nın sayısal halihazır haritalarını fotogrametrik yöntemle üretmişlerdir. İzmir ve İstanbul'un 1/5000 ölçekli ortofotosu da digital yöntemle gene bu özel firmalar tarafından yapılmıştır.
- Orman Genel Müdürlüğünde, orman amenajman haritalarının yapılmasında, hava resimlerinden yararlanılmaktadır. Bu teşkilatta bugün 10 kadar Leica sayısal değerlendirme aleti ve bir tarayıcı bulunmaktadır.
- DSİ Genel Müdürlüğünde ve MTA Enstitüsü Genel Direktörlüğünde, çok objektifli (Multispectral) makinelerle çekilmiş renkli resimlerle çevre kirliliği ve maden arama çalışmaları yapılmaktadır.
- TÜBİTAK Marmara Araştırma Enstitüsünde ve Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesinde, uydulardan multi-spectral kameralarla çekilen yalancı renkli resimler, bilgisayar destekli özel aletle değerlendirilerek, ekili alanların ürün türüne göre miktarları belirlenmektedir.
- EİEİ de, baraj su toplama sahalarının topoğrafik ve jeolojik incelemeleri, yerden çekilmiş resimler yardımıyla yapılan değerlendirmelerle gerçekleştirilmektedir.
- YTÜ, KTÜ ve İTÜ'nde ve diğer bazı üniversitelerimizde, tarihi eserlerin, yerden çekilen resimleri yardımıyla restorasyon planları yapılmaktadır.

#### **2.4. Fotogrametrinin Diğer Uygulama Alanları**

Maden ve petrol arama işlerinde; madenciler hava fotoğraflarını inceleyip o bölgenin hangi maden yataklarını içerebileceğini yorumlarlar.

Kara ve demiryolu etüt, proje uygulamalarında; kara ve demiryolu yapımından önce güzergâh haritası çıkarılır. Bu haritalar için fotoğraf çekilmesi ve kıymetlendirme yapılması gereklidir.

Ormancılıkta; havadan çekilen fotoğraflarla o bölgedeki ağaçların cinsi, yüksekliği ve adedi bulunabilmektedir. Fotogrametri ayrıca. orman sınırlarının tespitinde oldukça sık kullanılan bir yöntemdir.

Hayvan yetiştirme ve tarımsal faaliyetlerde; Yersel Fotogrametrinin alanına girer. Yakından çekilen fotoğraflar ile yapılan ölçümler de hayvanların gelişmesi incelenir. Tarımda ise havadan çekilen fotoğraflarla toprağın korunması, zararlı otların, kaçak ekim alanlarının (haşhaş vb..) alanlarının belirlenmesi çalışmaları yapılır.

Mimarlıkta da yersel fotogrametrinin konusuna giren uygulamalar vardır. Özellikle çekilen resimler yardımı ile tarihsel yapıların yapılış tarzı incelenerek bunların koruma ve restorasyonunda kullanılır.

Askeri amaçlarda; askeri keşif işlerinde ve istihbaratta havadan çekilen fotoğraflardan faydalanılır.

Meteoroloji uygulamalarında bulutların hareketleri çekilen fotoğraflardan incelenir. Sıcaklık, yağış ve nem durumları hakkında daha isabetli tahminler yapılabilir.

Ani gelişen yer hareketleri ve dalga hareketleri gibi olayların incelenmesinde fotogrametriden yararlanılır.

Gemi ve otomobil yapımında yakın resim fotogrametrisinden faydalanılır.

Tıpta kullanılan röntgen filmlerinin çekimi ve yorumlaması bunun en tipik örneğidir.

Değişik amaçlarda; "Kriminoloji" suçluların tespitinde parmak izi alma çalışmalarında kullanılmaktadır.

Trafik ve çevre sorunlarında, fotogrametriden yararlanılmaktadır.

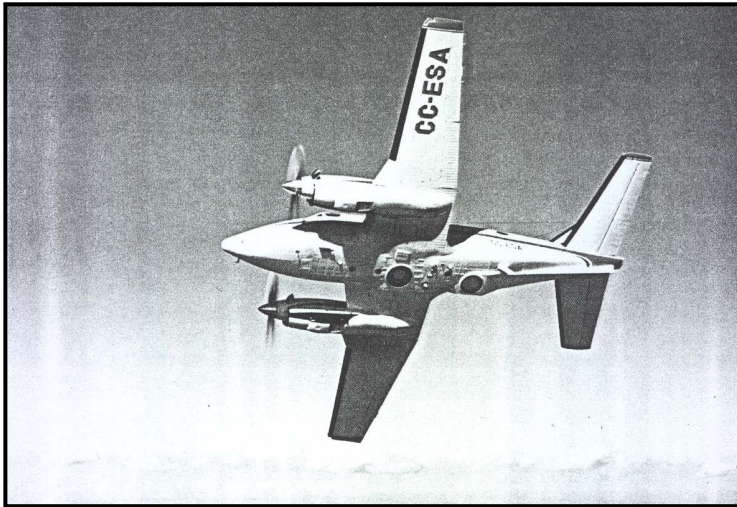
Buzul hareketlerinin tespitinde, yoğun bir şekilde fotogrametriden yararlanılmaktadır [1].

### 3. HAVA FOTOĞRAFÇILIĞINDA KULLANILAN UÇAK VE KAMERALAR

#### 3.1. Uçaklar

Hava fotogrametrisinde resimler genellikle uçaklarla çekilir (Resim 3.1). Helikopterlerle yapılan çekimlerde ise titreşimi kameraya ulaştırmayacak özel önlemler alınmaktadır. Fotoğraf alım uçuşları için en uygun uçaklar turbo motorlu, pervaneli olan turboprop uçaklardır. Bu uçaklar düşük süratlerde havada tutunabildiği ve gerektiğinde yüksek süratlere çıkabildiği için fotoğraf alım görevleri için ideal uçaklardır. Fotoğraf alım görevlerinde alçak uçuş seviyelerinde düşük süratlerde, yüksek uçuş seviyelerindeki uçuşlarda ise yüksek süratlerde uçmak optimum fayda sağlar [1]. Resim çekiminde kullanılacak uçaklarda şu özelliklerin bulunması gerekir :

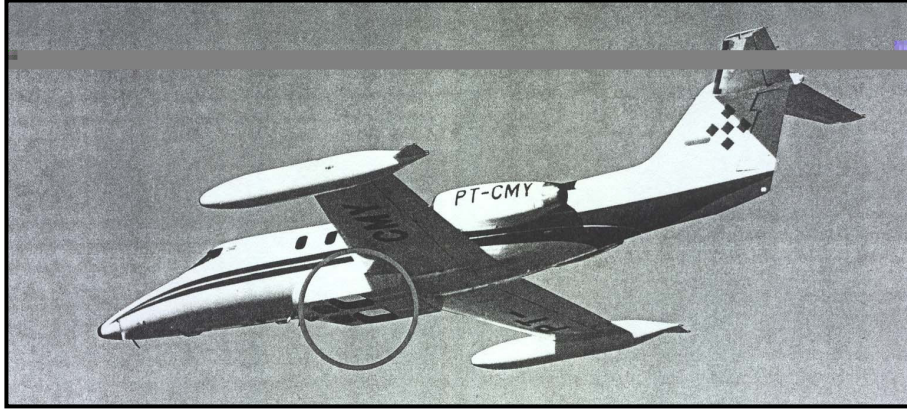
- Servis tavan yüksekliği 10000 m olmalı, yani 10000 m ye kadar yüksekten uçabilmeli,
- Havada kalma süresi ( aksiyon çapı) uzun olmalı (5-8 saat) ,
- Titreşimi az olmalı ve motorları uyumlu çalışmalı,



Resim 3.1 Hava fotoğrafçılığında kullanılan pervaneli uçak.

- Saatte ortalama hızı 150 - 400 Km/h olmalı,
- Personel arasında telefon bağlantısı bulunmalı ,
- Otomatik pilot sistemi bulunmalıdır.

Dünyada bu tür uçaklar değişik firmalar tarafından yapılmakta ve özellikleri devamlı geliştirilmektedir. Günümüzde kabin basınçlı jet uçakları da havadan fotoğraf alımlarında kullanılmaktadır. Özellikle revizyon amaçlı yapılan yüksek uçuş seviyelerindeki havadan fotoğraf alım uçuşlarında süratli olmaları sebebiyle jet motorlu uçaklar tercih sebebi olmaktadır ( Resim 3.2 ).



Resim 3.2 Hava fotoğrafçılığında kullanılan jet motorlu uçak.

Uçaklarda, kamera objektifinin uygulanacağı gövdede açılan optik pencerenin çapı ve kalınlığı da önemlidir. Örneğin Resim 3.1 deki Cessna Citation uçağında bu pencerenin çapı 510 mm - 585 mm ve kalınlığı 38 mm dir. Resim 3.2 deki uçakta ise bu pencere, alıcının istemine göre dikdörtgen veya daire şeklinde olabilmekte, çapı 540 mm-550 mm, yüksekliği ise 35 mm –60 mm arasında düzenlenebilmektedir.

### 3.2. Hava Kameraları

Hava kameraları her şeyden önce metrik kameralardır. Başlıca özellikleri iç yöneltme elemanlarının bilinmesidir. Hava kamerası objektifleri, çok sayıda mercekten oluşan bir sistemdir. İzdüşüm merkezinden geçen ışın sapmadan fotoğraf düzlemine ulaşır.

Hava fotogrametrisi için resim çekiminde kullanılan kameralar (hava kameraları), görüntü düzlemi sabit olan yani mesafe ayarı yapılamayan kameralardır. Objektifleri hassas, ayırma derecesi yüksek ve distorsiyonları küçüktür. Özel yapıdaki bir uçağa, bir helikoptere ve bazen bir uyduya monte edilerek kullanılırlar.

### 3.2.1. Hava kameralarının çeşitleri

Çekim şekline göre hava kameraları;

- Kartografik Kameralar
  - Panoramik Kameralar
  - Doğrudan tarayanlar
  - Döner ayna ile tarayanlar
  - Optik çubuk türü olanlar
- olmak üzere sınıflandırılabilir.

Fotoğrafik harita yapımında kartografik kameralar kullanılır. Özel amaçlar dışında resimler film üzerine çekilir. Filmler 60-120 m lik rulolar halinde 19 cm veya genellikle 24 cm enindedirler. Bir rulodaki filmin uzunluğu, inceliği ile de ilgilidir.

Kartografik kameralar, tek tek ya da seri şekilde resim çekebilirler. Bunlardan seri çekim yapanlar (seri kameralar), ayarlanabilen belirli zaman aralıklarında (t) (cycling time), art arda otomatik olarak resim çekerler. Hava fotogrametrisinde genellikle seri kameralar kullanılır. Günümüzdeki kameraların hem tek tek, hem de seri çekme sistemleri vardır.

Türkiyede yapılan havadan fotoğraf alımlarında genellikle kartografik kameralar kullanılır (Resim 3.3.). Bu kameralarda kullanılan film ebatları 23cmx23cm' dir.

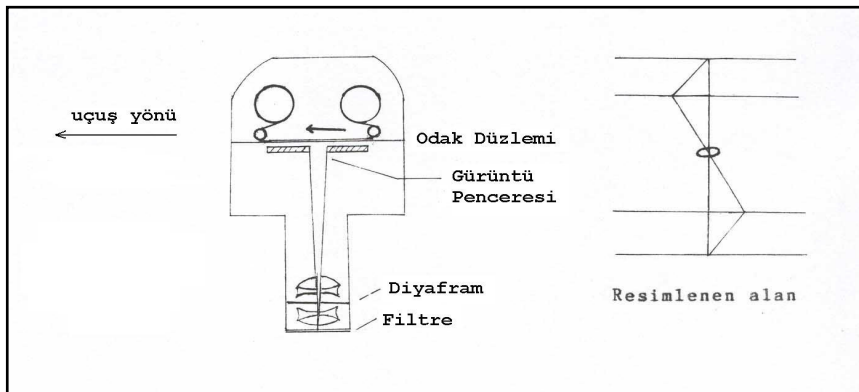




Resim 3.3. Zeiss RMK TOP hava kamerası.

Özel işlerde ve özellikle bilimsel inceleme ve araştırma amacıyla kullanılacak resimler cam üzerine çekilirler. Ancak genleşmesi az polyester bazlı filmlerin geliştirilmesi, camların ve cam kameralarının kullanılması daha da azaltmıştır.

Panoramik kameralar, sürekli açık tutulan görüntü penceresi yardımıyla kolonun kesiksiz resmini çeken kameralardır [3]. Çekim esnasında film görüntü penceresinin önünden,  $f$ ,  $V_A$  ve  $h$  nin fonksiyonu olan bir hızda seçer ve sürekli pozlanır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Panoramik kamera.

Çekim esnasında film uçuş yönünde  $V_F$  hızı ile hareket eder.

$$V_F = \frac{V}{h} \cdot f \quad \text{dir.}$$

Görüş açısına göre kameralar;

- Dar açılı (DA),
- Normal açılı (NA),
- Yarı geniş açılı (ara açılı) (YGA),
- Geniş açılı (GA) ve
- Çok geniş açılı (ÇGA)

olmak üzere beş türdür. Bunların her birinin odak uzaklığı resim boyutları ve görüş açıları (Çizelge 3.1)2’de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Görüş açısına göre kameralar.

| Özellikleri<br>Kamera Çeşidi | Görüş Açısı<br>( $\gamma^0$ ) | Kamera Sabiti<br>(c) | Resim Boyutları<br>(cm) |
|------------------------------|-------------------------------|----------------------|-------------------------|
| Dar açılı kameralar          | $\gamma_{<50}$                | 610                  | 23x23                   |
| Normal açılı kameralar       | 56-60                         | 305                  | 23x23                   |
| Yarı geniş açılı kameralar   | 70-75                         | 210                  | 23x23                   |
| Geniş açılı kameralar        | 85-95                         | 152                  | 23x23                   |
| Çok geniş açılı kameralar    | 110-130                       | 80-90                | 23x23                   |

Bunlardan dar açılı kameralar, odak uzaklığı 305 mm den büyük (Zeiss Obsrkochen RMK 60/23 de  $c = 600$  mm) olup, fazla uçuş yüksekliği kullanılarak da, büyük ölçekli resim çekimi yapılabilen kameralardır.

Harita yapım amacı için ülkemizde genellikle  $c = 152$  mm ve 300 mm geniş açılı kameralar kullanılır.

Odak uzaklığına göre kameralar;

- Kısa odak uzaklıklar ( $c \leq 150 \text{ mm}$ ).
  - Normal odak uzaklıklar ( $150 \text{ mm} < c \leq 300 \text{ mm}$ )
  - Uzun odak uzaklıklar ( $c > 300 \text{ mm}$ )
- olmak üzere gruplandırılabilir [4].

Kullanım yerine göre kameralar;

- Haritacılıkta kullanılanlar
  - Sadece yorumlama ve tanıma amaçları için kullanılanlar
  - Özel amaçlı kullanılanlar
- olarak ayrılabilir.

Kullanılan malzemeye göre kameralar;

- Film kameraları
  - Cam kameraları
  - Elektronik Medya kullanan Digital Kameralar
- olarak gruplandırılırlar.

Kullanım şekline göre kameralar;

- Çok bantlı kameralar
  - Çok objektifliler
  - Tek objektifliler
  - Kolon kameraları
  - Özel kameralar
- türlerine ayrılabilir.

Objektif sayısına göre

- Tek objektifliler

#### - Çok objektifliler

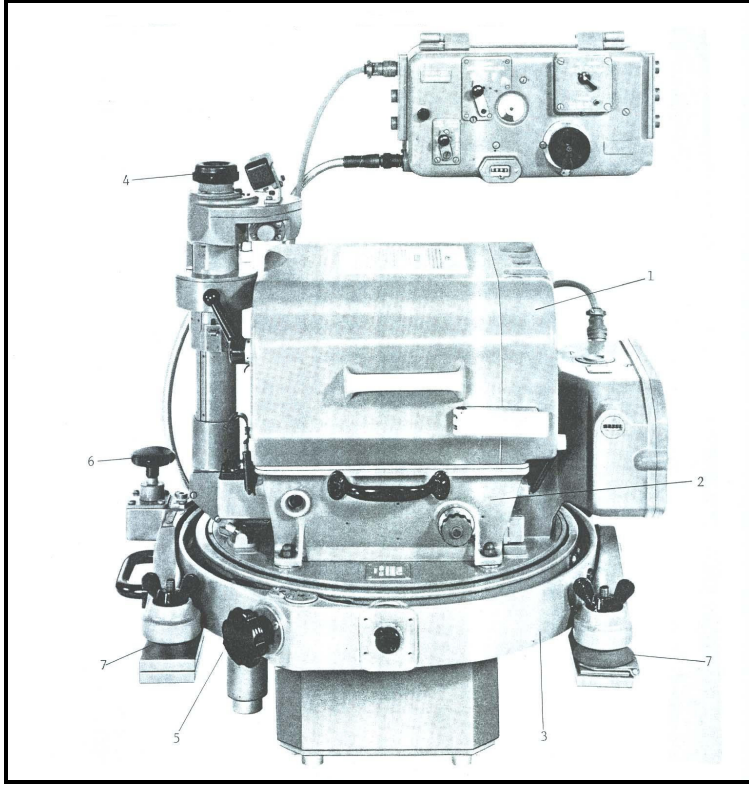
olmak üzere iki türdür. Bunlardan çok bantlı (multi band) kameralarla aynı yerin, değişik dalga boylu ışın aralıkları (bantlar) kullanılarak 4 ya da 5 resmi aynı zamanda çekilir.

Çok bantlı kameraların eski tiplerinde her band için bir objektif ve önünde o banda ait süzgeç bulunur. Yeni türlerinde ise tek mercek bulunmaktadır. Merceğin arkasına bir ışın ayırıcı prizma (beam-splitler prizin) takımı konulmuştur. Gelen ışın objektiften geçtikten sonra bu prizma takımı yardımıyla mavi, yeşil, kırmızı ve kızıl ötesine ayrılır. Bunlardan her biri dört magazindeki özel emülsiyonlu filmlere kaydedilir.

Aşağıda, hava kamerası adı altında sadece kartografik kameralar sınırlı ayrıntılarıyla incelenmiştir.

#### **3.2.2. Hava kameralarının kısımları**

Hava kameralarının kısımları Resim 3.4 , Şekil 3.2 ve Şekil 3.3. da gösterilmiş olup, bunların her biri aşağıda kısaca anlatılmıştır.



Resim 3.4. Hava kamerası bölümleri.  
 1. Magazin 2.Kamera Konisi 3. Kamera Kaidesi  
 4. Vizör 5,6.Ayar Vidaları 7. Ayaklar

### Magazin

Kameranın magazin bölümünde sırasıyla şu işler yapılır; film bir poz boyu kadar sarılır, hava ile emilerek düzleştirilir, görüntü yürümesini yani sürüklenmeyi önlemek üzere film veya magazin hareket ettirilir, film hava verilerek gevşetilir.

### Kamera Konisi

Şekil 3.3 den de görüldüğü gibi kamera konisinde bulunan kısımlar şunlardır:

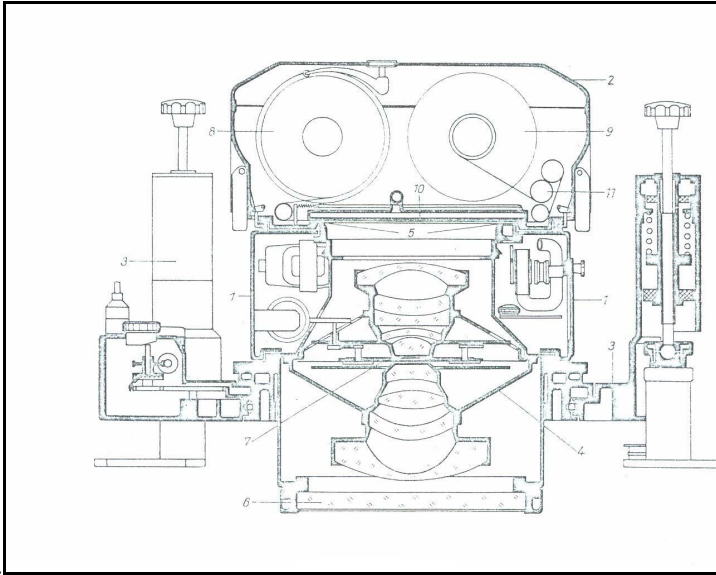
*Objektif* (Resim 3.5.): Işığın pozlanacak filme ulaşmak için geçtiği kısımdır.

*Odak düzlemi* (Şekil 3.4.): Üzerinde resim kenar bilgileri bulunan bir düzlemdir [5]. Bu kenar bilgileri, resim çekilirken otomatik olarak her resim üzerine görüntülenirler.

*Diyafram*: Pozlanma için objektiften geçen ışığı ayarlayan açıklıktır.

*Optüratör*: Diyaframı ayarlanmış poz süresi kadar açık tuttuktan sonra kapayan sistemdir.

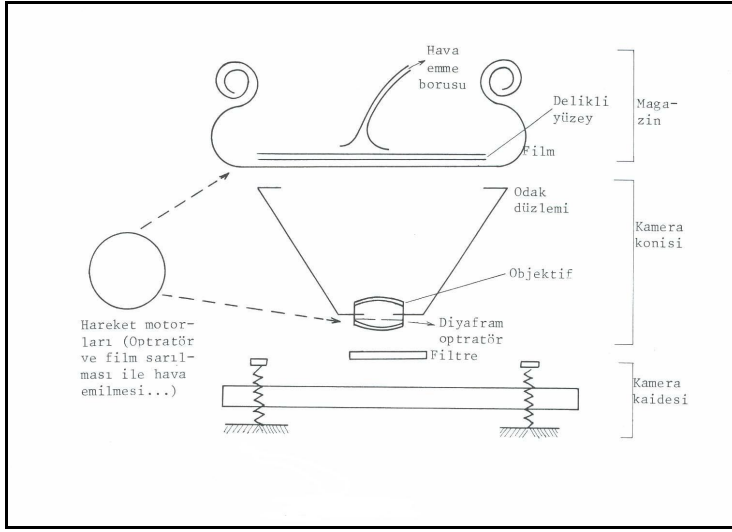
*Filtre*: Diyaframa gelen zararlı ışığı süzmek için objektif önüne konulan camlardır.



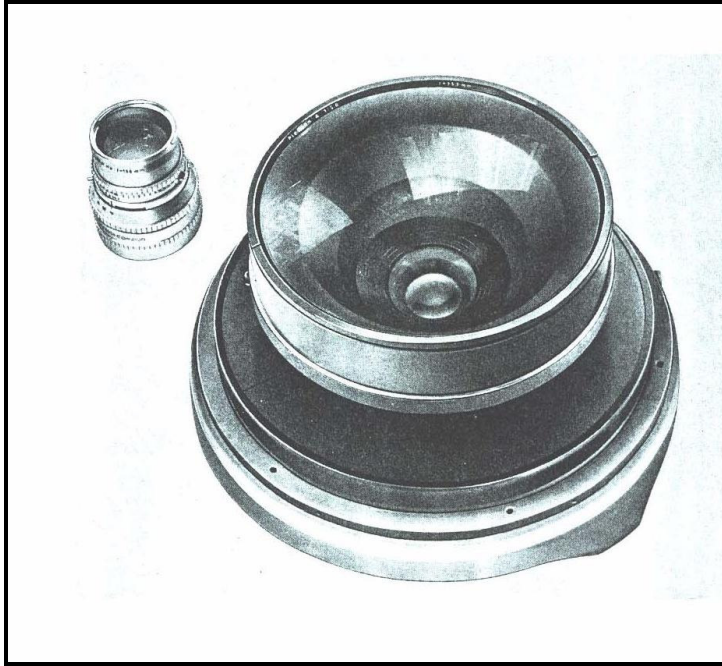
Şekil 3.2. Hava kamerasının kısımları.

### Kamera Kaidesi

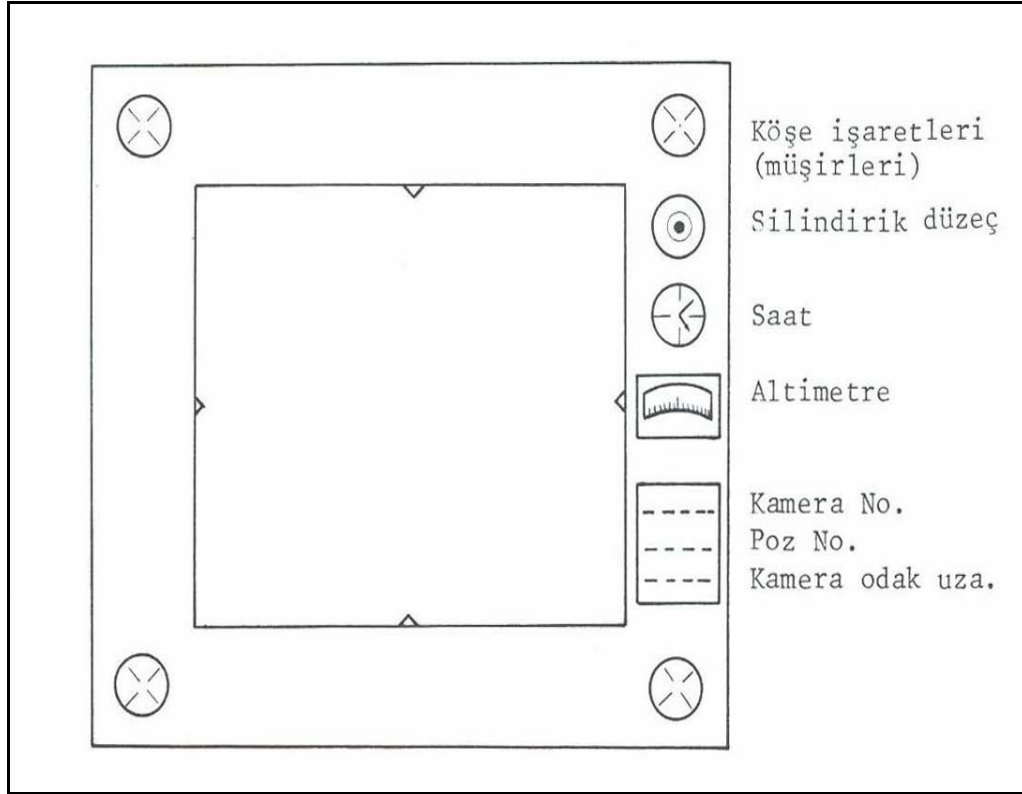
Kameranın uçağa oturduğu kaidedir. Bu kaide uçağın titreşimini giderici süspansiyonlu ayaklar üzerine monte edilmiştir [2].



Şekil 3.3. Kamera kesiti.



Resim 3.5. Hava kamerası objektifi.



Şekil 3.4. Hava kamerası odak düzlemi.

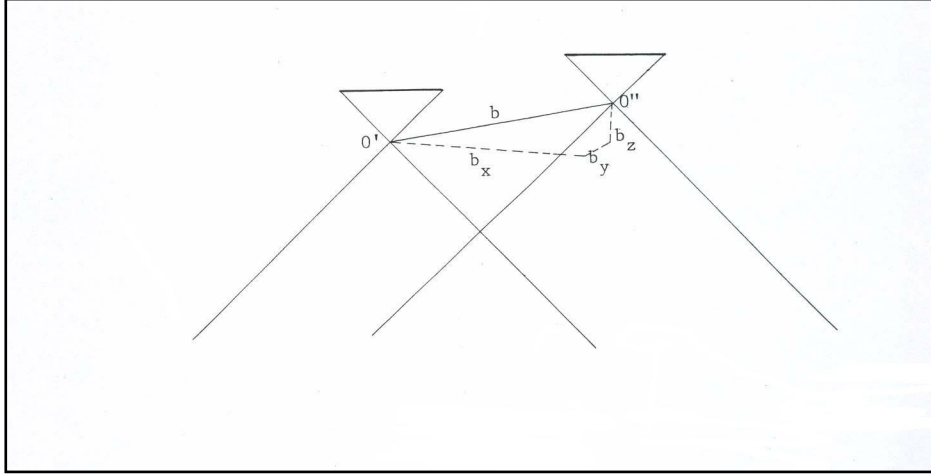
### 3.3 Yardımcı Uçuş Araçları

Resimlerin değerlendirilmesinde, veya fotogrametrik nirengi işleminde gerekli olan bazı değerlerin resim çekim esnasında ölçülmesini, uçağın kolon hattı üzerinde hassas ve doğru olarak uymasını, çekim anında kameranın eğikliğini vb. değerlerin belirlenmesini sağlamak amacıyla düzenlenmiş cihazlardır. Bunlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.3.1. Statoskop

Aslında basınç ölçen bir alet olan statoskop yardımıyla, art arda gelen iki çekim noktası arasındaki yükseklik farkı 0,6 m hassasiyetle ölçülebilmektedir. Bu yükseklik farkı baz bileşenlerinden “ $b_z$ ” yi tanımlar (Şekil 3.5).





Şekil 3.5. Baz bileşenleri.

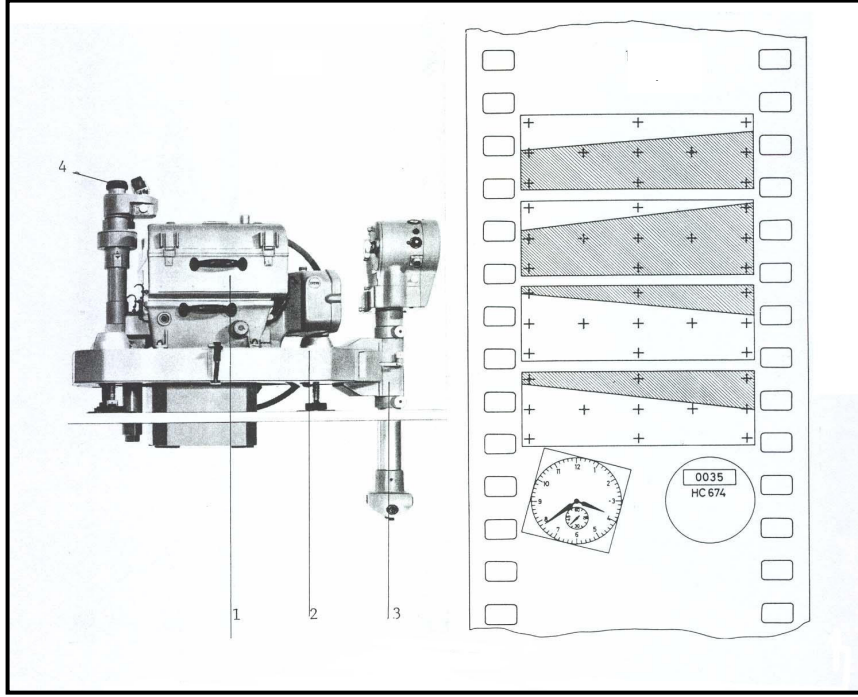
$$b_x = X' - X'' \quad b_y = Y' - Y'' \quad b_z = Z' - Z''$$

### 3.3.2. Ufuk kameraları

Esas kameraya bitişik küçük boyutlu (  $35 \times 35 \text{ mm}^2$  ) resim çeker. Asıl kamera yerin resmini çekerken, ufuk kamerası bununla uyumlu olarak dört yönde ufkun resmini çeker. Bu resimlerde görüntülenen ufuk çizgileri yardımıyla  $\omega$  ve  $\phi$  eğiklik açıları bulunur (Şekil 3.6.). Bu kameralar günümüzde pek kullanılmamaktadır ve ülkemizde yoktur.

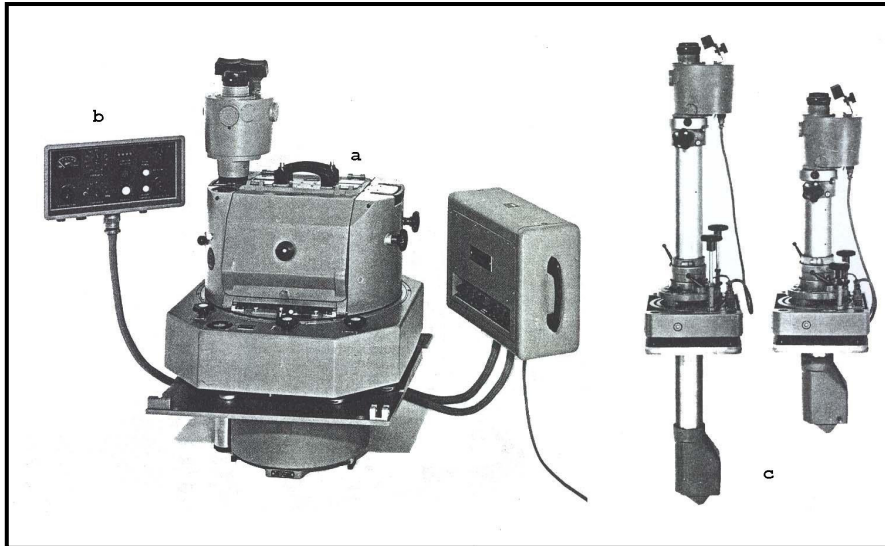
### 3.3.3. Navigasyon teleskopu

Resim çeken rasıtın yeri gözlediği teleskoptur (Resim 3.6.). Çekilen resmin kapladığı alan, uçulan kolon eksenini objektiften görülür. Uçuş doğrultusu her bir resim şeridinin başlangıç ve sonu pilota navigatör tarafından bildirilir. Her kamera yapan firmanın o kamera ile kullanılacak teleskopları vardır [6].



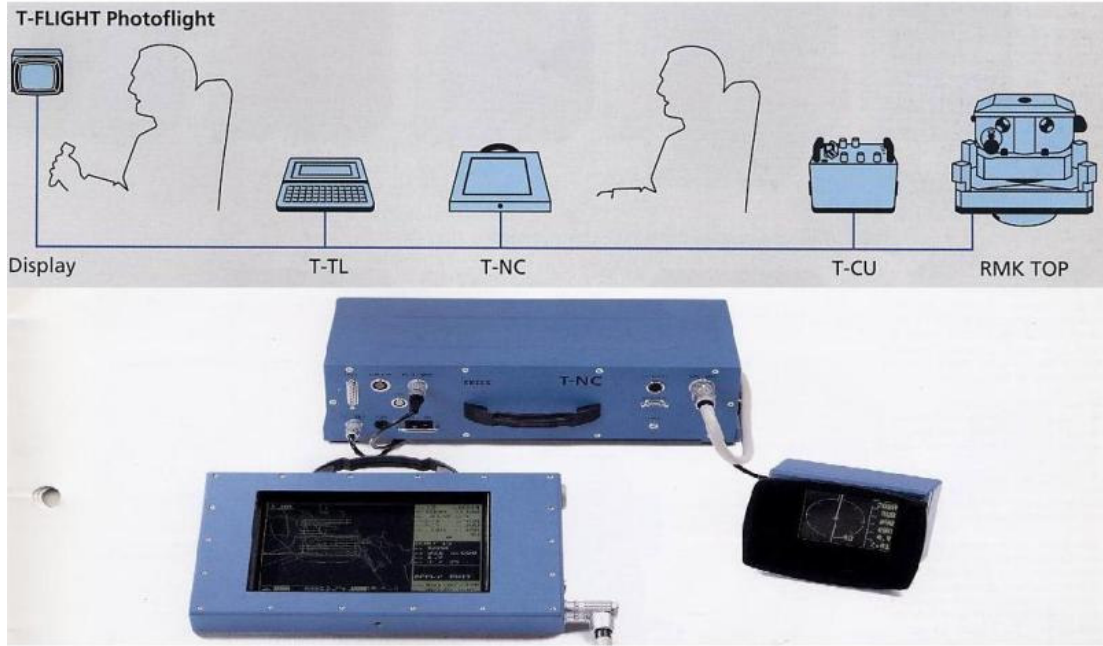
Şekil 3.6. Wild RC 8 hava kamerası ve ufuk kamerası filmi.

1. Wild RC 8 hava kamerası 2. Üniversal kamera gövdesi  
3. Ufuk kamerası 4. Vizör 5. Ufuk kamerasında çekilen film



Resim 3.6. Navigasyon teleskobu.

- a) Wild RC 10 kamerası b) Kontrol ünitesi c) NF 1 navigasyon teleskopu



Resim 3.7. T-Flight.

### 3.3.4. Kolon eksenini izlemeye yarayan elektronik sistemler

Resim 3.7.'de RMK TOP kamerasının T-Flight GPS destekli foto uçuş yönetim sistemi görülmektedir. Bu sistem sayesinde pilot navigatör tarafından seçilen kolonu display üzerinde görür ve uçağı hassas bir şekilde kolon üzerinde uçurur. Sistem uçağın uçuş yönetim sisteminden bağımsız olarak çalışır ve pilot kolon üzerinden yanlışlıkla limit harici saptığı zaman fotoğraf çekimi otomatik olarak kesilir..

### 3.3.5. A.P.R.

Resim çekilen her noktada uçağın yerden yüksekliğini ölçen sistemdir. Özellikle fotogrametrik nirengi yapımında önemli bir bilgi olan bu değerler APR sistemi ile belirlenmektedir.

### 3.3.6. Uçuş yönlendiricisi

Uçuş yönlendiricisi, uçağın istenen konumda ve rotada uçurulması için pilota veya otopilota kumanda rehberliği yapan bir sistemdir. Önceden programlanan ve

otomatik olarak hesaplanan uçuş rotasına gösterge üzerindeki “bar”lar vasıtası ile uyulmaktadır. Pilot uçak sembolünü bu “bar”ların içinde tuttuğu sürece istenen uçak konum ve rotası muhafaza edilecektir. Otopilot devrede olduğunda ise aynı işlevi pilot yerine otopilot yapmaktadır. Bir uçuş yönlendirici sisteminin ana parçalarını FDI (Uçuş Yönlendirici Göstergesi), HSI (Yatay Durum Göstergesi), mod paneli ve uçuş yönlendiricisi bilgisayarı oluşturmaktadır. Uçuş yönlendiricisi göstergesi içindeki kumanda barları, mod panelinden seçilen moda göre yukarı/aşağı sapmakta veya sağa/sola yatmaktadır. Örneğin mod panelinden ILS için APPR (yaklaşma) modu seçildiyse kumanda barları LOC hattında kalmak için sağa/sola yatış, GS hattını muhafaza etmek için ise yukarı/aşağı sapma yapacaktır. Pilotun veya otopilotun yapması gereken hareket sadece uçak sembolünü kumanda barları içinde tutmaktır [7].

Uçuş yönlendiricisi bilgisayarı, VOR/LOC/GP alıcısı, konum cayrosu, pusula sistemi ve barometrik algılayıcılar gibi cihazlardan bilgi alarak kumanda işlemini gerçekleştirir. Yaptığı tipik kumanda işlemleri arasında sabit istikameti, irtifayı, VOR kursunu, ILS kursunu tutmak, sabit tırmanış ve süzülüş hızını veya sabit sürati tutmak gibi işlevler sayılabilir.

### **3.3.7. Otomatik güç kontrolü**

FADEC (Tam Yetkili Sayısal Motor Kontrolü) adlı sistem, uçak motor performansını her yönüyle kontrol etmek için geliştirilmiş bir otomatik güç kontrol devresidir. Otomatik güç kolu (Autothrottle) veya klasik güç kolundan, FADEC sistemine gönderilen sinyallere göre sistemin bilgisayarı tarafından gerekli hesaplamalar yapılarak en uygun gücün elde edilebilmesi için gerekli yakıt akışı değerleri elde edilir. Sisteme güç kolları dışında diğer motor algılayıcılarından da bilgiler devamlı olarak iletilmektedir. Bu sistem sayesinde elde edilecek avantajlar şu şekilde sıralanabilir: Daha iyi yakıt etkinliği, motor limit aşımalarında daha iyi koruma, sistem yedekli olduğundan bir kanal arızalansa bile işlemin devam etmesi, yarı otomatik motor çalıştırma imkanı, kablolu uçuş ile daha iyi entegrasyon, uzun vadeli motor sıhhat takibi.

### 3.3.8. EFIS (Elektronik uçuş alet sistemi)

Klasik elektromekanik uçuş aletlerinin yerini CRT (Katod Işın Tüpü) veya LCD (Sıvı Kristal Ekran) göstergelerin alması ile EFIS geliştirilmiştir. CRT’lerde uçuş bilgileri klasik aletlerde olduğu gibi fakat elektronik ortamda sunulur. Ekranlarda istenilen bilgilerin değişik formatlarda görülmesi mümkündür. EFIS’ler genel olarak EHSI (Elektronik Yatay Durum Göstergesi), EADI (Elektronik Konum Göstergesi) ve MFD (Çok Fonksiyonlu Ekran) ekranlarından oluşmaktadır. Sayısal teknolojinin verdiği esneklik sayesinde ekranlar arasında aktarma yapılabildiği gibi bir ekran üzerinde birden fazla cihazın görüntüsü yerleştirilebilmektedir. MFD üzerinde meteoroloji radar görüntüsü, uçuş rotası gibi bilgilerin yanında kontrol listesi ve acil durum usulleri gibi listeleme bilgileri de yer almaktadır. PFD üzerinde ise uçuş için gerekli olan hava hızı, irtifa, baş, konum, varyo ve sapma gibi bilgilerin hepsi görülebilir. Bir çok bilginin tek bir cihazda toplanması ile hem pilotun durumsal farkındalığı arttırılmış hem de gereksiz yere kokpitte değişik aletlere bakması önlenerek iş yükü azaltılmıştır.

### 3.3.9. EICAS (Motor göstergeleri ve mürettebat ikaz sistemi)

EICAS sistemi pilota uçak sistemleri ile ilgili gerekli bilgi ve ikazların zamanında verilebilmesi için geliştirilmiştir. EICAS ekranında uçağın yakıt, elektrik, motor gibi sistemleri hakkında gerekli bilgiler görülebilmektedir. Geleneksel sistem göstergeleri sayısal olarak yer aldığı gibi motor parametreler ayrıca yazılı olarak da sunulmaktadır. Karmaşık bilgiler pilota grafik formatında verildiğinden ve tehlikeli durumlar ikaz edildiğinden bu sistem sayesinde mürettebatın durumsal farkındalığı artmıştır. Örneğin bir motorun yağ basıncı azalıyorsa EICAS sesli ikaz verir ve sistem yağ basıncı bilgilerini görüntüye getirir. Böylece pilotun dikkati gerekli noktaya gerektiği zaman yoğunlaştırılmış olur.

Bu tip ekranlar kullanıcı ve otomatik sistem arasında bazı sorunlara da yol açabilmektedir. EICAS ve EICAS’ın sisteme entegre edilmiş sürümü olan EMACS

(Motor Gözlem ve Mürettebat Uyarı Sistemi) ile yapılan bir deneyde pilotların otomatik durumda, sisteme entegre edilmiş olan EMACS ile iki katı daha fazla arıza buldukları tespit edilmiştir [8].

### **3.3.10. FMS (Uçuş yönetim sistemi)**

Bir uçağın seyrüsefer ve uçuş ile ilgili tüm fonksiyonlarını yerine getirmesine yardımcı olan bir bilgisayar sistemidir (Resim 3.7.). FMS ile uçak üzerindeki elektrik-elektronik teçhizatının verdiği bilgilerin hepsini bilgisayar sistemi vasıtasıyla tek bir ekran üzerinde toplamak mümkündür. Bu sayede pilotun iş yükü azalır ve yüksek doğrulukta bilgi transferi sağlanmış olur [9].

Önceleri pilot, haritalara, performans dokümanlarına, kartlara, tablolara veya seyrüsefer ve performans hesap cetvellerine başvururken günümüzde ise FMS ile tüm bu bilgiler bilgisayara yüklenir, tüm gerekli hesaplamalar yapılır ve son olarak da yol boyunca yapılması gerekli tüm manevralar yerine getirilir. Ayrıca en ekonomik hız irtifa değerleri, bunlara uygun performans bilgileri, kalan yakıt miktarı ve seyrüsefer bilgileri de sağlanır. FMS'in otopilot ve EFIS ile entegrasyonu sayesinde sistemler arasında bilgi aktarımı etkin bir şekilde yapılabilir. FMS'in modern uçak kokpitlerinde pilotun en çok dikkatini yönelttiği sistemlerden birisi olduğu açıktır. Miami Üniversitesi'nden Earl Wiener, otomasyon ile ilgili yaptığı çalışmasının sonuçlarını analiz ederken FMS'i, pilotun dikkatini, parmaklarını ve göz bebeklerini içine çeken bir elektrikli süpürgeye benzetmesi bu yüzdendir. Ayrıca ABD'de uçuş olaylarının rapor edildiği bir sistem olan ASRS verilerine göre kokpitteki gözlem hatalarının % 30'u mürettebattan bir pilot FMS ile programlama yaparken meydana gelmektedir [10].



Resim 3.7. FMS kontrol paneli.



Resim 3.8. Cam kokpit.

### 3.3.11. Otopilot

İlk olarak uçağı insan müdahalesi olmadan istenen uçuş konumunda tutmak için tasarlanan otopilot modern uçuş kontrol sistemlerinin vazgeçilmez bir parçasıdır. Uçak performanslarının gelişmesi, uçuş menzilinın uzaması ve hava sahasının yoğunlaşması neticesinde iş yükü artan pilotun en büyük yardımcısıdır. Günümüzde otomatik pilot, özellikle yüksek performanslı uçaklarda güvenli bir uçuş için neredeyse bir zorunluluk haline gelmiştir.

Basit anlamda otopilot, uçağın istenen yükseklikte ve istikamette yatay olarak uçmasını sağlayan; tırmanış, süzölüş ve dönüş yapmasını otomatik olarak gerçekleştiren bir sistemdir. Normal şartlarda bu işlemi pilot, dış referanslar ve kokpit içi aletlerden edindiğı bilgiler ile yapmaktadır. Devamlı olarak dikkat yoğunlaştırmasını ve elle müdahaleyi gerektirdiğinden bu işlem oldukça yorucu olmaktadır. Ayrıca hataların istem dışı olarak büyüme ihtimali mevcuttur. Otopilot, pilot adına bu işlemleri yaparken, pilotun esas görevi bir sistem yöneticisi olarak işleyişi takip etmektir.

Otopilot, uçuş kontrol sistemlerine entegre olmuş bir sistemdir. Sistemin esas parçalarını, otopilot bilgisayarını, otopilot paneli, servolar, kayış/savruluş algılayıcıları ve ivme ölçerler oluşturmaktadır. Ayrıca otopilot, kokpitteki EFIS, uçuş yönlendiricisi, cayroskoplara, FMS gibi sistemlerle de devamlı iletişim halindedir. Yatay ve dikey cayrolardan uçağın üç eksenindeki konumu ile ilgili devamlı bilgi alan otopilot, bu üç eksenindeki sapmalar belirli bir eşiğı geçtiğinde bilgisayarı vasıtası ile servolara düzeltici kumanda sinyallerini elektronik olarak gönderir. Genelde elektrik ile çalışan servolar ise bu sinyalleri harekete çevirerek kumanda yüzeylerini istenen yönde oynatır. Sonuç olarak uçak tekrar istenen uçuş konumuna dönmüş olur. Servolar kanatçık, yatay ve dikey kontrol yüzeyi gibi uçağın üç eksenindeki hareketlerine kumanda eden yüzeylere yerleştirilmiştir. Ayrıca hassas ayarlar (trim) için de servolar kullanılabilmektedir.



Uçuş için uygun mod seçimi pilot tarafından kontrol panelinden yapılmaktadır. Uçuş yönlendiricisinin barları bu istenen uçuş konumuna rehberlik yaparak otopilotun gerekli kumandayı vermesini sağlamaktadır. Modlar, uçağın temel hareketlerini kontrol etmek için seçilebildiği gibi uçağa sonradan yapmasını istediği manevralar için de seçim yapılabilir [11]. Örneğin uçak düz uçuşta iken ALT moduna basıldığında otopilot üç ekseninde de uçağı kontrol ederek düz ve ufki uçuşu sağlayacaktır. Tırmanış esnasında ALT SEL moduna basıldığında ise otopilot, istenen düz uçuş irtifası geldiğinde uçağı uygun kumanda vererek düz uçuşa geçirecektir.

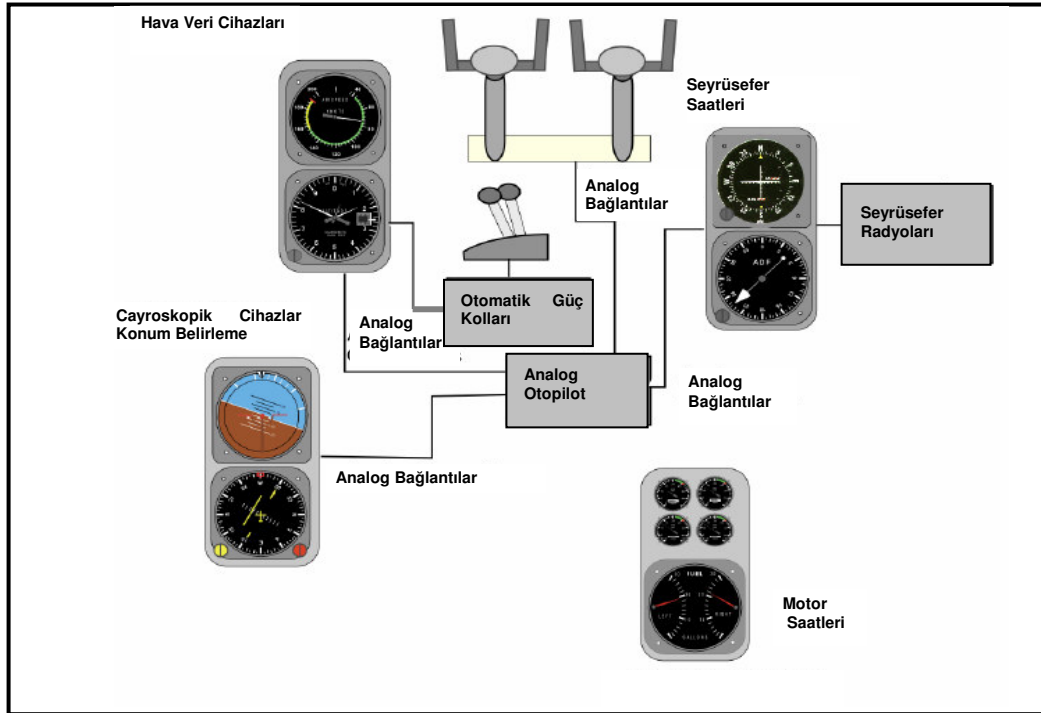
### **3.3.12. Birinci nesil otomasyon**

Uçağın üç ekseninde de (sapma, yalpa, yunuslama) kontrolünün sağlanması öncelikle cayroskopik cihazlarla yapılmıştır. Motordan hareketli pompalardan sağlanan pünomatik ve hidrolik güçle çalışan üç eksenli bir Sperry otomatik pilot, 1932 yılında bir Lockheed Vega'ya monte edilmiş ve 1933 yılında Wiley Post bu uçakla dünyanın çevresini dolaşmıştır [12].

İkinci Dünya Savaşı'nın başlaması ile beraber otomatik pilotlar değişik tipteki sivil ve askeri uçaklara monte edilmeye başlandı. Uçağa durum ve istikamet bilgisi veren ve vakumla veya elektrikle çalışan cayroskopların otopilotlarla beraber kullanılması otomasyon için büyük bir atılım sayılabilir. Böylece pilotun devamlı olarak uçağa elle kumanda etmesi ve uçağın durumunu (sapma, yalpa, yunuslama) takip etmesi zorunluluğu ortadan kalkmış oldu. Savaşın sona ermesi otopilot teknolojisi hızlı bir şekilde gelişti. Otopilota gelen hata sinyallerinin işlenmesi, elektronik yükselteçler tarafından yapılmaya başlandı. Flüks valf pusulaları sayesinde, daha stabil istikamet bilgisi elde edildi ve yüksek hassasiyetli barometrik irtifa algılayıcılarının geliştirilmesi ile otopilotlara sabit irtifayı muhafaza etme ve irtifa yakalama yetenekleri kazandırıldı [12].

Radyo seyrüseferinde LF (low-frequency) ve NDB (non-directional beacon) 'den VOR (high frequency omni-range) cihazlarına geçilmesi ile beraber seyrüsefer daha

basit hale gelmiş ve cihazların meteorolojik hadiselerden etkilenmemesi sayesinde daha hassas ve güvenli sinyal bilgisi alınmaya başlanmıştır. DME (Mesafe Ölçme Cihazı)'nin daha sonra VOR istasyonları ile beraber tesis edilmesi sonucunda uçaklar istasyonlardan hem istikamet hem de mesafe bilgisi almaya başlamıştır. Uçaktaki otopilotun bu cihazlara entegrasyonunun yapılması ile bir VOR istasyonuna gidiş ve istasyondan ayrılış otopilot tarafından yapılır hale gelmiştir. Yüksek frekanslı alet iniş sistemi (ILS)'nin havaalanlarına montesinden sonra uçak otopilotları, ILS'nin yayınlandığı localizer (LOC) ve süzülüş hattı (GS) hüzmesi içinde hassas yaklaşma ve iniş kabiliyeti kazanmıştır [12].



Şekil 3.7 FMS'siz elektromekanik kokpit [13].

Uçaklardaki otopilota, doğru ve hassas seyrüsefer yapabilmesi için değişik algılayıcıların entegre edilmesi sayesinde havacılıkta büyük bir aşama kaydedilmiş ve manyetik istikamet, irtifa, konum gibi bilgiler sisteme otomatik olarak aktarılmaya başlanmıştır. Bu aşama ticari jet uçaklarının da hizmete girmesi ile aynı zamana denk gelmiştir. Bu aşamada basılı devre kartları, uçaklarda henüz kullanılmıyordu. Otopilotlar büyük, ağır ve hantaldı. Fakat doğru çalıştıklarında

pilota iki veya üç eksenli uçak konum kontrolü ve manyetik istikameti yakalama/tutma imkanı, bir VOR veya ILS hattını yakalama/tutma imkanı, irtifa tutma ve GS takibi, bazen de irtifayı seçme ve yakalama imkanı vermektedir [12].

### 3.3.13. İkinci nesil otomasyon

Turbo jet ulaştırma uçakları (1952’de de Havilland Comet, 1958’de Boeing 707 ve 1959’da Douglas DC-8) ile birlikte uçuşlar daha yüksekten ve daha hızlı yapılırken bir taraftan da daha hassas kontrol fonksiyonlarına ihtiyaç duyulmuştur. Böylece pilotlar artık uçuş bilgilerini daha hızlı ve daha doğru olarak alabilecekleri cihazları kullanmaya başladılar. Kokpitlere konulan hava veri bilgisayarları (ADC), uçağın içinde uçtuğu hava kütlesi ile ilgili bilgileri yüksek bir hassasiyet derecesi ile pilota ve otopilota iletmekteydi [12].

İlk başta askeri uçaklarda kullanılmak üzere geliştirilen uçuş yönlendiricileri (FD), hem otopilot hem de pilot için kumanda bilgileri veriyordu. Bu yönlendiriciler, konum göstergeleri (ADI) ile entegre edildi ve pilotu, tırmanış, alçalış veya dönüş için yönlendirmeye başladılar. Bu yönlendirme özellikle meteorolojik koşulların görüşü kısıtladığı durumlarda ve ILS gibi hassas yaklaşımlarda çok gerekliydi. Pilotlar bu uçuş yönlendiricilerine oldukça güvenmeye başladılar fakat uçuş yönlendiricileri de gerekli bilgiyi algılayıcılardan elde etmekteydi ve bu algılayıcıların da arızalanabileceği gerçeği pilotları kaygılandırmaya başladı. Bu kaygı günümüzde de devam etmektedir [12].

Uçaklardaki bazı aerodinamik özellikler, dönüş esnasında uçağın aksi tarafa sapmasına neden oluyordu. Bu sakınca sapma damperleri ile giderildi. Yüksek süratlerde uçakların baş aşağı dalma eğilimi ise yunuslama ayarlayıcıları sayesinde önlenmiş oldu. Bu cihazlar istenildiğinde açılıp kapatılabilmekteydi. Çok motorlu pervaneli uçaklarda kullanılan otofeder sistemleri gibi bu cihazlar da açık tutuldukları sürece otomatik olarak harekete geçmeye hazır durumdadırlar [12].

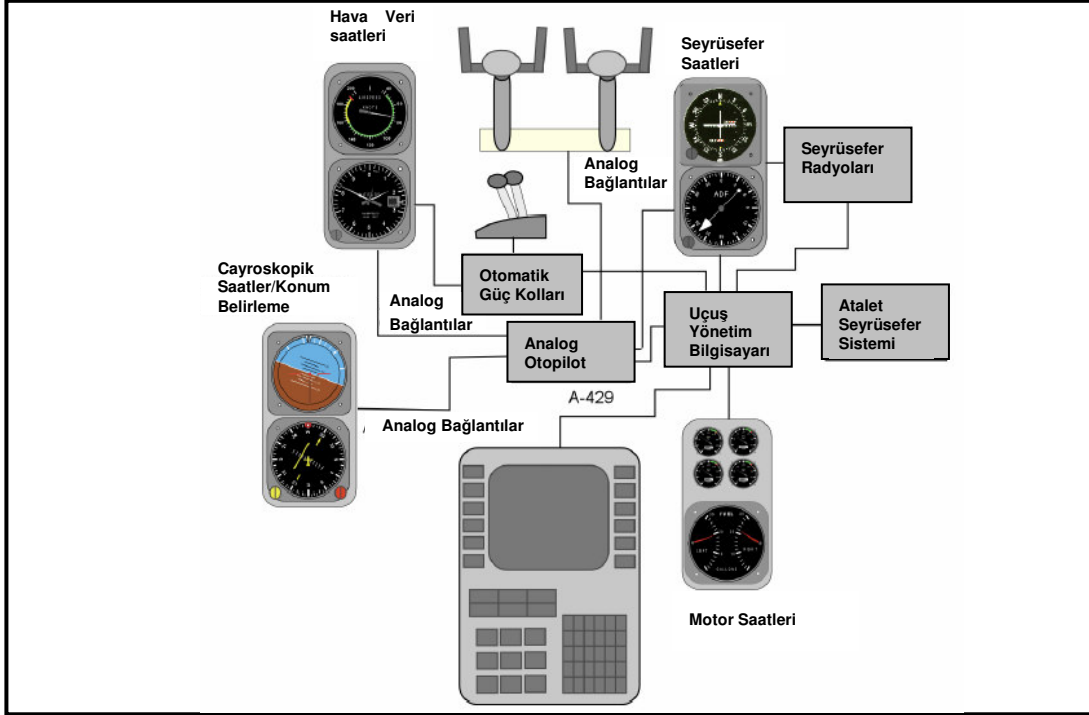
1960'lı yıllarda yeni ve daha etkin uçuş yönlendiricisi-otopilot kombinasyonları görülmeye başlandı. Bu yenilikler basılı devre kartlarına (PCB) geçiş sayesinde mümkün olmuştur. Bu teknolojinin uçaklarda kullanılmaya başlanması ile beraber otomatik inişler için palye (inişten hemen önce uçağın burnunun kaldırılarak yere temas konumuna getirilmesi) mantığı gibi karmaşık kontrol prensiplerinin gerçekleştirildiğini görüyoruz. Autothrottle, yani otomatik güç kontrolü mantığının entegrasyonu ise uçakta uçuş rotasının takibi yanında güç takibinin de otomatik olarak yapılabilmesini mümkün kılmıştır [12].

Bazı pilotlar ilk başlarda bu yeni sistemlere uyum sağlamakta zorluk çekmişti, fakat sonradan eğitim programlarının, söz konusu sistem işletimleri üzerinde durulacak şekilde revize edilmesi ile pilotların değişik durumlarda bu sistemler üzerindeki hakimiyetleri geliştirilmiştir [14].

Bir seri CFIT (kontrollü uçuşta yere çarpma) kazası sonrası ABD'de 1975 yılında GPWS (yere yakınlığı ikaz eden sistem) cihazlarının ulaştırma uçaklarına takılmasına karar verildi. Bu cihazlar barometrik olarak ve altimetre prensibine göre çalışır ve uçağın yerden olan yüksekliğini ve yüksekliğindeki değişim oranını ikaz eder. Pilotun daha önceden ayarladığı yükseklik değerinin altına inildiğinde ışık ve ses ikazları mürettebatı uyarır. Uçak şirketleri bu uyarılar karşısında pilotun yapması gereken manevraları belirlemiştir fakat uçağın otomatik olarak düzeltici kumanda vermesi fikri benimsenmemiştir. Dolayısıyla sistem ikazları tavsiye niteliğindedir, ancak otomatik kumanda felsefesinin devamı olarak değerlendirilebilir. Bu günlerde çarpışma önleyici sistem (TCAS) veya rüzgar atağı ikaz sistemi gibi uygulamalarda belli sınırlar aşıldığında otopilot uygun düzeltici kumandayı vermektedir [12].

Bulunduğu yerin koordinatlarını sürekli hesaplayarak bir noktadan diğer bir noktaya seyrüsefer yapabilmeyi sağlayan Doppler, Atalet Seyrüsefer Sistemi (INS), GPS gibi algılayıcıların uçuş yönlendiricisi ve otopilota entegrasyonu, otomasyonlu kokpitlere yeni yetenekler kazandırmıştır. Artık bu sistemler sayesinde uçaklar VOR yollarına bağlı kalmadan dünya üzerindeki herhangi bir noktadan başka bir noktaya en kısa

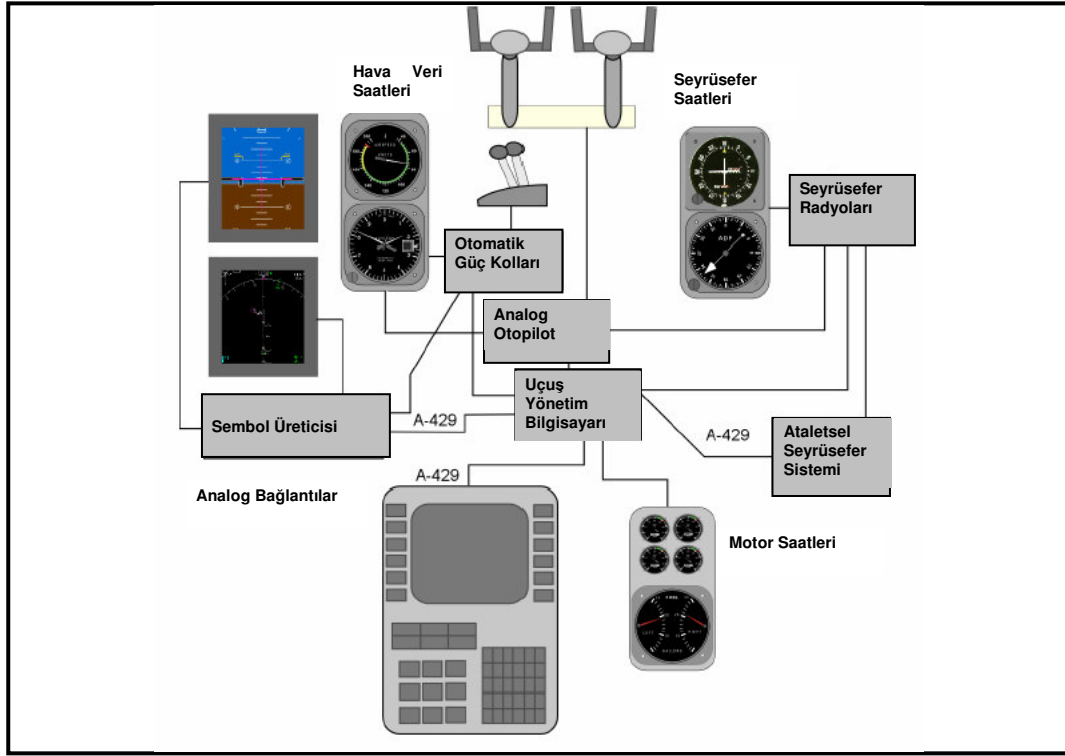
yoldan gidebilecek kabiliyete kavuşmuştur. Bu tip tasarımın bir örneği Şekil 3.8.'de görülebilir.



Şekil 3.8 FMS'li elektromekanik kokpit [13].

### 3.2.14. Üçüncü nesil otomasyon

Kokpit otomasyonunda bundan sonraki büyük aşama, elektronik ekranların ve bir takım otomatik sistem yöneticilerinin kullanılmaya başlamasıyla gerçekleşmiştir. Bu aşamaya ulaşılmasında, mürettebat sayısını, büyük jet uçaklarında üç den ikiye indirme isteği rol oynamıştır. DC-9-80 (şimdiki adı ile MD-80) gibi uçaklarda elektro mekanik aletler muhafaza edilmiş fakat uçak sistem yönetimi basitleştirilerek daha gelişmiş elektronik uçuş kontrol sistemleri kullanılmıştır. Bu sistemlerin kontrolü FMC (uçuş yönetim bilgisayarı) ile yapılmaktadır ve bu bilgisayara veri girişi, üzerinde harf/sayı tuşları bulunan kontrol ekranı (CDU) üzerinden olmaktadır [14]. İlk başlarda CDU'larda katot ışın tüpleri kullanılmaktaydı. Yeni tip CDU'lar sıvı kristal ekran olarak ortaya çıkmıştır. Şekil 3.9.'de bu tasarıma uyan bir otomasyon sistemi görülmektedir.

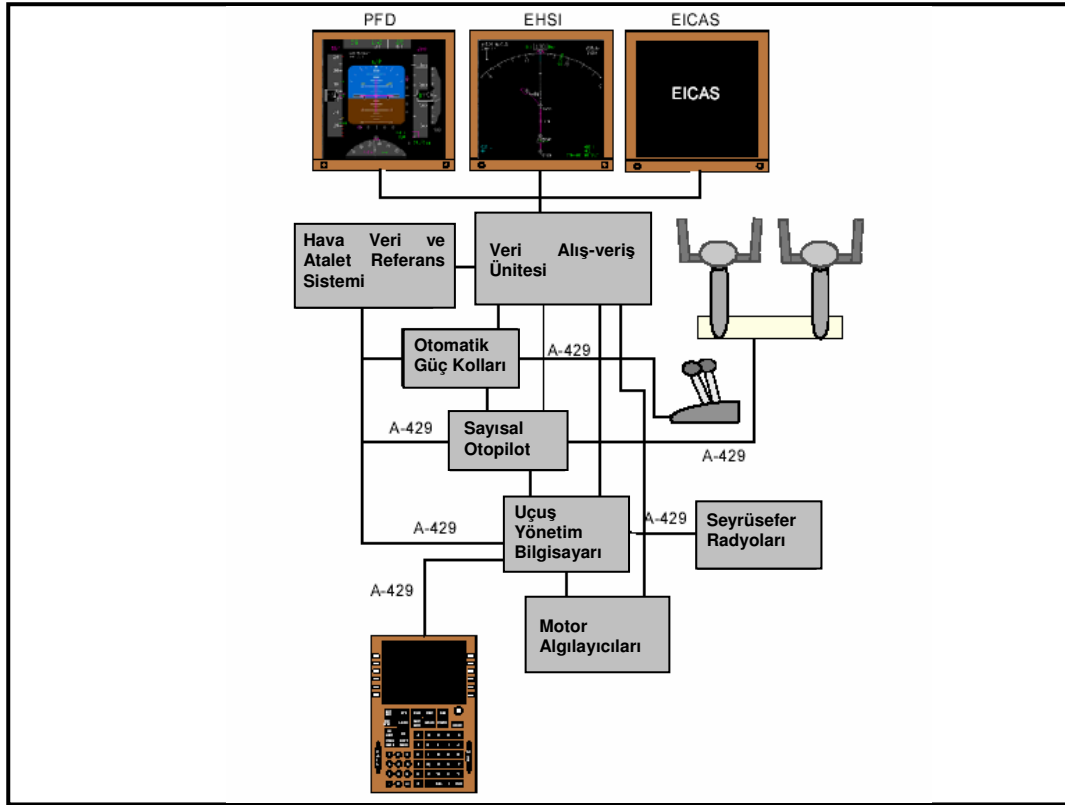


Şekil 3.9. FMS’li ve EFIS’li kokpit [13].

Yeni nesil uçakların hizmete sunulması ile beraber kokpitler renkli CRT ekranlarla tanıştı. Bu ekranlar, uçuşla ilgili bilgilerin yanında motor ve uçak sistemleri ile ilgili bilgileri de sergilemekteydi. Suni ufuk, yatay durum göstergesi (HSI) gibi temel uçuş aletlerinin gösterim formatı aynı kalmakla beraber 1960’lı yıllardan beri kullanılan HSI’ a alternatif olarak harita gösterim formatları geliştirildi. Bu sayede uçağın konum bilgisinin sunulmasında büyük aşama kaydedildi [12].

Cam kokpit diye de adlandırılan bu kokpitlerin hemen ardından uçuş ve performans yönetim sistemlerinin de geliştirilmesiyle modern kokpitteki devrim tamamlanmış oldu. Bu uçakları manuel olarak kullanmak mümkün iken pilotlar daha çok otomasyonla uçmaları yönünde teşvik edildi. Pilotların seviyeleri, bu sistemleri ne kadar iyi kullandıkları ile ölçülür oldu. Yatay ve dikey yol takipleri artık çok daha hassas ve doğru olarak yapılıyordu. Güç yönetiminin dahi otomatikleşmesi ile pilot iş yükü oldukça azalmıştı. Bunun yanında hassas saha seyrüseferi sayesinde uçuş rotaları kısalıyordu. Bu da daha az yakıt ve daha düşük maliyetler anlamına geliyordu. Bahsedilen bütün bu sistemlere sahip olan bir uçak hava şartlarından etkilenmeksizin

kalkıştan inişe kadar bütün uçuşunu otomatik olarak yapabilir. Normal şartlarda bunun anlamı, kokpitte pilota düşen iş yükünün azalmasıdır [15]. Şekil 3.10.'da tipik bir cam kokpit tasarımı görülmektedir.



Şekil 3.10. Tamamen Sayısal Cam Kokpit [15].

### 3.2.15. Kablo ile aktarılan uçuş kumandaları

Askeri uçaklar ve yolcu uçakları kablo ile aktarılan uçuş kontrol sistemlerini bir süredir kullanmaktadır. Uygulamanın daha küçük ebattaki iş jetlerine kadar yaygınlaşması beklenmektedir. FBW teknolojisinde mekaniki bağlantılar ile kontrol edilen uçuş kontrol sistemlerinin yerini elektronik olarak kontrol edilen sistemler almıştır. FBW, pilotun kumandalarla yaptığı girdilerden, kumanda yüzeylerinin hareketini hesaplar ve daha sonra uçağın hareketinden gelen geri besleme yoluyla kumanda yüzeylerinin tepkisini pilot kumandalarına adapte eder. Pilot kumandaları genellikle yan tarafa yerleştirilmiş lövyeye vasıtasıyla, elektronik sinyaller olarak kumanda yüzeylerinin aktüatörlerine gönderilir. Aktüatörler elektrikli veya hidrolikli

olabilmektedir. Sonuçta elektronik sinyaller, akçüatörler vasıtası ile harekete dönüştürölür. FBW sisteminin diğör bir işlevi ise uçağı, yüksek hücum açılarna ve yüksek g kuvvetine karşı korumasıdır. Aynı şekilde yatış açısında da sınırlama yoluyla bir koruma mevcuttur [15].



## 4. UÇUŞ PLANLAMASI

### 4.1. Uçuş Planlarının Hazırlanması

Resim çekiminin planlanması ya o bölgenin küçük veya orta ölçekli bir haritası üzerinde, daha önce çekilmiş küçük ölçekli resimleri kullanılarak klasik şekilde ya da bilgisayar ortamında çeşitli programlar kullanılarak sayısal olarak yapılabilir [2].

Günümüzde yapılan uçuşlarda ise Kinematik GPS Destekli Fotogrametri Yöntemi kullanılmaktadır. Kinematik GPS yönteminde hem yerde hem de uçakta birer tane GPS alıcısı mevcuttur. Bu GPS alıcıları uçuş esnasında eş zamanlı ölçü yaparlar. Bu ölçüler küçük ölçekli çalışmalarda 1 sn. aralığında, büyük ölçekli ve hassas çalışmalarda ise 0.5 sn. aralığında gerçekleşir. GPS alıcısına bağlı olan kamera sistemi her bir fotoğraf çekiminde GPS verisine bir işaret koyar. Uçuş sonunda uçakta ve yerde elde edilen GPS verileri birlikte Static and Kinematic Positioning – SKIP adı verilen yazılımda işleme sokularak her bir fotoğrafa ait resim orta nokta koordinatları elde edilir. Bu koordinatlar fotogrametrik nirengi işlemleri sonucunda sadece blok köşelerinde yer alan nirengilere dayalı olarak gerçekleştirilen dengeleme işlemlerinde büyük faydalar sağlarlar.

Planlama faaliyetleri tamamen bilgisayar destekli olarak yürütülmekte olup planlama yazılımı olarak T-Flight programı kullanılmaktadır. Bu programda gerçekleştirilen planlama faaliyetleri Autocad tabanlı çizim programları sayesinde çok sistematik ve hassas biçimde yürütülebilmektedir. Söz konusu programda kaydedilen plan, uçakta yer alan kamera ve GPS sistemi ile birlikte çalışan sisteme girildiğinde plan hem pilotun hem de navigatör/fotoğraf operatörünün önündeki ekranda görülebilmektedir. Bu şekilde pilot uçağı otomatik olarak istediğı kolon üzerinde uçurabilmektedir. Uçak belirlenen sınırları aşarak uçuş doğrultusundan saptığı takdirde sistem navigatör/fotoğraf operatörüne çekilemeyerek pas geçilen fotoğraf ve/veya kolonları göstermektedir. Bu şekilde uçuş personelinin hata yapması hem de kolonlar arası açık kalması engellenmektedir.

## 4.2. Planlama

Öncelikle haritası yapılacak bölge belirlenir. Bölge basılı haritalar veya eski fotoğraflar üzerinde belirlenebileceği gibi sayısal ortamda var olan raster haritalar veya koordinatlı görüntüler üzerinde de belirlenebilir. Bilgisayar ortamında yapılacak planlama işlemleri için haritası yapılacak bölge sayısal ortamda çizilerek veya sayısallaştırılarak da belirlenebilir. Sayısal ortamda bulunan veriler uçuş planlamasının yapılacağı programda altlık olarak kullanılır.

Fotoğraf ölçeği belirlenir. Fotoğraf ölçeği belirlenirken harita ölçeği, maliyet unsuru, yapılacak çalışmanın hassasiyeti, elde mevcut bulunan kameralar vb. gibi konular dikkate alınır.

Üretimi gerçekleştirilecek harita ölçeği birinci derecede fotoğraf ölçeğine etki eder. Kural olarak fotoğraf ölçeği harita ölçeğinin 4 katından küçük olmamalıdır. Pratik uygulamalarda; 1 : 1 000 ölçekli harita yapımı için 1 : 4 000, 1 : 2 500 ölçekli harita yapımı için 1 : 10 000, 1 : 5 000 ölçekli harita yapımı için 1 : 18 000, 1 : 10 000 ölçekli harita yapımı için 1 : 25 000 ve 1 : 25 000 ölçekli harita yapımı için 1 : 35 000 ölçekli hava fotoğrafları çekilir. Karar verilen hava fotoğrafı ölçeği çalışmanın hassasiyetine direkt olarak etki eder.

Söz konusu fotoğraf ölçeği belirlenirken uçağın havada kalış süresi, çekilecek fotoğraf sayısı, fotoğraf sayısına bağlı olarak gerçekleşecek olan banyo ve kart-dia baskı işlemleri vb. gibi konular nedeniyle oluşacak maliyet de göz önüne alınmalıdır. Uçuş ne kadar büyük ölçekli olursa maliyetin o kadar büyük olacağı aşıkardır.

İdeal olarak uçuş esnasında fotoğraf ölçeğinin artı ve eksi yönde % 10 dan daha fazla değişmemesine dikkat edilir. Fotoğraf ölçeğine ilişkin bu özellikler planlama programına girilir.

Uçuş zamanı belirlenir. Uçuş zamanında bölgenin hava koşulları ve uçuş zamanlaması da uçuşa etki eden önemli etkenlerdendir. Uçuş zamanı ve mevsim

koşullarından kastedilen hem yıl içindeki mevsim koşulları hem de gün içindeki fotoğraf çekim saatleridir. Uçuş ideal olarak güneş ışığının yeryüzüne dik olarak geldiği yaz aylarında çekilmelidir. Aksi takdirde güneş ışığının eğik gelmesi nedeni ile çekilen fotoğraflarda gölgeli alan çok fazla olur. Ülkemizde resim çekimi Mayıs başından Eylül sonuna kadar yapılabilir. Aynı zamanda fotoğraflarda ışık yetersizliği nedeni ile netlik ve parlaklık gibi sorunlar yaşanır. Aynı mantık ile gün içinde fotoğraf alım saatleri de, güneş ışığının dik ve net olarak yeryüzüne ulaştığı, pus ve sis olmayan öğlen saatleri (10.00 – 15.00) olarak tercih edilmelidir.

Uçuş yüksekliği belirlenir. Elde mevcut bulunan kameralar uçuş yüksekliğinin belirlenmesinde en önemli etkidir. Günümüzde en yoğun olarak kullanılan kameralar 150 mm. ve 300 mm. lik odak uzaklığına sahip olan kameralardır. Ülkemizde bu iki kamera çeşidi mevcuttur. Kamera odak uzaklığı küçüldükçe uçuş daha yüksekten gerçekleşir. Böylece yüksek uçuşlarda hassasiyet azalırken alçak uçuşlarda hassasiyet artar. Bu nedenle düz alanlarda ve küçük ölçekli çalışmalarda (revizyon gibi) kamera odak uzaklığı küçük olan kamera tercih edilmelidir. Yükseklik farkının çok fazla olduğu arazilerde ve büyük ölçekli çalışmalarda ise kamera odak uzaklığı büyük olan kamera tercih edilmelidir.

Kameraya bağlı olarak uçuş yüksekliği belirlenirken

“Fotoğraf ölçeği ( 1 / mr ) = Kamera sabiti / Uçuş Yüksekliği ”

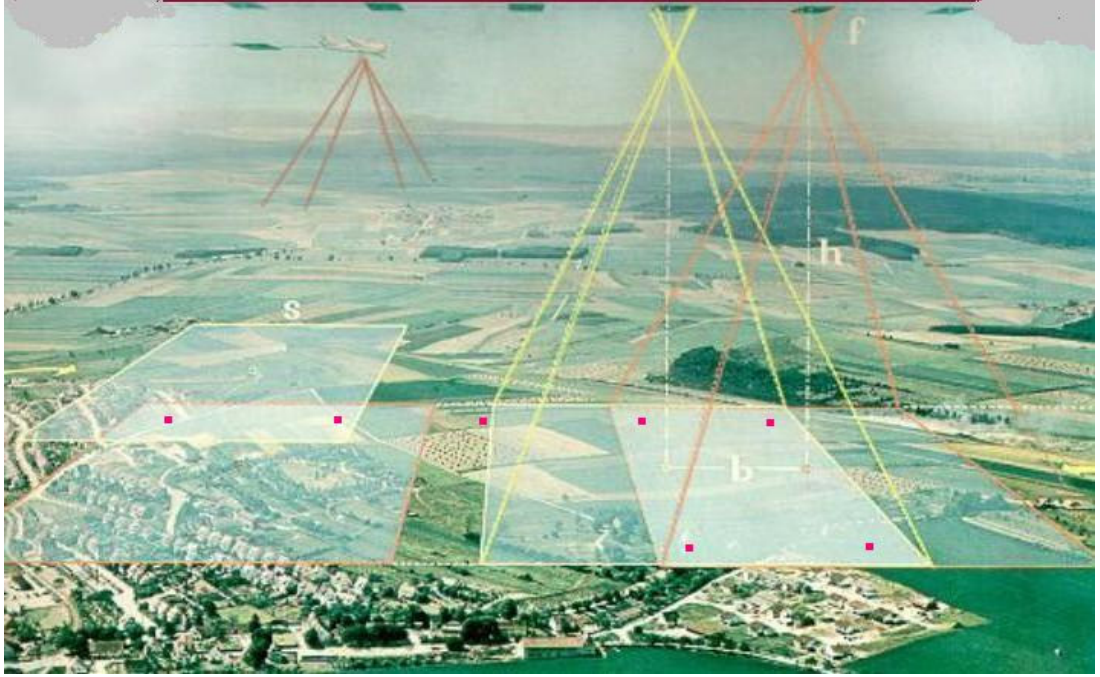
formülü dikkate alınır. Bu formüle bağlı olarak bir feet’ in yaklaşık 3.3 m. olduğu kabul edilirse pratik olarak 300 mm. lik kamera kullanıldığında feet cinsinden uçuş yüksekliğinin fotoğraf ölçeğinin sayısal değeri ile eşit olduğu, 150 mm. lik kamera kullanıldığında ise feet cinsinden uçuş yüksekliğinin fotoğraf ölçeğinin sayısal değerinin yarısı olduğu hesaplanabilir.

Uçuş yüksekliği ile ilgili bilgiler de planlama programının ilgili kısımlarına girilir.

Fotoğrafın arazide kapsadığı alan hesaplanır. Bu hesap yapılırken

$$S = s * mr$$

eşitliği kullanılır. Bu eşitlikteki S fotoğrafın arazide kapsadığı mesafeyi, s fotoğraf boyutunu ( 23 cm. ) ve mr ise fotoğraf ölçeğinin payda değerini ifade eder. Bu bilgiler de programının ilgili kısımlarına girilir.

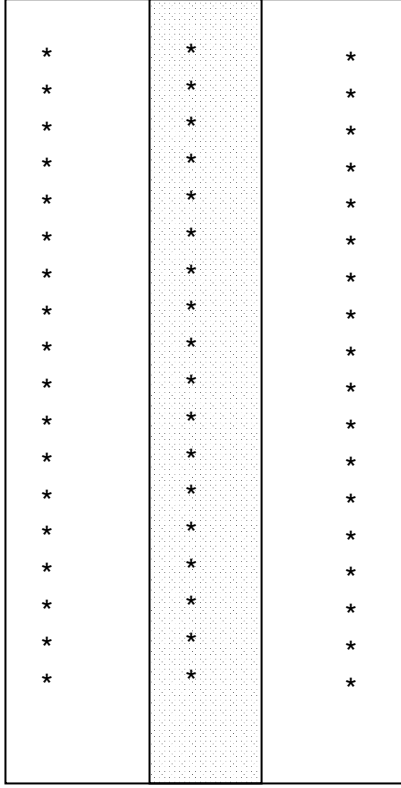


Şekil 4.1 Baz uzaklığı ve boyuna bindirme.

Baz uzaklığı ve boyuna bindirme oranı hesaplanır. İdeal olarak boyuna bindirme oranı % 60 olarak tespit edilmiştir [6]. Bu oranın daha az olması durumunda üç boyutlu görüş imkanı azalır, oranın daha çok olması ise maliyeti artırır. Baz uzaklığı ise:

$$b = s * mr * ( 1 - p )$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikteki b baz uzaklığını, s fotoğraf boyutunu (23 cm), mr fotoğraf ölçeğinin payda değerini, p ise boyuna bindirme oranını ( % 60 = 0,6 gibi ) ifade eder. Bu bilgiler de programının ilgili kısımlarına girilir.



Şekil 4.2. Yan bindirme.

Yan (enine) bindirme oranı ve kolonlar arası mesafe hesaplanır. Ülkemizde yan bindirme oranı % 30 olarak uygulanmaktadır. Bu oranın daha az olması durumunda kolonlar arasında açıklık olması ihtimali, oranın daha çok olması durumunda ise maliyet artar. Araştırma sonunda bu konu ile ilgili değerlendirme ortaya konacaktır. Kolonlar arası mesafe ise:

$$a = s * mr * (1 - q)$$

eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlikteki a kolonlar arası mesafeyi, s fotoğraf boyutunu ( 23 cm. ), mr fotoğraf ölçeğinin payda değerini, q ise enine bindirme oranını ( % 30 = 0,3 gibi ) ifade eder. Bu bilgiler de programının ilgili kısımlarına girilir.

Koordinat bilgileri belirlenir. Özellikle planlama bilgisayar destekli olarak gerçekleşiyorsa, planlamanın yapıldığı koordinat sistemi ile Kinematik GPS destekli olarak yapılacak uçuş koordinat sistemi arasında bir koordinasyon sağlanmalıdır. Bu nedenle planlama hangi koordinat sisteminde yapılıyorsa bu sistem programa tanıtılmalıdır. Böylece uçuş planlaması bittiğinde uçuş ekibine teslim edilen plan, otomatik olarak plan koordinat sisteminden Kinematik GPS destekli uçuşun yapılacağı sistem olan WGS84 sistemine dönüştürülür.

Planlamaya ilişkin çizimler yapılır. Kolonlar çizilir. Klasik sistemlerde kolonlar aydınlatıcılar üzerine çizilirken günümüzde bilgisayar ortamında çizilmektedirler. Planlama programı sayesinde kolonların yerleştirilmesi ve çizilmesi konularında büyük kolaylıklar sağlanmıştır.

Daha sonra nirengilerin konumları tespit edilir. Nirengilerin konumları Kinematik GPS destekli uçuş planlamasına uygun şekilde belirlenir. Geçmiş yıllarda havuz yöntemine uygun olarak nirengi sayısı ve konumu belirlenirken teknolojinin gelişmesi ve dengeleme programlarında sağlanan ilerlemeler sonucunda nirengi sayısında büyük oranda azalma sağlanmıştır. Günümüzde kullanılan Kinematik GPS destekli uçuşlarda ise nirengi sayısı sadece blok köşelerinde olacak şekilde minimum seviyeye inmiştir.

Kolon yükseklikleri girilir. Kolonlar arası bindirmeler kontrol edilir. Kolondaki yükseklik farkına bağlı olarak ölçek değişimine dikkat edilir. Ölçek değişiminin maksimum % 10 olması istenir. % 10 dan fazla ölçek değişiminin oluşacağı kolonlar ise bölünerek ölçek korunur.

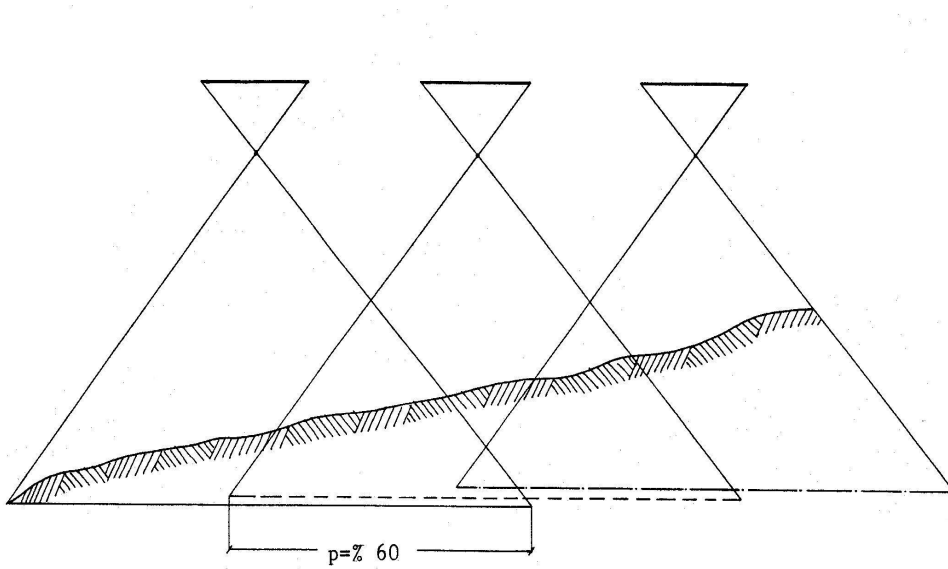
Uçuş yönü belirlenir. Bu önemli husus belirlenirken;

- Arazinin en az kolonla kapatılmasına,
- Bir paftanın en az sayıda ve en uygun konumda model ile kapatılmasına,
- Bir model içinde fazla yükseklik farkı olmasını önlemek amacıyla arazideki vadilere ve varsa dağ ve tepe sıralarına paralel uçulmasına,

- Akarsularda göl ve deniz kıyısına paralel uçulmasına

dikkat edilir. Deniz ve göl kenarındaki alanlar resimlenirken, planlanan kolonlardan başka, bir kolon da sahil boyunca resim çekilir. Böylece yarım ve eksik modellerin ortaya çıkması olasılığı azaltılmış olur.

Eğer kolon boyunca, uçuş yönünde büyük yükseklik farkı varsa, kolonun bu kısımları ayrı ayrı yüksekliklerden resimlenir. Aksi halde boyuna örtü oranı azalır (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3 Azalan boyuna örtü oranı.

Plan kaydedilir. Bilgisayar destekli olarak gerçekleştirilen plan uçuş ekibine verilmek üzere diskete kaydedilir. Planlama esnasında program her bir fotoğrafın resim orta nokta koordinatını planlama koordinatında hesaplar. Ancak program plan kaydedilirken söz konusu koordinatları WGS84 sistemine dönüştürür. Çünkü uçuş esnasında, uçak bünyesindeki bulunan GPS alıcısı sayesinde uçak konumu tespit edilir ve uçulacak kolonlar yine GPS ölçüsünün yapıldığı WGS84 sisteminde gösterilir.

Nirengi koordinatları Jeodezi Birimine teslim edilir. Plan hazırlandıktan sonra arazide tesis edilecek nirengilere ilişkin bilgiler Jeodezi Birimine teslim edilir. Jeodezi Birimince nirengiler arazide işaretlenir ve koordinatları teyit edilir.

Jeodezi Birimi işaretlediği ya da yeniden tesis ettiği nirengi koordinatlarını yeniden Fotogrametri Birimine bildirir. Fotogrametri Birimi de plana son şeklini vererek yeniden düzenler. Artık plan Uçuş Ekibine teslim hazırdır.

Plan Uçuş Ekibine teslim edilir. Sayısal ortamda elde edilen planla birlikte planla ilgili şekiller ve projeye ilişkin bilgiler düzenlenerek Uçuş Ekibine teslim edilir.

Uçuşla ilgili koordinasyon yapılır. Bu koordinasyon faaliyetleri Uçuş Ekibi tarafından gerçekleştirilir. Bölgeye yakın hava alanı ile ilişki kurularak iniş kalkış izni ve yakıt ikmali için gerekli önlemler alınır.

Ülke sınırlarına yakın alanların uçuşları için, Dışişleri Bakanlığı kanalı ile komşu ülkeden uçuş izni alınır. Söz konusu uçuşlarda komşu ülkenin müşahidi uçuşa nezaret eder ve uçuş sonucunda banyo edilen film üzerinde kendi ülkesine ait olan kısmı siler.

Uçuş gerçekleştirilir (Resim 4.1.). Uzun süreli uçuşlarda öncelikle uçuş bölgesine intikal edilir. Kısa süreli uçuşlarda aynı gün içinde hem intikal hem de fotoğraf alımı gerçekleştirilebilir.

Uçuşa başlamadan önce Kinematik GPS destekli uçuş yapabilmek için yer GPS istasyonunun kurulması ve ölçüye başlaması gerekir. Uçak havalandıktan sonra da uçakta yer alan GPS açılır.

Programda kaydedilen plan, uçakta yer alan kamera ve GPS sistemi ile birlikte çalışan sisteme girilir ve böylece planın hem pilotun hem de navigatör/fotoğraf operatörünün önündeki ekranda görülmesi sağlanır. Bu şekilde pilot uçağı otomatik olarak istediği kolon üzerinde uçurarak fotoğraf alımını gerçekleştirir. Uçak



belirlenen sınırları aşarak uçuş doğrultusundan saparsa sistem navigatör/fotoğraf operatörüne çekilemeyerek pas geçilen fotoğraf ve/veya kolonları gösterir. Bu şekilde çekilemeyen fotoğraflar tekrar yapılacak uçuşla anında yeniden alınır.

Uçuş tamamlandıktan sonra çekilen fotoğraflara ilişkin bilgiler planlamanın yer aldığı diskete yeniden kaydedilir. Bu disket Fotogrametri Birimine teslim edilir. Söz konusu disket yeniden T-Flight programına girildiğinde yapılan uçuşla ve fotoğraflarla ilgili genel bilgiler ile koordinatlar görülebilir.

Uçuşta elde edilen GPS verileri yerde yapılan GPS ölçüleri ile birleştirilerek Static and Kinematic Positioning – SKIP adı verilen yazılımda işlenerek fotoğraf orta noktalarına ilişkin koordinatlar da elde edilir. Daha sonra bu koordinatlar fotogrametrik nirengi işlemleri sonucunda yapılacak dengeleme işleminde kullanılacaktır.

Uçuş sonuçları incelenir.

Resimlerin çekildiği filmler laboratuarda banyo edilerek her pozdan bir tane kart basılır. Bunlar iş alanının 1/25000 ölçekli haritalarındaki detaylarla karşılaştırılarak, boyuna örtülü kısımlar yan yana dizilir. Böylece kolonların yönleri ve birbirine göre durumları ortaya çıkar. Sonuçlar bir krokide gösterilir. Uçuş sonuçlarının incelenmesinde şu bozukluklarla karşılaşılabilir.



Resim 4.1. Navigatör görev başında.

### Bulutlu Resimler

Havadaki bulutlar yer yüzündeki detayları kapattığı için, resim çekimi, bulutsuz ve berrak havalarda yapılır.

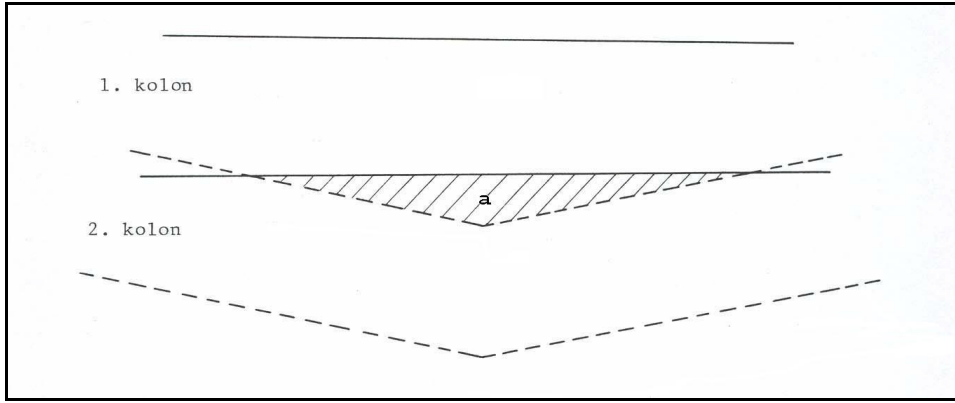
Her ne kadar uçuştan önce iş bölgesindeki havanın çekime elverişli olduğu meteorolojiden öğrenilirse de, bazı durumlarda aniden çıkan bulut parçaları görüntüyü kapatırlar. Bulut kalın ise, altında kalan detay hemen hemen hiç görünmez. Eğer ince ise nispeten görülür.

Böyle resimlerdeki bulutlu bölgeler, elektronik kontak tab makinesi ile nispeten açılabilmekte ve görünür duruma getirilebilmektedir. Bu makine ile de görünür hale

getirilemeyen alanlar değerlendirilemez. Ya arazide yapılan bütünleme ile boş kalan kısım doldurulur veya o bölgede uçuş tekrarlanır.

### Kolon Açıklığı

Resim çekiminde uçak kolon ekseninden kaymışsa ve bu kayıklık enine örtü miktarından fazla ise iki kolon arasında resmi çekilmemiş alanlar kalır kî buna "kolon açıklığı" denilir (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Kolon açıklığı.  
a): Kolon açıklığı

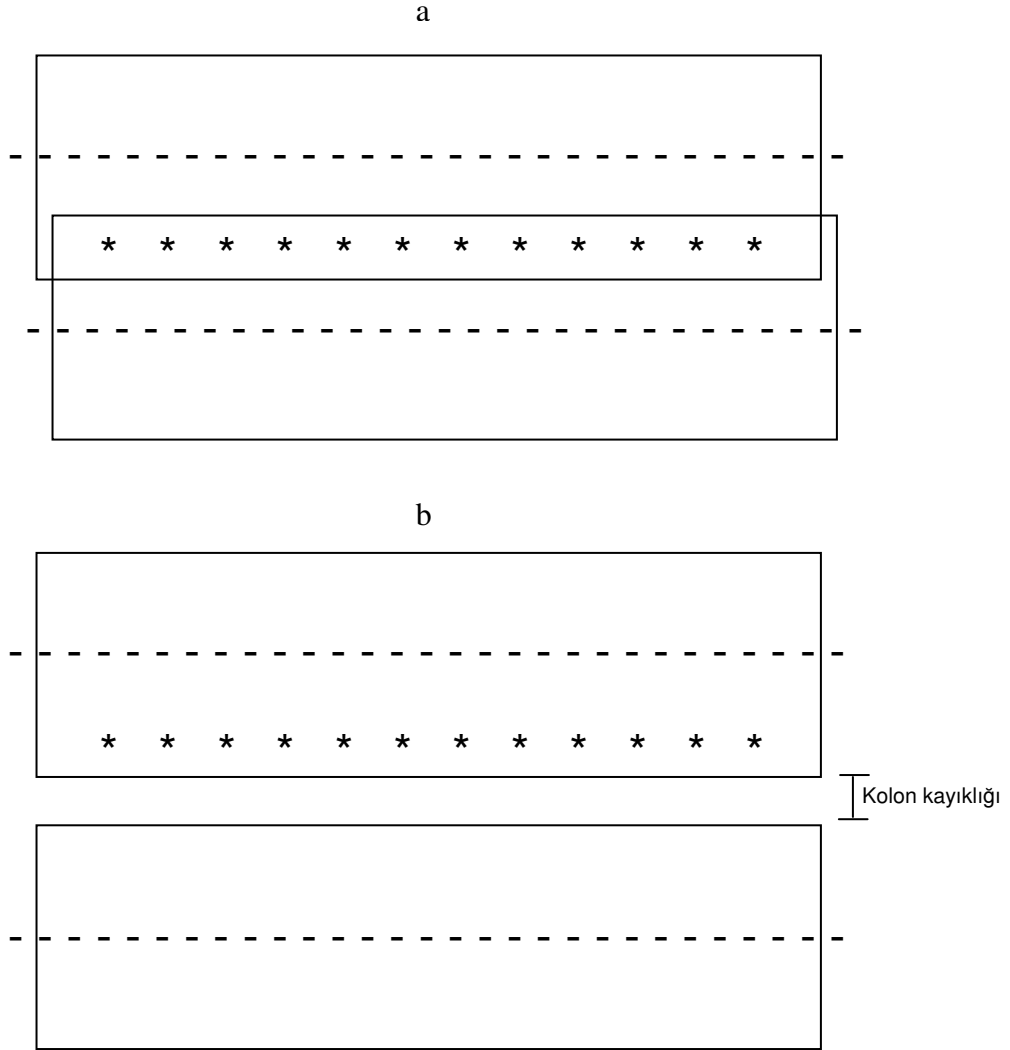
Enine örtü, kolon açıklığına karşı emniyet payıdır. Bu hata, ancak yeniden resim çekilerek giderilebilir.

### Kolon Kayıklığı

Alım ekseninin planlanan kolon ekseninden kaymış olması durumudur. Kolonlar arasında boşluk olmamakla beraber, nirengi sıklaştırması dizi yöntemiyle yapılmış olması durumunda, planlanan yerden uçulmadığı takdirde, modelin bir tarafına hiç yer kontrol noktası girmemekte ve dolayısıyla değerlendirme yapılamamaktadır (Şekil 4.5.).

Bu hata genellikle fotogrametrik nirengi ile modelin diğer taraflarına nokta tesis ederek giderilebilirse de bazen uçuşun yenilenmesi gerekir.

Ancak günümüzde uygulanan sistemde bu hata minimuma indirilmiştir [2].



Şekil 4.5. Kontrol noktaları.

a) Normal durum b)Kayık durum

## 5. UYDU BAZLI NAVİGASYON

Ölçmenin tarihi insanlık tarihi kadar eskidir. İnsanoğlu ilk çağlardan beri “Neredeyim? Varmak istediğim yere nasıl giderim?” gibi sorulara yanıt bulmaya çalışmış ve bu sorulara doğru yanıt verebilmek için birçok sistem geliştirmiştir. Taş devrinde ormanlar ve çöllerde yolun bulunabilmesi için etraftaki detayların tanımlanıp, referans noktası olarak kullanılması en geçerli yöntemdi. Yol üzerine taşlar bırakmak, ağaçları işaretlemek ve dağları referans almak en geçerli navigasyon yöntemi idi. Daha sonra insanoğlunun okyanuslara açılmasıyla birlikte bu yöntemler yetersiz kaldı. Denizlerde görülebilen nesneler güneş, ay ve yıldızlardı. Doğal olarak bunlar referans noktaları oldu ve göksel navigasyon dönemi başladı [16].

Göksel navigasyon, bilinmeyen bölgelerde yer tayin probleminin ilk ciddi çözüm şekli olmuş, yıldızlara özel aletler kullanılarak açılal gözlemler yapılmaya başlanmış, insanoğlu konumunu ve gideceğı doğrultuyu hesaplamaya başlamıştı. Fakat zaman içerisinde bu gözlemlerle elde edilen doğruluklar da gereksinimleri karşılayamaz hale gelmişti. özellikle bu yöntem gündüzleri ve bulutlu gecelerde gerçekleştirilemiyordu. Zamanla teknolojik gelişmelere paralel olarak konum belirleme ve navigasyon sistemlerinde de önemli gelişmeler olmuştur. NDB,VOR, LORAN, OMEGA gibi yer istasyonları yardımı ile navigasyonlar daha kolay hale gelmişti, ancak bunlarında sınırlamalarının olması yeni arayışları hep gündemde tuttu. Bu sınırlamaların üstesinden gelmek için geliştirilen en önemli sistem uydu tabanlı radyo navigasyon sistemleridir. Bunlarda radyo vericileri, yüksek yörüngelerde dolaşarak daha fazla kaplama alanı sağlayan uydulara yerleştirildi. Bu sistemlerde uydular referans noktaları gibi hareket etmekte ve üç boyutlu konumlanmanın yapılabilmesi için onlara olan mesafeler ölçülmektedir. Bir çok deneysel sistemler yardımıyla Amerika Birleşik Devletleri tarafından Global Konumlama Sistemi (GPS), Rusya Federasyonu tarafından ise GLONASS geliştirilmiştir. GLONASS ve GPS birbirilerine çok benzeyen sistemler olmasına rağmen en fazla GPS, 1980’li yıllardan beri dünyada yaygın olarak günlük yaşama girmiştir.

### 5.1. GPS'in Tanıtılması

Transit sisteminin gelişmiş biçimi olan “NAVSTAR/GPS” (Navigation Satellite Timing And Ranging/Global Positioning System) ABD savunma dairesi (Department of Defence) tarafından geliştirilen, anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlemesine olanak veren, hem askeri hem de sivil kullanım alanları olan bir radyo navigasyon sistemidir.

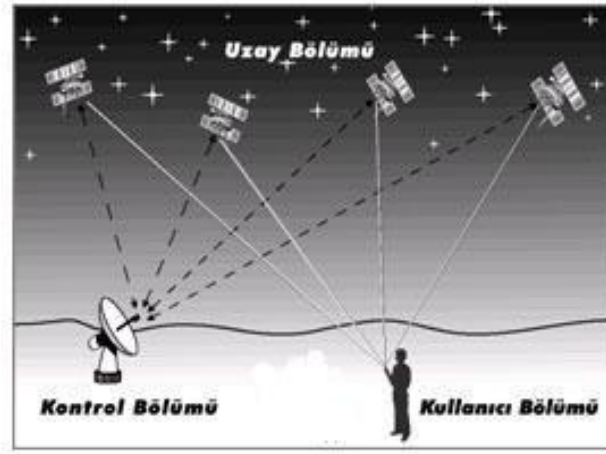
GPS (Global Positioning System) ya da Global konum belirlemesi:

Elinde GPS alıcısı olan herhangi bir kullanıcının uydu sinyalleri yardımıyla;

- Herhangi bir yer ve zaman da
- Her türlü hava koşullarında
- Global bir koordinat sisteminde
- Yüksek duyarlılıkta
- Ekonomik olarak
- Anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlenmesine olanak veren bir radyo navigasyon sistemidir.

### 5.2. GPS'in Bölümleri

ABD, Los Angeles Hava Üssünde kurulmuş olan Ortak Program Bölümünün (JPO, Joint Program Office) sorumluluğunda geliştirilen GPS sistemi üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar uydulardan oluşan *Uzay Bölümü*, tüm sistemi yöneten *Kontrol Bölümü* ile alıcıların bulunduğu *Kullanıcı Bölümü*dür (Şekil 5.1.), (Şekil 5.2.).



Şekil 5.1. GPS'in bölümleri.

### Uzay Bölümü

Uzay Bölümü ekvator ile 55 derecelik eğim yapan 6 yörünge düzlemi üzerine yerleştirilmiş 21 esas ve 3 yedek olmak üzere toplam 24 uydudan oluşmaktadır. Yedek uyduların amacı, esas (aktif) uydulardan herhangi birinde sorun olması halinde bunun yerine devreye girmek olmakla birlikte günümüzde uyduların tamamı aktif halde olup ölçülerde kullanılmaktadır.

Her bir GPS uydusu;

- Senkronize zaman sinyallerini
- Tüm diğer uydulara ait konum bilgilerini
- Yörünge parametrelerine ait bilgileri iki taşıyıcı frekanstan (L1,L2) yayınlar,
- Kontrol Bölümü tarafından yayınlanan bilgileri alır.

Uzay Bölümünün genel özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir [16];

- Uydular yeryüzünden yaklaşık 20 200 km (yer merkezinden 26 500 km) uzaklıkta olup 11 saat 58 dakikada bir tam devir yaparlar.

- Yeryüzünde herhangi bir yer ve zamanda gözlenebilecek en az uydu sayısı 4 tür ve her bir uydu yaklaşık 5 saat ufuk hattı üzerinde kalır. Türkiye bölgesinde enleme göre değişmekle birlikte gözlenebilen en çok uydu sayısı 10' dur.
- Uydu yörünge zamanı (ortalama yıldız zamanı) ile yer dönmesi (ortalama güneş zamanı) arasındaki yaklaşık 4 dakika /gün fark nedeniyle, yörüngedeki bir gözlemci aynı uyduyu her gün dört dakika erken gözlemektedir.
- Altı farklı tip GPS uydusu mevcut olup, bunlar; Block I, Block II, Block IIA, Block IIR (BlockIIR-M), Block IIF ve Block III uydularıdır.

### Kontrol Bölümü

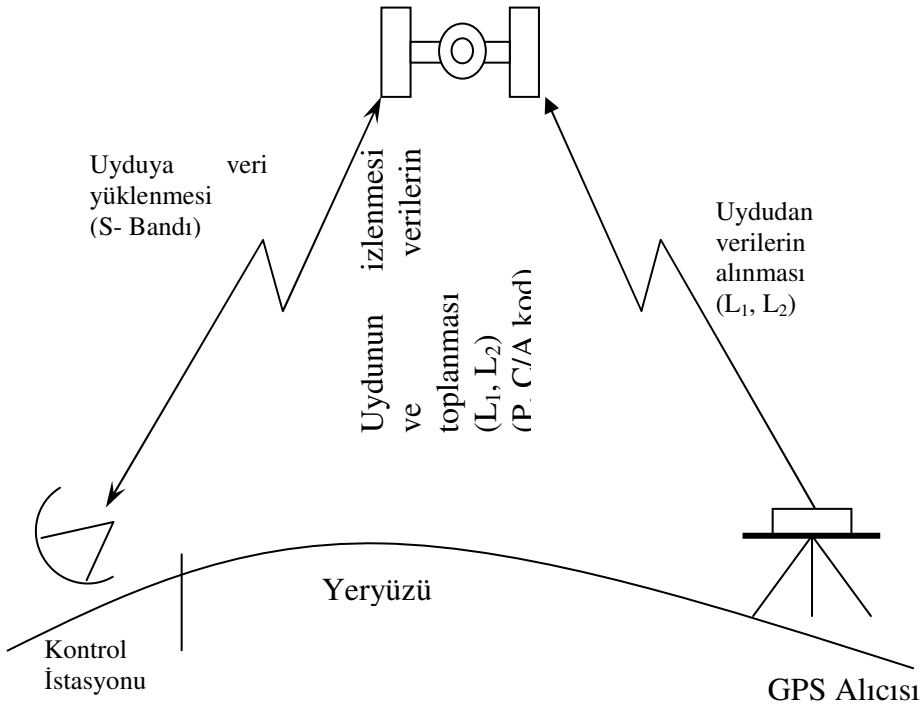
Kontrol Bölümü; Ana kontrol istasyonu, yer antenleri ve izleme istasyonlarını içeren İşletim Kontrol Sisteminden (OCS, Operational Control System) meydana gelmektedir. Tüm GPS uyduları dünya üzerinde uygun dağılmış, çok hassas saatlerle donatılmış, konumu iyi bilinen 6 sabit izleme istasyonundan (Havaii, Colorado Springs, Ascension, Diego Garcia, Cape Canavaral, Kwajelin) izlenmektedir. Bu istasyonlardan Colorado Springs Ana Kontrol İstasyonu; diğerleri ise izleme istasyonlarını oluşturmaktadır. Bu istasyonların amacı, günlük olarak uyduların sağlıklı biçimde çalışmalarını sağlamak, toplanan verilerin irdelenmesi ile uydu yörüngelerinin belirlenmesi, uydu saatlerinin düzeltmelerinin hesaplanması ve yeni hesaplanan yörünge saat düzeltmesi, seçimli doğruluk erişimi (SA, Selective Availability) etkileri gibi bilgilerin uydulara yüklenmesidir Uydulara bilgi yükleme işlemleri günde bir yada iki defa yapılmaktadır.

Uydulara yüklenen Navigasyon Mesajı bilgileri), uydu (Block) modeline bağlı olarak en az 14 günlük en fazla 210 günlük bir süreyi kapsamaktadır. Almanak verileri ise efemeris parametrelerinin bir kısmından oluşmaktadır ve 15 efemeris bilgisinin yalnızca 7 tanesini kapsamaktadır. Almanak verileri tüm uyduların yaklaşık konumlarını hesaplamada kullanılmaktadır.



### Kullanıcı bölümü

GPS sinyallerini konum belirlenmesine dönüştürmek için gerekli aletlerden (alıcı+ anten sistemi) oluşmaktadır. Anlık konum tespiti için kullanıcı 4 veya daha fazla uydudan (3 uydu konum tespiti ve 1 uyduda uydu-alıcı saat farkının çözümü için) gelen sinyalleri ölçerek hem zamanı hem kendisinin üç boyutlu konumunu ve ilave olarak da, şayet hareket halinde ise hızını hesaplayabilir.



Şekil 5.2. GPS kontrol-uzay-kullanıcı bölümleri ilişkisi [16].

*GPS sinyali özellikleri:* Uydulardan yararlanılarak yapılan GPS ölçmelerinde, elektromanyetik dalgalar kullanılarak uydulardan kullanıcılara veri akışı sağlanmaktadır. Her GPS uydusu konum belirleme amaçlı olarak iki temel frekansa sahip olup bunlar L1 (Link 1) ve L2 (Link2)' dir. L1 ve L2 frekansları 10.23 MHz olan temel frekansın 154 ve 120 tam katları alınarak elde edilmiş olup, L1 Frekansı 1575.42 MHz ve L2 frekansı 1227.60 MHz dir. Bunların dışında Kontrol Bölümü ile uydular arasındaki veri akışı S-Bant (1783.74 ve 2227.5 MHz) üzerinden yapılmaktadır.

GPS sisteminde Çift frekans olmasının amaçları;

- L1 frekansının herhangi bir nedenle kesilmesi yada elektronik karıştırmaya maruz kalması durumunda L2 frekansının yedek frekans (back up) görevi görmesi
- Çift frekans özelliğinden yararlanarak iyonosferik düzeltme olanağı sağlaması olarak sıralanabilir.

L1 taşıyıcı frekansı üzerine iki PRN kodu ve Navigasyon Mesajı verileri modüle edilmiştir. Bu PRN kodları C/A (Coarse/Acquisition, Clear/Access) kod ve P (Precise/Protected Code) kod olarak isimlendirilmektedir. L2 taşıyıcı frekansı ise yalnızca tek bir PRN kodu (P-kod) ve Navigasyon Mesajı verileri ile modüle edilmiştir. Bir başka deyişle sivil kullanıcılara açık olan C/A kod yalnızca L1 üzerinde mevcuttur.

“P” kodun askeri kullanıcılara açık olması nedeniyle sivil kullanıcıların tek frekans (L1-C/A kod) kullanabilmeleri ve bu durumda iyonosferik düzeltme olanağı sağlayan çift frekans özelliğinden yararlanamamaları birçok tartışmalara neden olmuştur. (P-kodu gizli değildir ve sivil kullanıma açıktır, fakat ABD istediği an bu kodu gizleme seçeneğini elinde tutmaktadır.

GPS ile konum belirleme ve navigasyon hizmetleri iki farklı kullanıcı seviyesinde sunulmaktadır. Bunlar Standart Konum Belirleme Hizmeti (SPS, Standart Positioning Service) ve Duyarlı Konum Belirleme Hizmeti (PPS, Precise Positioning Service) dir.

PPS, yüksek doğruluklu konum, hız ve zaman belirleme hizmeti olup yalnızca yetkili (Askeri ve güvenlik amaçlı) kullanıcılara açıktır. PPS ile sağlanan konum doğruluğu 16 m.den daha iyi, UTC zaman transferi doğruluğu 100 nanosaniye ve hız doğruluğu 0.1 metre/saniyedir.

SPS ise tüm kullanıcılara açık olup doğruluğu PPS'ten daha düşüktür. SA etkisini 1 Mayıs 2000 tarihinden itibaren kaldırılmasıyla SPS doğruluğu artarak üç boyutlu ortamda, tek alıcı ile 10 –100 m. arasındadır (Şekil 5.4.).

Global Konumlama Sistemi, şimdiye kadar geliştirilmiş olan en doğru konumlama sistemi olmasına rağmen hala önemli sayılabilecek hata kaynakları mevcuttur. İyonosferik ve troposferik gecikmeler, multipath, alıcı saat hatası, yörünge hataları ve uydu sinyal doğruluğunun bilinçli olarak Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından azaltılması anlamına gelen SA bu hata kaynaklarının en önemlileridir. SA en büyük hata kaynağı olmasına rağmen 1 Mayıs 2000 tarihinden itibaren uygulanmaktan vazgeçilmiştir (Şekil 5.3), (Şekil 5.4) [17]. Bu hataların bir çoğu Diferansiyel GPS (DGPS) tekniği yardımıyla azaltılabilmekte veya kaldırılabilir. Bu sayede GPS, gemilerin veya uçakların navigasyonu için kullanılan sistem olmasının yanı sıra çok hassas ölçekte konumlandırma yeteneğine sahip en yaygın ölçme sistemi haline gelmiştir.

DGPS, yüksek performanslı alıcıların konumları bilinen noktalara konması ve uydu sinyallerindeki hataların belirlenmesi esasına dayanır. Referans istasyonun görebildiği bütün uydulara yaptığı mesafe ölçümü, referans istasyonunun bilinen koordinatı yardımıyla hesaplanan gerçek uydu alıcı arası mesafeyle karşılaştırılır. Aradaki fark toplam hatadır. Gözlemlenen her bir uyduya ait hata, veri düzeltme mesajı olarak formatlanıp gerçek zamanlı kullanım için kullanıcılara gönderilebilir veya daha sonra bu düzeltmelerin uygulanması için kaydedilebilir (post-process). Bu diferansiyel düzeltmelerin daha sonra gözlemlenen ilgili uydu alıcı arası mesafelere uygulanmasıyla konum doğruluğu artırılır.

Gerçek zamanlı DGPS uygulaması yapılabilmesi için referans istasyonundaki alıcının bu düzeltmeleri hesaplayıp, yayınlama yeteneğine sahip olması gerekir. Post-process DGPS uygulaması yapmak için ise bir yazılıma ihtiyaç vardır.

### 5.3. GPS Hata Analizi

Global Konum Belirleme Sistemi şimdiye kadar geliştirilmiş olan en doğru konumlama sistemi olmasına rağmen, hala önemli sayılabilecek hata kaynakları mevcuttur. Bu hata kaynaklarının anlaşılması sayesinde, kullanıcı GPS sisteminin kısıtlamalarını ve hata kaynaklarını gidermenin yollarını öğrenebilir. GPS hata kaynakları 7 grupta incelenebilir [18].

- Efemeris Hatası
- Uydu Saat Hatası
- İyonosferik Hatalar
- Troposferik Hatalar
- Multipath Hatası
- Alıcı Hataları
- Uydu Geometrisi

#### Efemeris hatası

GPS Navigasyon Mesajı içerisinde yayınlanan uydu konum bilgilerinin doğruluğunun düşük olduğu ya da kasıtlı olarak yanlış yayınlanması durumunda karşılaşılan hataya denir. Uydu yörüngelerinin çok duyarlı hesaplanması hatayı azaltır. Bu da uydulara etki eden kuvvetlerin çok iyi ölçülmesi yada modellenmesine bağlıdır. Efemeris hatası uydu konum kestiriminin (prediksiyonunun) bir sonucu olduğu için, kontrol istasyonu tarafından uyduya yapılan en son yükleme zamanından uzaklaştıkça artacaktır. Aynı zamanda SA'nın bir kısmı da efemerise eklenmiş olabilir. Efemeris hatası uydu saatiyle korelasyonludur ve P ve C/A kodları için aynıdır ve genelde 3 m'den azdır.

#### Uydu saat hatası

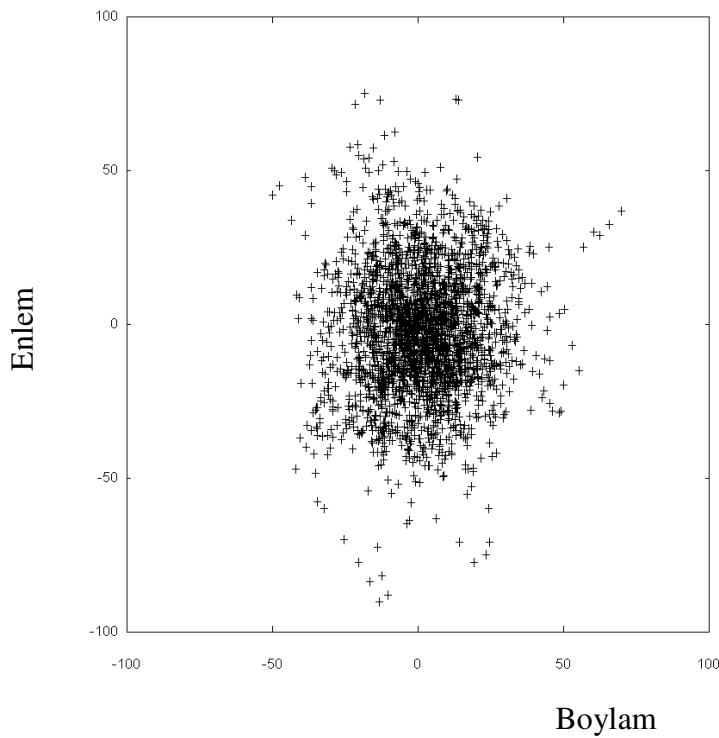
GPS'in temeli tek yönlü mesafe ölçümüne dayanır ve temelde uydu saatinin tahmin edilebilirliğine bağlıdır. Uydu saat hatası P kod ve C/A kod kullanıcılarını aynı

şekilde etkiler. Bu etki uydu doğrultusundan bağımsızdır. Bu diferansiyel GPS tekniği için önemlidir. Çünkü bütün sabit istasyonlar ve kullanıcılar aynı uydu saat hatasını ölçerler.

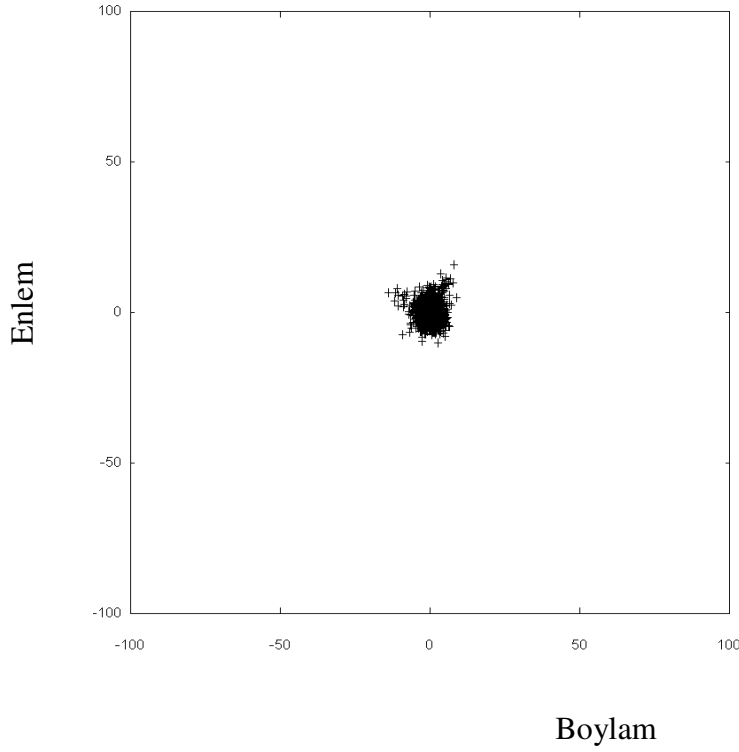
Bu hatanın en büyük kaynağı SA etkisi idi. SA etkisi artık uygulanmadığı ve GPS uydularında stabilitesi yüksek atomik saatler kullanıldığı için, uydu-alıcı uzaklığındaki hataların temel kaynağını uydu ve alıcı saatlerinin GPS zamanına göre yeterli doğrulukta senkronize edilememesi oluşturmaktadır.

### İyonosferik Hatalar

İyonosfer, elektromanyetik dalgaların yayılmasını etkileyebilecek kadar serbest elektron yoğunluğuna sahip üst atmosfer tabakasıdır. (70-3000 km) İyonosferdeki serbest elektronlardan dolayı, GPS sinyalleri iyonosferi geçerken ışığın vakum ortamındaki hızında hareket edemez. Sinyaldeki modülasyonda oluşan gecikme taşıyıcı dalga frekansının tersinin karesi ve karşılaşılan elektron sayısı ile orantılıdır.



Şekil 5.3. SA açıkken nokta konumlama (1 Mayıs 2000).



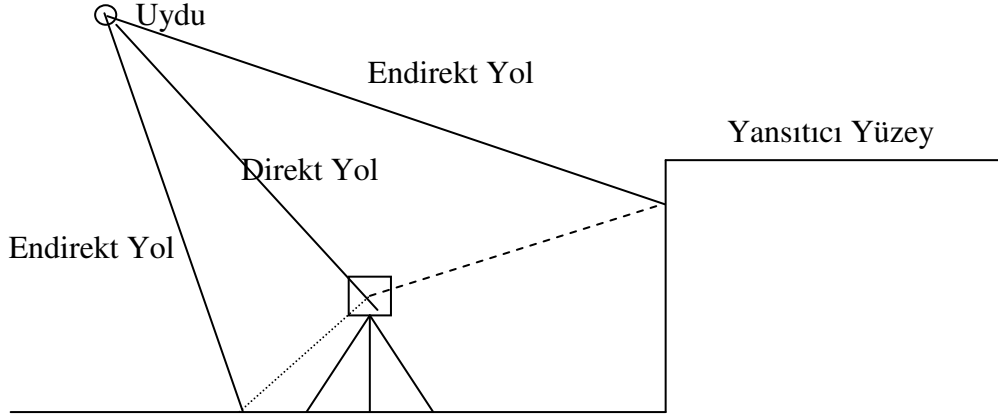
Şekil 5.4. SA kapalıyken nokta konumlama (3 Mayıs 2000).

#### Troposferik hatalar

Troposfer, havanın yeryüzü ile temas halinde olan en alt tabakasıdır. Kalınlığı kutuplarda yaklaşık 8 km, ekvatorda yaklaşık 18 km'dir. Hava olayları genel olarak troposferin 3-4 km lik alt kısımlarında görülmektedir. Nötr (iyonize olmamış) atmosferin radyo frekanslarında yayınlanan elektromanyetik dalgalara olan etkisi troposferik gecikme etkisi (troposferik refraksiyon) olarak isimlendirilmektedir. Nötr atmosfer elektromanyetik dalgaların hızını ve yönünü değiştirir. Bu etki elektromanyetik dalganın yavaşlamasına ve eğilmesine neden olur.

#### Multipath hatası

Multipath hatası adından da anlaşılabilceği gibi uydu tarafından yayınlanan sinyalin alıcıya birden fazla yoldan gitmesi demektir. Multipath genellikle alıcı yakınındaki yansıtıcı yüzeyler nedeniyle oluşur (Şekil 5.5.).



Şekil 5.5. Multipath etkisi.

Şekil 5.5.'de görülebileceği gibi sinyal alıcıya üç değişik yoldan varmaktadır. Biri direkt, ikisi dolaylı yollardır. Uydulardan yayınlanan sinyallerin yeryüzünde herhangi bir noktada kurulu olan antene, bir veya daha fazla sayıda yol izleyerek ve esas sinyale karışarak ulaşmasına sinyal yansıma etkisi (multipath) etkisi denir. Farklı geometrik durumlardan dolayı multipath etkinin genel bir modeli yoktur.

#### Alıcı hataları

Bu kategori termal gürültü, yazılım doğruluğu ve kanallar arası kayıklıklardan kaynaklanan alıcı ölçümlerindeki hataları içermektedir. Modern çip teknolojisiyle birlikte üç veya daha fazla izleme kanalını bir tane ucuz çipe yerleştirme imkanı ortaya çıkmıştır. Boyut ve maliyet düştüğü için yeni teknikler gelişmiş ve 5-6 kanallı alıcılar yaygın hale gelmiştir. Bir çok modern alıcı tekrar oluşturulmuş taşıyıcıyı kullanarak kod izleme döngülerine yardımcı olmaktadır. Bu 0.3 m'den daha iyi bir duyarlılık sağlamaktadır. Kanallar arası kayıklık dijital örnekleme ve tamamen dijital tasarımlar yardımıyla en aza indirgenmiştir.

Eski tasarımlardaki alıcı yazılımının sınırlı duyarlılığı hatalara katkıda bulunuyordu. Bu teknoloji 8-bit mikroişlemciye dayanmaktaydı. Uydulara olan 20 milyon metrelik

mesafede  $1:10^{10}$  veya daha iyi bir duyarlılığa ihtiyaç vardır. Modern mikroişlemciler bu duyarlılığı sağlamaktadır.

### Uydu geometrisi

GPS'in doğruluğu, yukarıda bahsedilen mesafe ölçümündeki hataların uydu geometrisinin bozucu etkisiyle çarpımı olarak da görülebilir. Bu yüzden basitleştirilmiş ilişki şu şekilde gösterilebilir.

$$\text{Konum Hatası} = \text{Geometrik Bozukluk} \times \text{Mesafe Ölçüm Hatası}$$

Geometrinin etkisi Geometrik Hassasiyet Bozukluğu (GDOP) parametreleriyle ifade edilmektedir. Bu parametreler üç boyuttaki hassasiyet bozulmasını yansıtan PDOP'u; yatay boyuttaki hassasiyet bozulmasını yansıtan HDOP'ı; düşey boyuttaki hassasiyet bozulmasını yansıtan VDOP'ı ve zamandaki hassasiyet bozulmasını yansıtan TDOP'ı içerir. GDOP parametrelerindeki küçük değerler uyduların gökyüzünde uygun dağılımına ve aynı zamanda konum hesaplamasında küçük hatalara işaretir. Şekil 5.6 zayıf ve güzel uydu geometrisini göstermektedir [17].

DOP faktörleri yalnızca navigasyon amaçlı kullanılmayıp, birçok konum belirleme uygulamasında kullanılmaktadır.



Çizelge 5.1. DOP faktörleri [19].

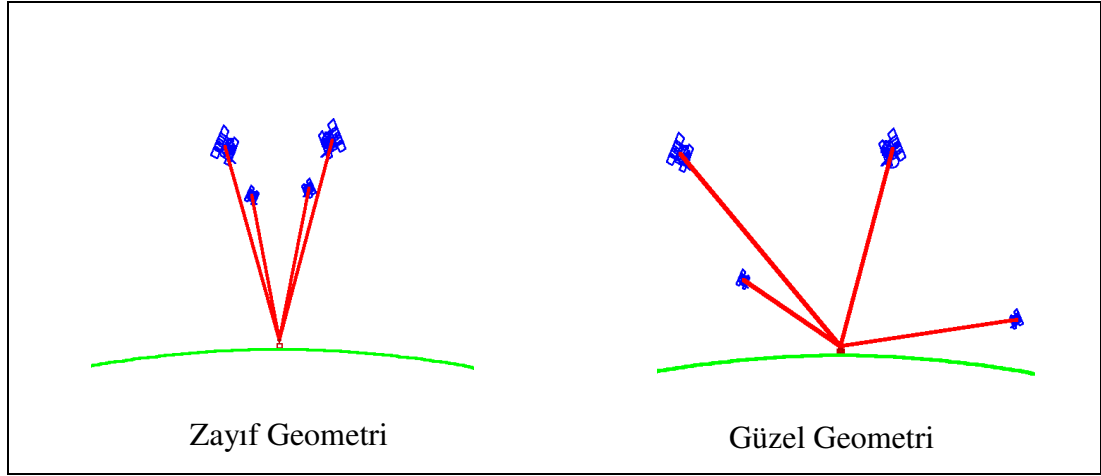
| Kısa Adı | Acık Adı                         | Etkilediği Büyüklük              | Kullanım Alanı                                                  |
|----------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| GDOP     | Geometric Dilution Of Precision  | Koordinatlar(X,Y,Z)<br>Zaman (T) | Teorik ve Bilimsel Çalışmalarda                                 |
| PDOP     | Position Dilution Of Precision   | Koordinatlar (X,Y,Z)             | 3 Boyutlu Konumun önemli olduğu Uygulamalarda (ör. Havacılık)   |
| HDOP     | Horizontal Dilution Of Precision | Yatay Koordinatlar (X,Y)         | Denizcilik İle ilgili Uygulamalarda                             |
| VDOP     | Vertical Dilution Of Precision   | Yükseklik (Z)                    | Yükseklik Bilgisinin önemli Olduğu Uygulamalarda (ör.Havacılık) |
| TDOP     | Time Dilution Of Precision       | Zaman (T)                        | Zaman Transfer Uygulamalarda                                    |

NATO standartlarına uygun olarak kabul edilen DOP değerleri aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Çizelge 5.2. DOP değerleri [19].

|      |                                    |                                      |
|------|------------------------------------|--------------------------------------|
| PDOP | İyi<br>Dikkatli olmalı<br>Kullanma | PDOP < 6<br>PDOP = 6-10<br>PDOP > 10 |
| HDOP | İyi                                | HDOP ≤ 4                             |
| VDOP | İyi                                | VDOP ≤ 4,5                           |
| TDOP | İyi                                | TDOP ≤ 2                             |

Mevcut uydu konfigürasyonu ile herhangi bir kullanıcı, dünya üzerinde aynı anda sekiz veya daha fazla uyduyu aynı anda gözlemleyebilir. Buna rağmen, alıcıların yerleşim alanlarında kullanılması çukur veya vadi içinde kalması gibi durumlarda uydu görünürlüğünün engellenmesi nedeniyle zayıf uydu geometrisiyle karşılaşılabilir.



Şekil 5.6. Uydu geometrisi.

#### Standart hata çizelgeleri

Yukarıda belirtilen hata kaynakları aşağıdaki çizelgeler yardımıyla özetlenebilir. Her bir hata sistematik ve rastgele hata olarak ifade edilmiştir. Toplam hata ise bu iki bileşenin karelerinin toplamının karekökü olarak hesaplanmıştır. Her bir hata bileşeninin birbiriyle korelasyonsuz olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 5.3’de SA’in kapalı olduğunu varsaymaktadır. Sonuç olarak çizelgeden de görülebileceği gibi 2,1 m.’lik uydu saat hatası en büyük hata kaynağı değildir. Görüldüğü gibi en büyük hata kaynağı iyonosferin eksik modellenmesidir (4,0 m). Bu yüzden bütün dünyadaki sivil konumlama hatası yatayda yaklaşık olarak 10 m.’dir

Çizelge 5.4. SA’in etkisini göstermektedir. Yanlış modellenmiş uydu saati hata kaynaklarının en büyüğü oluşturmaktadır. Bu durumda bütün hata kaynakları ihmal edilebilir. Bu durumda yatay konumlamada beklenen hata 41 m.’dir [17]. Eğer diferansiyel düzeltmeler kullanılırsa, SA hatası tamamen ortadan kaldırılabilir. Fakat düzeltmelerin yeterli sıklıkta ve hızda gönderilmesi gerekir.

Çizelge 5.3. SA kapalı durumdayken hata çizelgesi [17].

| Hata Kaynağı                  | 1-Sigma Hata (m) |               |        |
|-------------------------------|------------------|---------------|--------|
|                               | Sistematik Hata  | Rastgele Hata | Toplam |
| Efemeris Verisi               | 2,1              | 0,0           | 2,1    |
| Uydu Saati                    | 2,0              | 0,7           | 2,1    |
| İyonosfer                     | 4,0              | 0,5           | 4,0    |
| Troposfer                     | 0,5              | 0,5           | 0,7    |
| Multipath                     | 1,0              | 1,0           | 1,4    |
| Alıcı                         | 0,5              | 0,2           | 0,5    |
| Kullanıcı Mesafe Hatası, rms  | 5,1              | 1,4           | 5,3    |
| Düşeyde 1-sigma Hata-VDOP=2,5 |                  |               | 12,8   |
| Yatayda 1-sigma Hata-HDOP=2,0 |                  |               | 10,2   |

Çizelge 5.4. SA açık durumdayken hata çizelgesi [17].

| Hata Kaynağı                  | 1-Sigma Hata (m) |               |        |
|-------------------------------|------------------|---------------|--------|
|                               | Sistemantik Hata | Rastgele Hata | Toplam |
| Efemeris Verisi               | 2,1              | 0,0           | 2,1    |
| Uydu Saati                    | 20,0             | 0,7           | 20,0   |
| İyonosfer                     | 4,0              | 0,5           | 4,0    |
| Troposfer                     | 0,5              | 0,5           | 0,7    |
| Multipath                     | 1,0              | 1,0           | 1,4    |
| Alıcı                         | 0,5              | 0,            | 0,5    |
| Kullanıcı Mesafe Hatası, rms  | 20,5             | 1,4           | 20,6   |
| Düşeyde 1-sigma Hata-VDOP=2,5 |                  |               | 51,4   |
| Yatayda 1-sigma Hata-HDOP=2,0 |                  |               | 41,1   |

Mart 1996'da ABD başkanlık karar yönergesi ile GPS'in sivil kullanımına barış zamanında tam ve kesintisiz erişim garantisi verilmiştir. Buna bağlı olarak Mayıs 2000 'den itibaren SA kaldırılmıştır [17].

#### 5.4. Diferansiyel GPS (DGPS)

GPS ile elde edilen anlık doğruluk bir çok amaç için yeterli olmakla birlikte bazı navigasyon uygulamalarında (örnek: deniz ve hava araçlarının navigasyonu) daha yüksek doğruluklara gereksinim duyulmaktadır. Bu ise mevcut GPS sisteminden anlık konum belirlemede yararlanabilme olanaklarını kısıtlamaktadır.

DGPS tekniğinde biri sabit (reference base) diğeri gezen (roving) olmak üzere en az iki alıcıya gereksinim vardır. Sabit alıcı anteni, konumu daha önceden duyarlı olarak



bileşenini belirler ve görüşündeki bütün GPS uydularına düzeltme hesaplar. Bu düzeltmeler bütün kullanıcılara uygun iletişim aracı kullanılarak gönderilir (Gerçek Zamanlı DGPS) veya daha sonra kullanmak amacıyla kaydedilebilir.

DGPS ile elde edilen konum doğrulukları, yalın GPS ile elde edilen doğruluktan çok daha iyidir. Bu teknikte GPS sisteminin performans ve doğruluğunu düşüren hata kaynaklarının belirli bir alan içerisindeki tüm kullanıcılar için ortak olduğu varsayılmaktadır. Başka bir deyişle, DGPS tekniğinde referans ve gezen alıcı arasındaki ortak sistematik hataların giderilmesi yada en aza indirilmesi söz konusudur.

Bazı hata kaynaklarının belirli bir alan içerisindeki tüm kullanıcılar için ortak olduğu varsayılmaktadır. Başka bir deyişle, DGPS tekniğinde referans ve gezen alıcı arasındaki korelasyonlu (ortak) sistematik hataların giderilmesi yada en aza indirilmesi söz konusudur. Daha önce de ifade edildiği gibi SA etkisinin uygulanmadığı durumlarda anlık GPS gözlemi ile elde edilebilecek pseudorange doğruluğu yaklaşık 20-25 m.dir [20].

| Hata Kaynağı                          | Hata Büyüklüğü (metre; $1\sigma$ ) |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| Efemeris Hatası                       | 2,1                                |
| Uydu Saati Hatası                     | 20,0                               |
| iyonosfer                             | 4,0                                |
| Troposfer                             | 0,7                                |
| Sinyal Yansıması (multipath)          | 1,4                                |
| Alici Ölçü Hatası                     | 0,5                                |
| Sabit Nokta Konum Hatası              | 0,0                                |
| Pseudorange Hatası; UERE(RMS)         | 2,,6                               |
| $1\sigma$ Düşey Konum Hatası VDOP=2.5 | 51,4                               |
| $1\sigma$ Yatay Konum Hatası HDOP=2.0 | 41,1                               |

Çizelge 5.5.'den de görüldüğü gibi, GPS ile konum belirlemede uydu saati hatası ana hata kaynağıdır. Bu ise SA etkisinin uygulanmasının (clock dithering) kullanıcılar açısından ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. SA etkisi artırıldıkça elde edilecek pseudorange ve konum doğrulukları da o ölçüde kötüleşecektir.

DGPS uygulaması ile elde edilen sonuçlar, SA uygulansın yada uygulanmasın, yalın GPS' den elde edilen doğrulukların çok üzerinde olmaktadır. Çizelge 5.6.'da referans istasyonundan yaklaşık 50 km. uzaklıktaki bir SPS kullanıcı için elde edilen DGPS doğrulukları verilmiştir.

Çizelge 5.6. DGPS doğrulukları (SPS Kullanıcısı İçin).

| Hata Kaynağı                             | Hata Büyüklüğü (metre; $1\sigma$ ) |
|------------------------------------------|------------------------------------|
| Efemeris Hatası                          | 0,0                                |
| Uydu Saati Hatası                        | 0,7                                |
| İyonosfer                                | 0,5                                |
| Troposfer                                | 0,5                                |
| Sinyal Yansıması (multipath)             | 1,4                                |
| Alıcı Olcu Hatası                        | 0,2                                |
| Referans Noktası Konum Hatası            | 0,4                                |
|                                          |                                    |
| Pseudorange Hatası; UERE (RMS)           | 1,8                                |
| $1\sigma$ Düşey Konum Doğruluğu VDOP=2.5 | 2,8                                |
| $1\sigma$ Yatay Konum Doğruluğu HDOP=2.0 | 2,2                                |

### 5.5. DGPS Düzeltmelerini Hesaplama Yöntemleri

DGPS tekniğinde düzeltmeler iki farklı şekilde hesaplanmaktadır. İlk ve en kolay yöntem doğrudan koordinatlara düzeltme getirmektir. Buna konum düzeltme yöntemi adı verilmektedir. Bu yöntemde sabit (referans) alıcı, gözlem yaptığı uydulardan yararlanarak kendi konumunu (enlem, boylam, yükseklik) hesaplar, bunu duyarlı olarak bilinen konumu ile karşılaştırır ve aradaki fark gezen alıcı/alıcılar tarafından hesaplanan konumlara düzeltme olarak getirilir. Sabit alıcı ile gezen alıcılarının özellikle uzun mesafelerde farklı uydulara gözlem yapma olasılığı nedeniyle bu yöntem uygulamada tercih edilmemektedir. Örneğin, sabit istasyon 8 uyduya eş zamanlı gözlem yapmışsa 70 değişik 4'lu uydu konfigürasyonu hesaplayıp yayınlamak zorundadır. Bu ise zaman alıcı ve yorucu bir işlemdir.

İkinci ve en çok tercih edilen yöntem, düzeltmelerin her bir uyduya yapılan pseudorange ölçülerine getirilmesi yöntemidir. Bu düzeltmelere "delta pseudorange" ya da "pseudorange düzeltmeleri" adı verilmektedir. Bu yöntemde kısaca, sabit istasyonda bilinen koordinatlar yardımıyla, gözlem yapılan her bir uyduya olan gerçek uzaklıklar (pseudorange) hesaplanır. Bu uzaklıklardan, gözlem yapılarak elde edilen ölçülmüş uzaklıklar çıkarılarak pseudorange düzeltmeleri hesaplanmış olmaktadır.

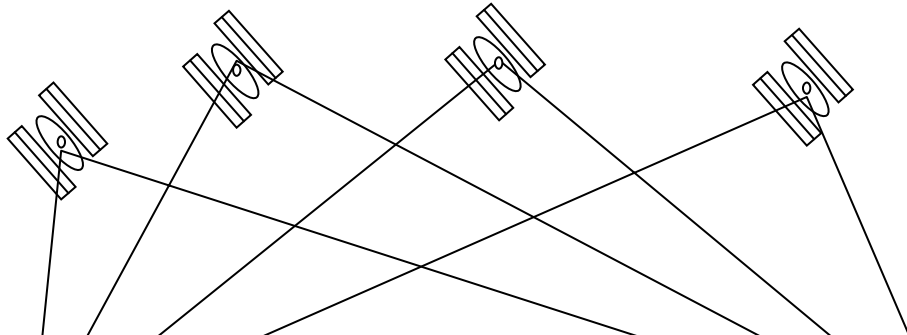


Söz konusu diferansiyel düzeltmeler konumu belirlenecek noktalardaki gezen alıcılara iki şekilde getirilmektedir. Bunlar,

- Anlık (real-time) diferansiyel düzeltme
- Gözlem sonrası değerlendirme (post-process) ile diferansiyel düzeltmedir.

Anlık diferansiyel düzeltmelerdeki temel prensip, gözlem sonrası düzeltme ile aynı olup aradaki en önemli fark, alıcılardaki gözlemler büroda hesaplama amacıyla bilgisayarlara aktarılmaktadır. Bu düzeltme değerleri sabit istasyonda anlık olarak hesaplanmakta ve bazı özel yöntemler kullanılarak gezen alıcılara doğrudan aktarılmaktadır (Şekil 5.8.).

Kısaca, Anlık DGPS yönteminde sabit noktadaki alıcı gerekli düzeltmeleri her bir uydu için hesapladığı an bunları yayınlar. Bu yayınlar ise gezen alıcılar tarafından alınarak kendi konumlarına düzeltme olarak getirilir ve böylece çok kısa zaman aralıklarında gezen alıcının konumu doğru olarak belirlenmiş olmaktadır. Bu yöntem özellikle uçak, gemi gibi hareketli (dinamik) platformlardaki kullanımlarda çok önemlidir. Sabit istasyonda hesaplanan düzeltmeler, diğer alıcılara özel amaçlı bir telsiz yada cep telefonu uydu vb. vasıtasıyla gönderilmekte ve bu yayınlar gezen alıcılarda da mevcut olan aynı özellikteki telsizler vasıtasıyla alınmaktadır.



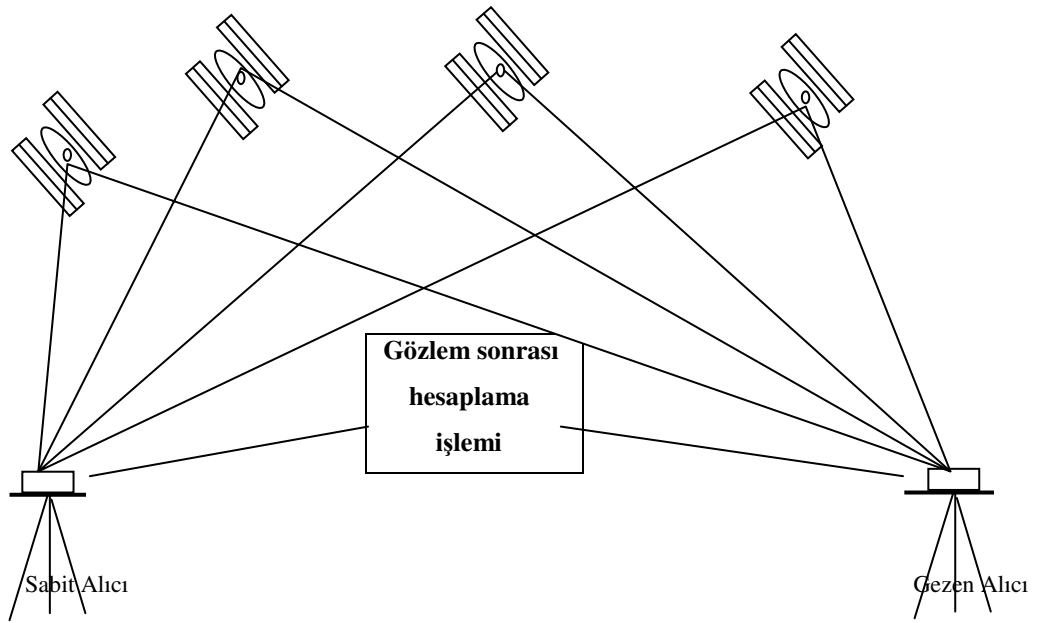
### Gezen Alıcı

Şekil 5.8. DGPS' de temel prensip.

Bu telsizlerle gönderilen düzeltmeler kullanıcının belirlediği bir formatta olabilmektedir. Ancak, bir standart sağlamak amacıyla bu düzeltmeler uluslararası bir standart olan RTCM-SC 104 (Radio Technical Commission for Marine Services Special Committee 104) formatında yayınlanmaktadır. Bu yöntemde, sabit alıcı pseudorange düzeltmelerinin yanında bunların değişim oranını da (RRC; Range Rate Correction) yayınlamaktadır. Böylece, gezen alıcılar, sabit alıcıdan bir sonraki düzeltme değerini alana kadar arada geçen süre içerisindeki konumlarını da bu orandan yararlanarak hesaplayabilmektedir. İki düzeltme yayını arasındaki süre uygulama alanına göre değişmektedir. Örneğin, sivil yolcu uçakları için bu süre 6 saniyeden az olmalıdır.

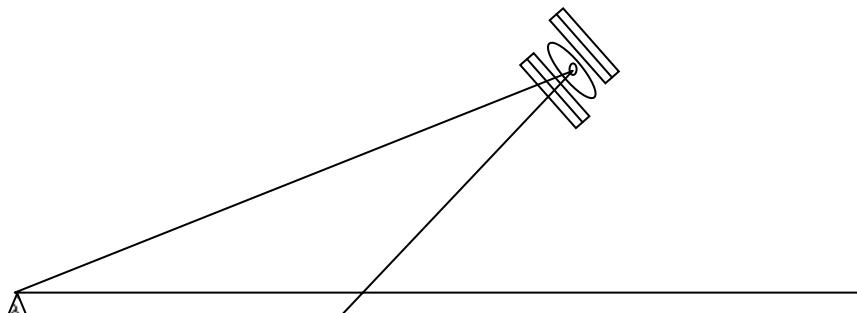
Gözlem sonrası değerlendirme yönteminde ise sabit alıcı her bir uydu için hesapladığı düzeltmeleri hafızasına kaydeder. Gezen alıcı da kendi hesapladığı konumları hafızasına kaydeder. Daha sonra her iki alıcı tarafından kaydedilmiş veriler DGPS yazılımı kullanılarak değerlendirilir ve gezen alıcının kaydettiği verilere gerekli düzeltmeler getirilir (Şekil 5.9.). DGPS yönteminin daha güvenilir sonuçlar vermesi için sabit alıcının, gezen alıcının gözlem yaptığı aynı uyduları kapsayan bir uydu kümesine gözlem yapması gereklidir. Bunun için sabit alıcının veri toplama yükseklik açısı gezen alıcınınkinden daha düşük olmalıdır. Böylece belirli uzaklıklar için (yaklaşık 50 km) gezen alıcılar tarafından gözlenen tüm

uyduların sabit alıcı tarafından da gözlenmesi sağlanacaktır. Genel bir kural olarak gezen alıcının veri toplama açısı, sabit istasyondan olan her 100 km uzaklık için, bir derece arttırılmalıdır. Örneğin sabit istasyonda veri toplama açısı 10 derece ise, buradan 500 km. uzaklıktaki bir gezen alıcı için bu değer en az 15 derece olmalıdır (Şekil 5.10.).



Şekil 5.9. Gözlem sonrası hesaplama (Post Processing).

DGPS ile elde edilebilecek doğruluklar sabit alıcı ile gezen alıcı arasındaki uzaklığa bağlı olarak 1-10 m arasında değişmektedir. Bu nedenle uygulamada söz konusu doğruluğun sağlanması için bu uzaklığın 500 km.yi geçmemesi istenmektedir. Uzaklık arttıkça elde edilecek doğruluk da aynı oranda düşecektir [16].





Gezen Alıcı

Şekil 5.10. Sabit istasyon ve gezen alıcı veri toplama yükseklik açısı sınırı.

### 5.6. Ana DGPS Teknikleri

Bir çok DGPS tekniği ve uygulaması olmakla birlikte genel olarak uygulama üç ana sınıfta toplanabilir [20].

#### Geniş alan diferansiyel GPS'i

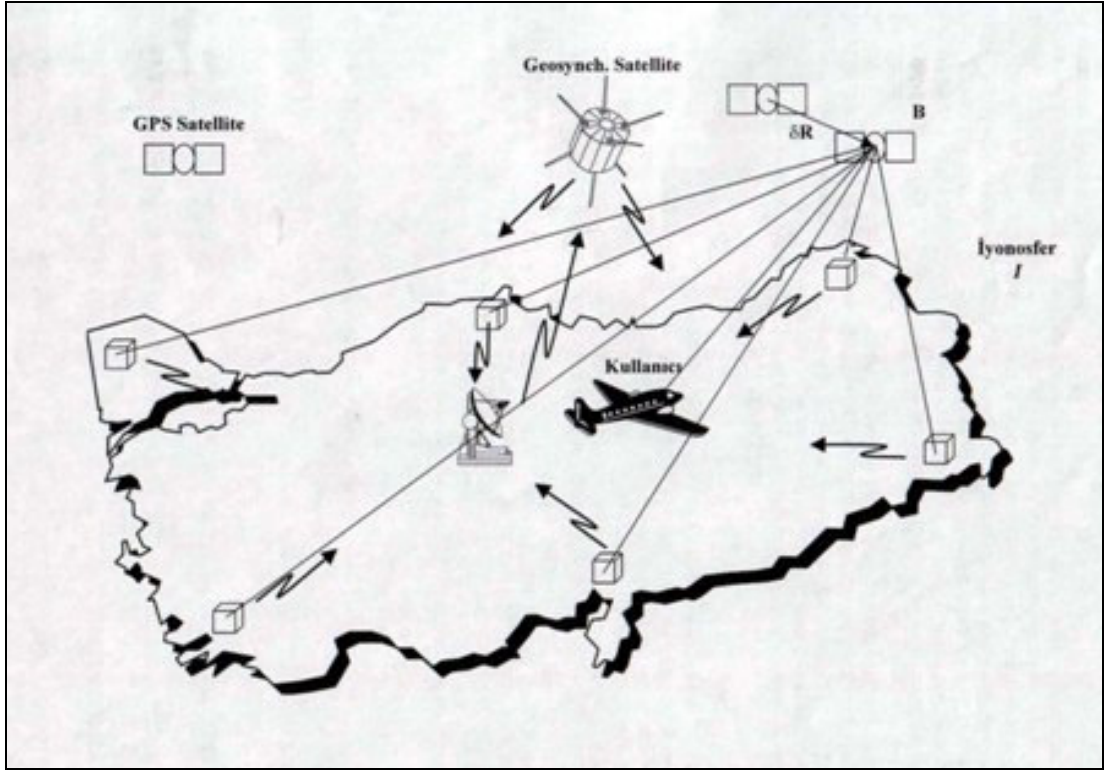
Örnek bir WADGPS ağı Şekil 5.11.'de de görüldüğü gibi en az bir ana merkez istasyon, çok sayıda izleme istasyonu ve haberleşme hatlarından oluşmaktadır. GPS gözlemleri tüm izleme istasyonları tarafından kaydedilerek, ana istasyona gönderilmektedir. GPS hata bileşenleri, istasyonların duyarlı olarak bilinen koordinatları ve toplanan veriler yardımıyla hesaplanır. Hesaplanan bu düzeltmeler uygun bir haberleşme vasıtasıyla ( uydu, radyo modem vs.) kullanıcılara yayınlanır.

Bu sistemde pseudorange hataları bir bütün (skalar bir büyüklük) olarak ele alınmaktadır. Söz konusu hatalar ayrı ayrı bileşenler olarak tüm bölge için geçerli olacak şekilde hesaplanmaktadır. Dolayısıyla, WADGPS den elde edilecek doğruluk kullanıcının (gezen alıcının) referans istasyona olan uzaklığına bağlı değildir. WADGPS ortalama 7 m. civarında hassasiyete ulaşmıştır [21].

Dünyada geliştirilen ve halada geliştirilmekte olan başlıca geniş alan bütünleşik diferansiyel navigasyon sistemleri ;

- WAAS (Wide Area Augmentation System) (USA): Amerika Birleşik Devletlerinin FAA direktifinde sivil havacılık için kurduğu sistemdir. 24 GPS uydusu ve 4 INMARSAT uydusu kullanılarak kurulmuş bir geniş alan diferansiyel ve navigasyon ağıdır.
- EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) (EU): Avrupa birliği komisyonu Avrupa uzay ajansı ve Euro kontrolün ortak uygulamasıdır. 2005 yılından itibaren kullanılmaya başlanacaktır. WAAS ve MSAS ile bağdaşan ve birlikte kullanılabilir şekilde geliştirilen bir sistemdir. GPS, GLONASS, ARTEMIS ve 4 adet INMARSAT uydusu kullanılarak oluşturulacak bir geniş alan diferansiyel ve navigasyon sistemidir.
- MSAS (MTSAT Satellite based Augmentation System) (Japan): Japonya tarafından uygulanan sistemdir. 2 Adet MTSAT ve GPS uydularını kullanarak faaliyet gösteren geniş alan diferansiyel ve navigasyon sistemidir.

2008 yılında GNSS-2 projesi ile GALILEO (Avrupa Uyduları) uydularının devreye girmesi sayesinde yukarıda saydığımız sistemlerin hem kapasitesi genişleyecek hem de entegrasyonu tam olarak gerçekleşerek, global anlamda (bütün dünyada) kullanımı sağlanacaktır.



Şekil 5.11. Örnek WADGPS ağı.

#### Taşıyıcı-Faz diferansiyel GPS'i (CDGPS)

Kullanıcılar, GPS taşıyıcı dalgasının fazını referans istasyondaki taşıyıcı dalga fazına göre ölçerler. Eğer antenler sabit olursa, buna statik ölçü denir ve çok hassas doğruluklar elde edilebilir. Antenler hareket ediyorsa ölçü şekline kinematik ölçü denir.

#### Lokal alan diferansiyel GPS'i (LADGPS)

LADGPS tekniğinde tek bir referans istasyon mevcut olup gezen alıcı arasındaki uzaklık veri aktarımını etkileyen önemli bir kısıtlamadır. Buradaki temel prensip, bazı pseudorange hata kaynaklarının küçük alan içindeki tüm alıcılar için yaklaşık aynı olduğu varsayımına dayanmaktadır. Gezen alıcı referans alıcıya ne kadar yakınsa bu ortak hatalar o kadar büyük oranda giderilmiş olmaktadır.

Başlıca üç ana elemandan oluşur (Şekil 5.6.). Bunlar;

- Referans İstasyon
- Data Link Parçaları
- Kullanıcı Platformu

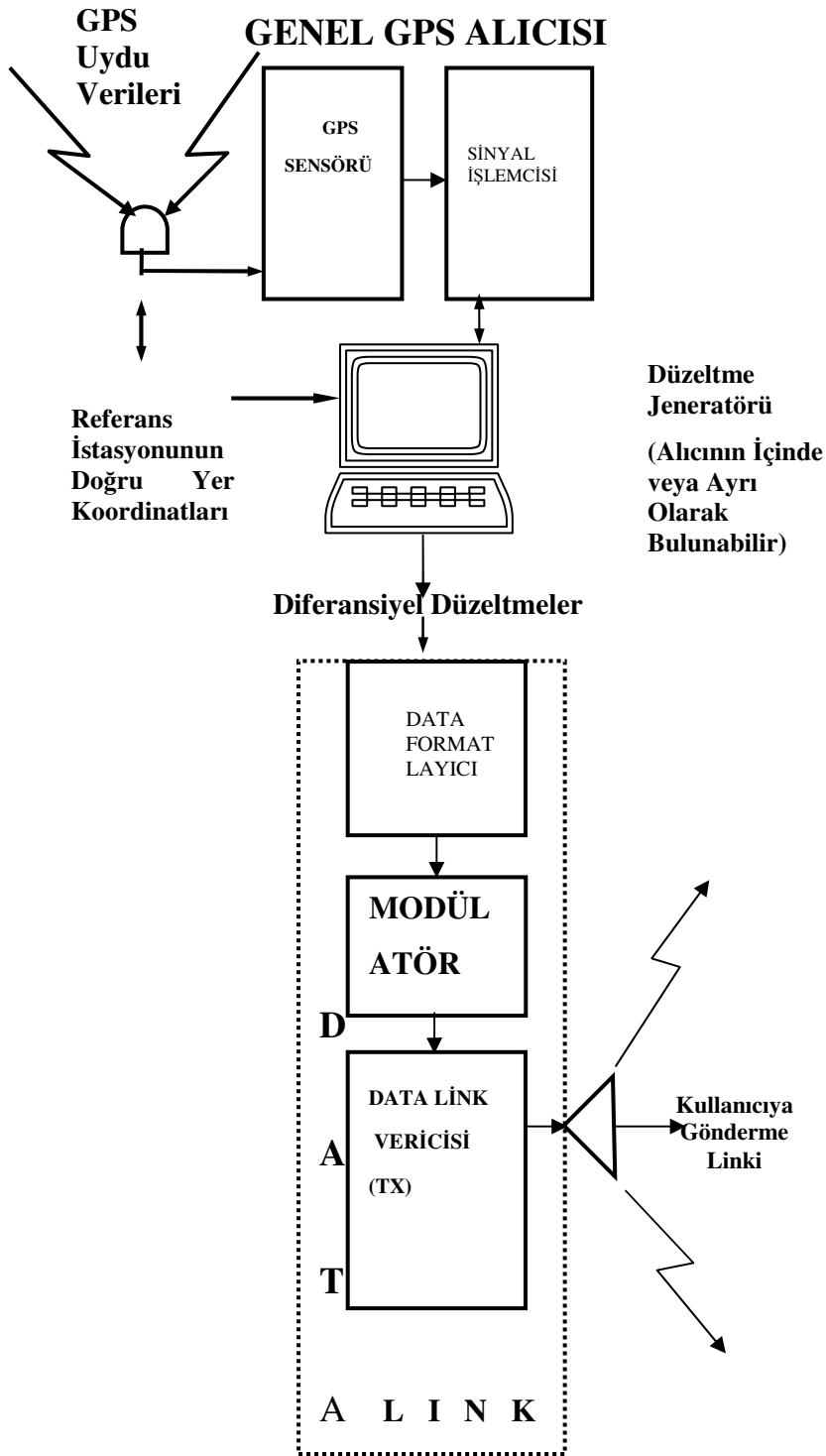
#### *Referans İstasyon*

Yüksek kalitede GPS alıcıları (çok kanallı, sürekli izleyen, RAIM kapasiteli vs.) konumu çok hassas olarak bilinen yere yerleştirilir ki, bunlara referans alıcılar da denir. Bu alıcılar çift frekansa ve yeterli sayıda, istenilen seviyede sıralı girişlere (port) sahiptir. Bu sayede gözlem yaptığı tüm uydulara ait uydu alıcı uzaklıklarını WGS84 Jeodezik sistemde hesaplar. Bu değerleri kendi hassas konumundan yararlanarak hesapladığı (olması gereken) Pseudorange'lerle karşılaştırır, aradaki farklar düzeltme olarak o anda lokal alandaki hava aracına yayınlanır.

Bu referans istasyonlar, tamamlayıcı gözlem teçhizatı ile (RAIM) donatılabilir ki bu durumda bunlara gözlem istasyonları adı da verilir. Bu sayede o anda gözlem yapılabilen aktif çalışır durumdaki uydu sayısı ile ilgili daimi uydu geometrisi ve buna ait doğruluk değerleri alınabilir. Bunlar tamamen yer ekipmanından bağımsız olarak çalışır. Yer teçhizatı tarafından oluşturulan bütün verilerin doğruluğu, veri linklerine gönderilmeden önce gözlemlenir ve bu gözlem teçhizatında eğer arıza varsa hemen veri linki kapatılır (Şekil 5.12.) [22]. Bu işlem 3 sn. içinde pilota iletilmiş olmalıdır [22].

#### *Data link parçaları*

Belirlenen hata düzeltmeleri belirli bir formatta ve kabul edilebilir belirli zaman aralıklarında, bir başka deyişle düzeltme verisi bayatlamadan kullanıcılara ulaştırılmalıdır. Standart sağlamak maksadıyla düzeltmeler uluslararası bir standart olan RTCM-SC 104 formatında yayınlanmaktadır.



Şekil 5.12. DGPS referans istasyon kısmı veri iletişim blok diyagramı.

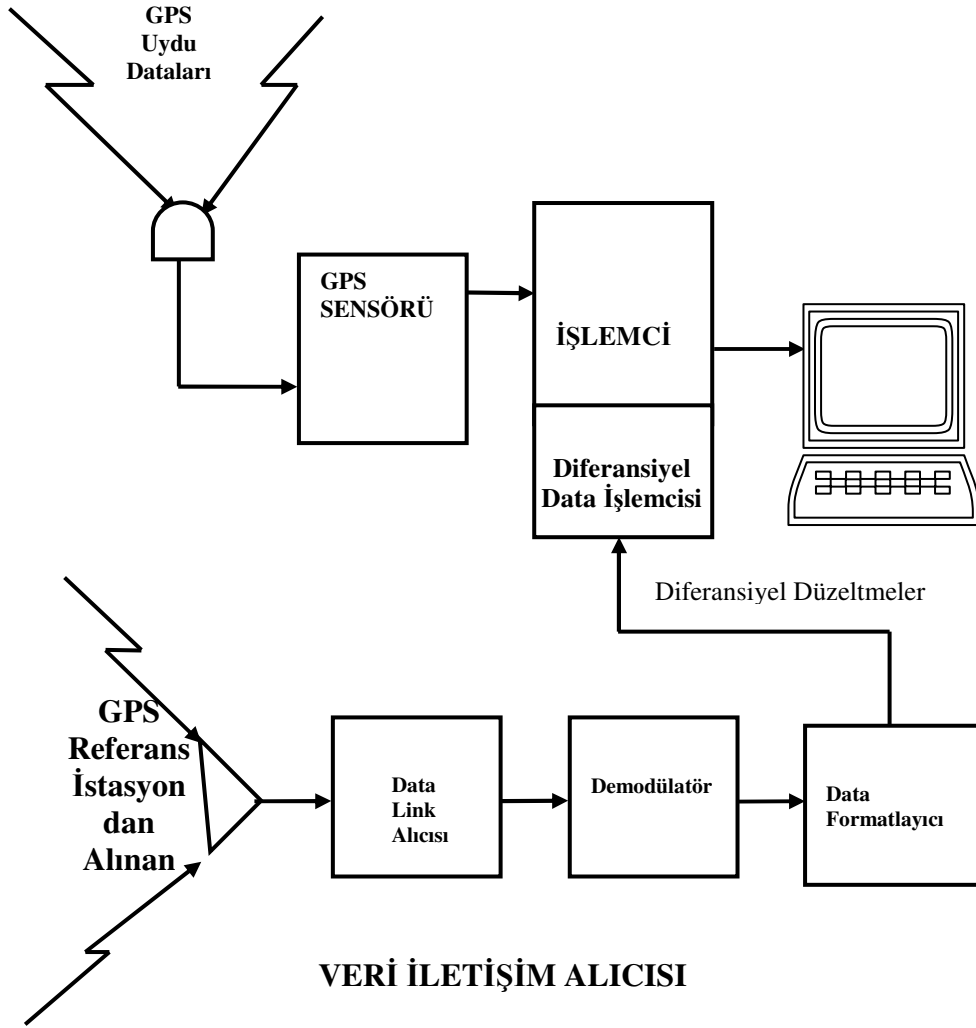


### *Kullanıcı Platformu*

Hangi DGPS sistemi kullanılırsa kullanılsın hava aracı, kendi GPS alıcısına ilave olarak diferansiyel düzeltme bilgilerini alabilecek kapasitede alıcıya ihtiyacı olacaktır. Uçaktaki alıcının başlıca işlevleri; Diferansiyel düzeltmeleri almak, GPS sinyalleri almak, doğru GPS pozisyonu hesaplamak, doğru navigasyonu sağlamak ve navigasyon veri tabanını idare etmek olacaktır. Aynı zamanda tamamlayıcı gözlem teçhizatı ile entegre edilerek yine kendi içinde, 3 sn içinde oluşacak veri arızalarını ikaz edecektir (Böylece herhangi bir işlev bozukluğu sistem içerisinde toplam 6 sn. içinde pilota ikaz edilmiş olacaktır). Bu alıcılar hem uçaktaki GPS, hemde diğer navigasyon teçhizatı (Navigasyon yönetim sistemi, uçuş yönetim sistemi vs.) ile entegre olarak kullanılabilir (Şekil 5.13.) [22].

Lokal alan DGPS tekniğinde, özellikle arazinin, ufuk hattında çok sayıda uydu görmeye engel olduğu coğrafyalarda, uydu gibi yayın yapan yalancı uydu (Pseudolite) adı verilen yer istasyonları da kullanılabilir. Pseudoliteler, aynı uydular gibi L1 ve L2 frekanslarında yayın yapan, uydu sinyallerinin yeterli olmadığı yer ve zamanlarda doğruluğu artırmak için yeryüzüne yerleştirilen yer istasyonlarıdır [23].

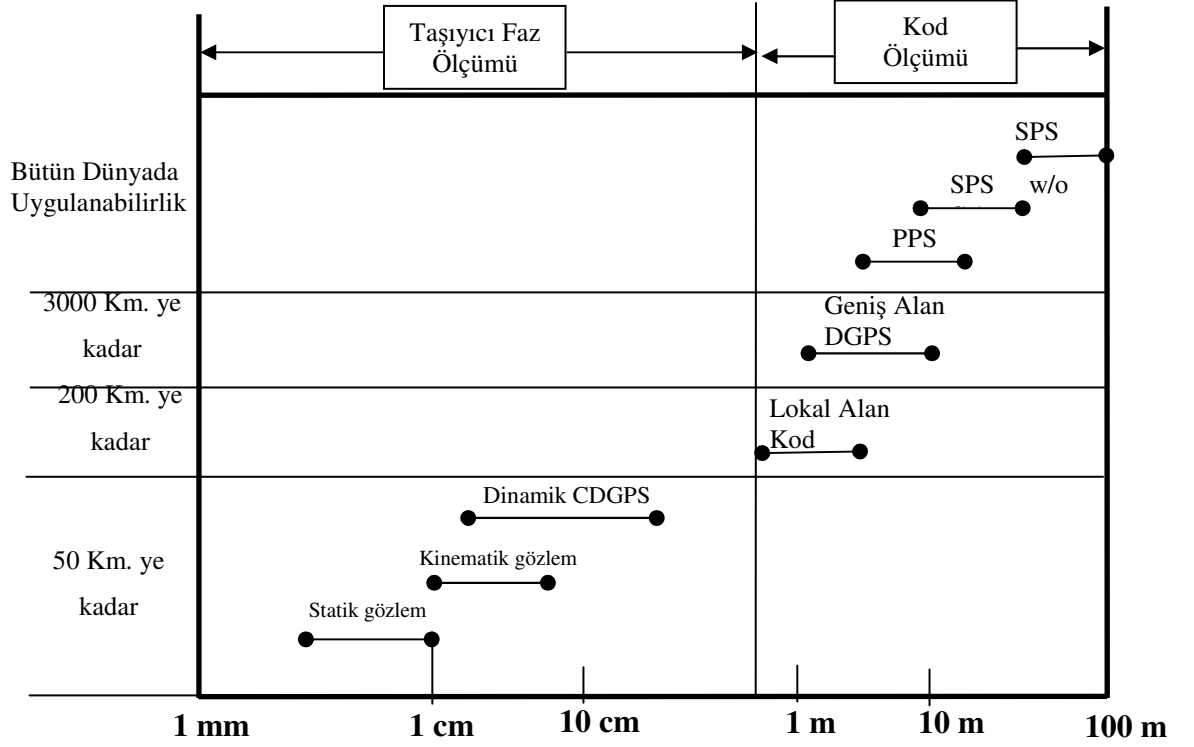
Pseudolite sinyalleri, uydu sinyallerine benzer şekilde, GPS uyduları gibi aynı modülasyonu, kodu ve frekansı kullanırlar, böylece veriler gerçek uydularla bağdaşacak şekilde yayınlanır. Aynı zamanda diferansiyel düzeltmelerde, aynı uydularda olduğu gibi kullanıcılara yayınlanabilir ve bu diferansiyel düzeltmeler yine GPS uyduların da olduğu gibi aynı frekansta yayınlandığı için kullanıcı alıcılarının ilave farklı bir antene, data link alıcısına ve interfaza ihtiyacı yoktur. Bu da donanım yönünden bir avantajdır.



Şekil 5.13. DGPS uçtaki kullanıcı kısmı veri iletişim blok diyagramı [22].

Bu sistemde kullanıcılar, uydulara yaptıkları pseudorange ölçüleriyle konum belirlemesine ilave olarak, pseudolitelara da pseudorange ölçüsü yaparak ilave konum doğruluğu sağlamış olurlar

## YATAY DOĞRULUK



Şekil 5.14. DGPS teknikleri ve doğrulukları [24].

Şekil 5.14’de görüldüğü üzere local DGPS uygulamaları ile uçak navigasyonunu cm doğruluğunda konum bilgileri ile yapma imkanı doğmuştur.

## 6. MEVCUT UYGULAMALAR

Türkiyede havadan fotoğraf alımı; kamu kuruluşu olarak faaliyet gösteren M.S.B Harita Genel Komutanlığı Hava Grup Komutanlığında, Tapu Kadastro Genel Müdürlüğünde yapılmaktadır. Her iki kuruluşta da yan bindirme olarak %30 kullanılmaktadır [25]. Özel sektörde faaliyet gösteren MNG Bilgisayar firmasında da havadan fotoğraf alım yan bindirme oranı %30 olarak uygulanmaktadır [26].

İnternet üzerinden yapılan araştırma ve incelemeler sonucunda dünyada havadan fotoğraf alımı konusunda faaliyet gösteren kuruluşlarda uygulanan yan bindirme oranları Çizelge 6.1’de sunulmuştur. Bu çizelgede görülen yan bindirme oranındaki farklılıklar uçakların navigasyon sistemlerinin hassasiyetleri ile kullanılan hava kameralarının özelliklerinden kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.

Çizelge 6.1. Hava fotoğrafçılığında dünyada uygulanan yan bindirme oranları.

| Sıra No | Firma Kuruluş İsmi                                                                                                                    | Uygulanan Yan Bindirme Oranı |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 1       | Analytical Surveys, England                                                                                                           | %30                          |
| 2       | Bio-Geo-Recon USA                                                                                                                     | % 30                         |
| 3       | Photogrammetric Digital Data Processing of Tsau-Lin Big Landslide Taiwan                                                              | %20-%30                      |
| 4       | Pinnacle Mapping technologies Indianapolis/USA                                                                                        | %20-%30                      |
| 5       | Pacific Western Aerial Surveys USA                                                                                                    | % 30                         |
| 6       | Design Mapping Specifications<br>Office of Aerial Engineering USA                                                                     | %25                          |
| 7       | Cobb County Base Map Georgia/USA                                                                                                      | % 30                         |
| 8       | Keystone Aerial Surveys,Inc USA                                                                                                       | % 30                         |
| 9       | Coleambally<br>HyMap data, Australia                                                                                                  | %25                          |
| 10      | Topographic Surveys, Inc.USA                                                                                                          | % 30                         |
| 11      | AdastrA Aerial Surveys Australia                                                                                                      | %25                          |
| 12      | Remote Sensing Division<br>National Geodetic Survey<br>National Ocean Service<br>National Oceanic & Atmospheric Administration<br>USA | % 30                         |
| 13      | Massachusetts Geographic Information England                                                                                          | %33-%42                      |
| 14      | Management Association for Private Photogrametric Surveyors USA                                                                       | %25                          |
| 15      | Campagnia Generale Ripresearee S.p.A. Italy                                                                                           | % 20                         |
| 16      | Point of Beginning USA                                                                                                                | %30                          |
| 17      | Intermap Technologies Canada                                                                                                          | %25                          |
| 18      | Terrafly USA                                                                                                                          | %25                          |
| 19      | Eldgenössische Technische Hochschule<br>Zürich/Switzerland                                                                            | %35                          |
| 20      | FM-Kartta Oy Finland                                                                                                                  | %25                          |
| 21      | Kampsax Denmark                                                                                                                       | % 30                         |
| 22      | Spencer B. Gross Mapping Aerial Photography<br>Portland                                                                               | % 30                         |

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fotogrametrik harita üretim amaçlı icra edilecek havadan fotoğraf alım uçuşlarının planlanmasında Türkiye’de ve dünyada uzun yıllardır tamamen tecrübi bir oran olan % 30 oranı kullanılmaktadır. Çağımızda gelişen teknolojiye paralel olarak fotoğraf alımında kullanılan uçaklarda çok önemli değişiklikler olmuştur. Uçaklarda kullanılmaya başlanan otopilotlar sayesinde uçak belirli bir irtifada ve belirli bir istikamette pilotların hiçbir çabası olmadan çok büyük bir hassasiyetle düz uçuşlabilmekte ayrıca rüzgar düzeltmesi otomatik olarak hesaplanarak uçağın yeni istikameti kolaylıkla tespit edilerek uçağın fotoğrafı çekilecek kolon üzerinde kolondan çıkmadan uçuşulmasına imkan tanınmaktadır. Ayrıca uçaklarda mevcut olan gelişmiş navigasyon sistemleri ile GPS uydularının kullanılmaya başlanması çok büyük doğrulukla uçağın istenen arazi üzerinde kolon takibini mümkün kılmaktadır. Geçmiş yıllarda kolon takibi uçaktan yeri gören bir teleskop marifetiyle ve göz yordamıyla haritadan arazi takibi ile yapılmakta idi. Fotoğrafı çekilen bir kolondan çıkılıp fotoğrafı çekilecek olan diğer kolona giriş esnasında Navigatör Pilot tarafından navigasyon teleskobu ile arazi izlenmekte ve mevcut harita üzerine çizili kolonlarla arazi karşılaştırılarak uçağı uçuran birinci pilota dönmesi gereken baş söylenerek uçak yönlendirilip uçağın kolona girmesi ve kolon üzerinde kolondan çıkmadan uçuşu sağlanmakta idi. Bu da çok zor zahmetli bir iş yükü gerektirmekte bir çok zaman bir denemede başarılammakta, bundan dolayı havada boşa zaman harcanmakta idi. Otopilot olmadan manuel olarak uçağı uçuran birinci pilotun tek referansı navigatör pilottan aldığı komut olduğundan navigatör pilotun harita okuma ve arazi ile karşılaştırma becerisine göre kolona giriş ve kolon takibi, rüzgar/düşme düzeltmesi zaman ve doğruluk açısından çeşitlilik göstermekte ve çok zor şartlarda icra edilmekte idi. Bunun yanında kabin basıncı olmayan uçaklarla aynı işlemin mürettebatın gaz maskesi kullanarak yapmaya çalışması zorluk katsayısını artırmakta idi.

Günümüzde GPS destekli hassas navigasyon sistemlerine sahip uçaklar ile planlanan uçuş kolonlarını yüksek doğrulukla uçmak mümkün olmaktadır. Yeni teknoloji hava kameraları ve bu kameralara entegre yine GPS destekli fotoğraf uçuş yönetim

sistemleri sayesinde pilota sunulan uçağın uçuş yönetim sistemi haricinde bir gösterge sayesinde kolonun hassas bir şekilde takibi kolaylaşmıştır. Pilot yanlışlıkla kolondan çıktığı takdirde sistem otomatik olarak fotoğraf çekimini kesip pilotu uyarmaktadır. Bundan dolayı çok küçük bir olasılıkla kolondan fotoğraf çekimi esnasında çıkıldığı takdirde kolon açığı eskiden olduğu gibi yerde film banyosundan sonra yapılan dizgi işlemi esnasında değil daha havada tespit edilmekte ve de kolon tekrar uçularak anında önlem alınıp zaman ve maliyat açısından büyük kayıplar önlenmektedir. Son yıllarda ülkemizde yapılan fotogrametrik uçuş görevlerinde kolon açığı problemi ile karşılaşılmamış ve uçuşun tekrarı amacıyla yama uçuşları icra edilmemiştir.

Yine GPS ölçmelerinde, geleneksel jeodezik çalışmalarda gereken dizi veya üçgenleme mecburiyetinin olmaması kontrol noktalarının istenen bölgeye yerleştirilmesinde büyük kolaylık sağlar.

Ülkemizde kullanılan gerek yeni teknoloji navigasyon sistemlerine sahip uçaklar, gerek GPS destekli fotoğraf uçuş yönetim sistemine sahip hava kameralarından dolayı ve de uzun yıllar boyunca hem eski nesil uçak ve hava kameralarıyla hem de son yıllarda sahip olduğumuz yeni teknoloji uçak ve hava kameralarıyla havadan fotoğraf alımında navigatör pilot olarak görev yaparken edindiğim tecrübeye dayanarak yan bindirmenin; zaman ve maddi kayıpların en aza indirilmesi amacıyla %30 olarak uygulanmaktan vazgeçilip, %20 olarak uygulanmasının ülkemizin kıt kaynaklarını daha verimli kullanmak açısından önemli bir tespit olacağı değerlendirilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Falkner, E. "Aerial Mapping Methods and Applications", **CRC Pres.Inc**, Florida, 1-8, 55-70 (1995).
2. "Fotogrametri Ders Kitabı", **Harita Yüksek Teknik Okulu, Harita Genel Komutanlığı**, Ankara 1-6, 53-55, 99-110 (2003).
3. Paul, R.W. "Elements of Photogrammetry", **McGraw-Hill International Editions**, Singapore, 410-420,464-469 (1983).
4. Burnside, C.D. "Mapping From Aerial Photographs", **Granada Publishing Limited**,New York, 22-36 (1980).
5. Kraus, K, Photogrammetry Volume 1", **Ümmler**, Bonn, 108-113 (1980).
6. Finsterwalder, R., Hofman W. "Fotogrametri" Aytaç M.,Örmeci C., Atlan O., **Matbaa Teknisyenleri Basımevi**, İstanbul, 154-176 (1973).
7. "Collins FCS-65 Flight Control System Pilot's Guide", **Collins General Avionics Division/Rockwell International Corporation**, Cedar Rapids, Iowa, 6-10, 25-37 (1989).
8. Parasuraman, R., "Designing automation for human use: empirical studies and quantitative models", **Ergonomics**, 43(7): 31-951 (2000).
9. "FAR/AIM 2003", **Jeppesen Sanderson,Inc.**, Englewood,CO, AIM 1-26 (2002).
10. Sumwalt R., Aug., "Cockpit Monitoring", **Professional Pilot**, 37(8): 60-64 (2003).
11. Edwards, E., "Automation in civil transport aircraft", **Applied Ergonomics**, 8(4):194-198 (1977).
12. Billings, C.E., " Toward a Human –Centered Aircraft Automation Philosophy", **The International Journal of Aviation Psychology**, 1(4): 261-270 (1991).
13. Peters, M., "Evolution of Multi-Model Digital Avionics", **Seagull Technology, Inc.**, ABD,1-27 (2004).
14. Pope, S., "Emerging Cockpit Technology", **Aviation International News**, 37(2): 20-22 (2005).
15. "Pilot's Operating Handbook and FAA Approved Airplane Flight Manual", **Beech Aircraft Corporation**, Kansas, 5-24 (1994).



16. Kahveci M., Yıldız F., "Global Konum Belirleme Sistemi Teori-Uygulama" *Nobel Ltd. Şti.*, Ankara, 22-34 (2001)
17. Şengün Y.S., "Tek alıcılı kullanıcılar için DGPS Düzeltmeleri" Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Blm. Enst.*, İstanbul, 13-15 (2002)
18. Parkinson B.W., Spilker J. J., "GPS Error Analysis", Global Positioning System: Theory and Applications, Volume I, *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, Washington, 478-482 (1996).
19. Parkinson B.W., Spilker J. J., "Overview of GPS Operation", Global Positioning System: Theory and Applications, *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, Washington, 1:5-10 (1996).
20. Parkinson B.W. and Enge, "Differential GPS" Global Positioning System: Theory and Applications, *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, Washington, 2:3-49 (1996).
21. Kee C., "Wide Area Differential GPS" Global Positioning System: Theory and Applications, Volume II, *American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington*, 81-111 (1996).
22. Lenk O., "Local Area DGPS Applications; Secure Navigation along The Bosphorus-İstanbul " Doktora Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi*, İstanbul, 40-44 (1997).
23. Elrod B.D., Van Dierendonck A. J., "Pseudolites," Global Positioning System: Theory and Applications, *American Institute of Aeronautics and Astronautics*, Washington, 2:52-60 (1996).
24. Özenç R. "DGPS (Differential Global Positioning System) Hassas Yaklaşma ve İniş Sistemi Gözlem Sonrası Yoluyla Hesaplaması" Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 30-35 (2003).
25. Yönetmelik, 1547 Sayılı 1/5000 Ölçekli Standart Topografik Fotogrametrik Harita Yapımına Ait Yönetmelik (1926).
26. İnternet, Yan Bindirme [http://www.mngbilgisayar.com.tr/dotnetnuke/Çözümler/HavaFotoğrafçılığı /tabid/97/Default.aspx](http://www.mngbilgisayar.com.tr/dotnetnuke/Çözümler/HavaFotoğrafçılığı/tabid/97/Default.aspx) (2006).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ERSOY, Mahmut  
 Uyruğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 20.01.1968 Bismil  
 Medeni hali : Bekar  
 Telefon : 0 (532) 423 56 30  
 Faks : 0 (312) 478 12 06  
 e-mail : mahmutersoy@yahoo.com

### Eğitim

| Derece | Eğitim Birimi                   | Mezuniyet tarihi |
|--------|---------------------------------|------------------|
| Lisans | Kara Harp Okulu/ Yönetim Bölümü | 1990             |
| Lise   | Maltepe As. Lisesi              | 1986             |

### İş Deneyimi

| Yıl       | Yer                         | Görev              |
|-----------|-----------------------------|--------------------|
| 2003-2006 | Kara Kuvvetleri Komutanlığı | Uçuş Eğitim Subayı |
| 2003-2005 | Harita Genel Komutanlığı    | Navigatör/Pilot    |
| 2000-2003 | 3ncü Ordu Hava Alayı        | Pilot              |
| 1993-2000 | Harita Genel Komutanlığı    | Navigatör/Pilot    |

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Yüzme, Bilgisayar, Kayak