

ALGILAYICI YÖNELTME SİSTEMLERİ (SENSOR ORIENTATION SYSTEMS)

**Veysel Okan ATAK
Oktay AKSU**

ÖZET

Teknolojide yaşanan gelişmeler doğrultusunda ve özellikle Global Konumlama Sistemi (Global Positioning System–GPS) teknolojisinin fotogrametri alanında kullanılmaya başlandığı yıllardan itibaren, ihtiyaç duyulan nirengi noktası sayısı ve bunun sonucu olarak arazi çalışmaları önemli ölçüde azalmıştır. Ancak bu konudaki nihai hedef; nirengi noktası tesis edilmeden ve arazi çalışmaları yapılmadan hava fotoğrafı alımını gerçekleştirerek doğrudan fotogrametrik değerlendirme işlemlerine başlayabilmektir.

Bu yönde yapılan çalışmalarda gelinen son nokta, Global Positioning System-Inertial Navigation System (GPS-INS) ve Global Positioning System-Inertial Measurement Unit (GPS-IMU) adı verilen Algılayıcı Yönelme Sistemleri'dir.

Bu sistemlerin kullanılmaya başlanması ile; arazi çalışmaları ve fotogrametrik nirengi ölçüm işlemlerinde zaman ve maliyet tasarrufu sağlanması beklenmektedir. Bu nedenle, söz konusu sistemler üzerinde tüm dünyada yoğun olarak sürdürülen çalışmalar, Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği'nin (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing-ISPRS) XX. kongresinde de detaylı olarak görüşülmüştür.

ABSTRACT

By means of technological developments and especially from the beginning of using the Global Positioning System GPS technology in photogrammetry, the need for ground control points and also land survey applications have been considerably decreased. But, the final aim is to start compilation after taking photos without land survey applications.

The recent researches in this technology are sensor orientation systems named Global Positioning System-Inertial Navigation System (GPS-INS) and Global Positioning System-Inertial Measurement Unit (GPS-IMU).

These systems will be cost and time savings about land survey applications and photogrammetric aerial triangulation measurements. Therefore, the intense studies over the whole world have been discussed in the XXth Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) too.

1. GİRİŞ

Resimlerin ve modellerin değerlendirilmesi için gerekli olan nirengi noktalarının (yer kontrol noktası-YKN) bir kısmının koordinatları daha ekonomik olarak fotogrametrik yöntemlerle elde edilebilmektedir. Ancak bu yöntemin uygulanabilmesi için, resim çekimi yapılan bölgede jeodezik yöntemlerle koordinatları elde edilmiş nirengi noktalarına gereksinim duyulmaktadır.

Fotogrametrinin amacı; büro çalışmalarına göre daha pahalı olan bu arazi çalışmalarını azaltmaktır. Çünkü, arazi çalışmaları harita yapım maliyetinin önemli bir bölümünü oluşturur. Nirengi noktalarının tesisi, ölçümü, hesabı ve işaretlenmesi, oldukça zaman alıcı ve maliyeti yüksek çalışmalardır.

2. NOKTA SIKLAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

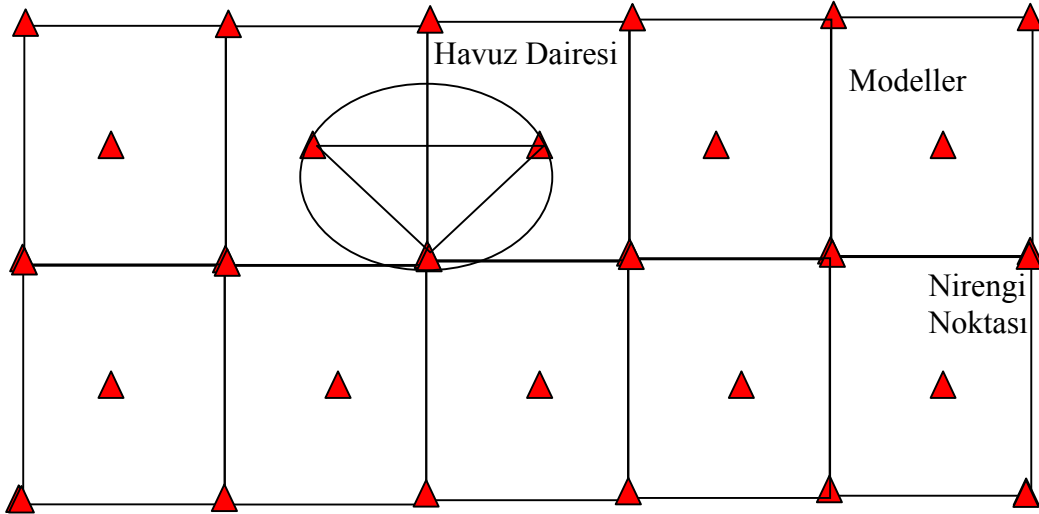
Ülkemizde özellikle 1:25.000 ölçekli ilk haritalar üretilirken, ölçeğin gerektirdiği sayıda nirengi noktası sıklaştırması (I. ve II. derece nirengi ağına dayalı olarak III. ve IV. derece noktalar) yapılmış ancak zamanla bu noktaların bazıları tahrip olmuştur. Bu nedenle büyük ölçekli harita üretiminde ve revizyon amaçlı çalışmalarda, mevcut nirengi noktası sayısını arttırmak veya bu noktaları revize etmek gereklidir.

Nokta sıklaştırma yöntemlerini tarihsel gelişimlerine göre; Havuz Yöntemi, Dizi Yöntemi, Fotogrametrik Nirengi Yöntemi ve Kinematik GPS Destekli Fotogrametrik Nirengi Yöntemi şeklinde sıralayabiliriz /3/.

a. Havuz Yöntemi

Resimler hangi yönde çekilirse çekilsin, bu yöntemde her durumda model içerisine en az 3 noktanın girmesi gerekir. Bu durumda, ardışık bir çift resimden oluşan stereo modelin mutlak yöneltmesini yapabilmek için minimum nokta sayısı sağlanmış olur. Bu amaca yönelik olarak izlenmesi gereken en uygun yöntem, arazinin eşkenar üçgenlere bölünmesi ve bu üçgenlerin köşelerine yakın yerlerde birer nirengi noktası tesis etmektir.

Gerekli nirengi noktası sıklığını sağlamak üzere eşkenar üçgenlerin çevresel çemberleri olan ve çapı hesaplanabilecek bir daire kullanılır, buna havuz dairesi (kepçe) denir. Havuz dairesi şeffaf bir altlığa (aydınlar, astrolon vb.) nirengi kanavasını ölçeğinde çizilir. Havuz dairesi, iş bölgesine ait nirengi ve uçuş planlaması üzerinde nereye konulursa konulsun, en az 3 noktanın bu daire içine girmesi veya en azından teğet olması gereklidir (Şekil-1).



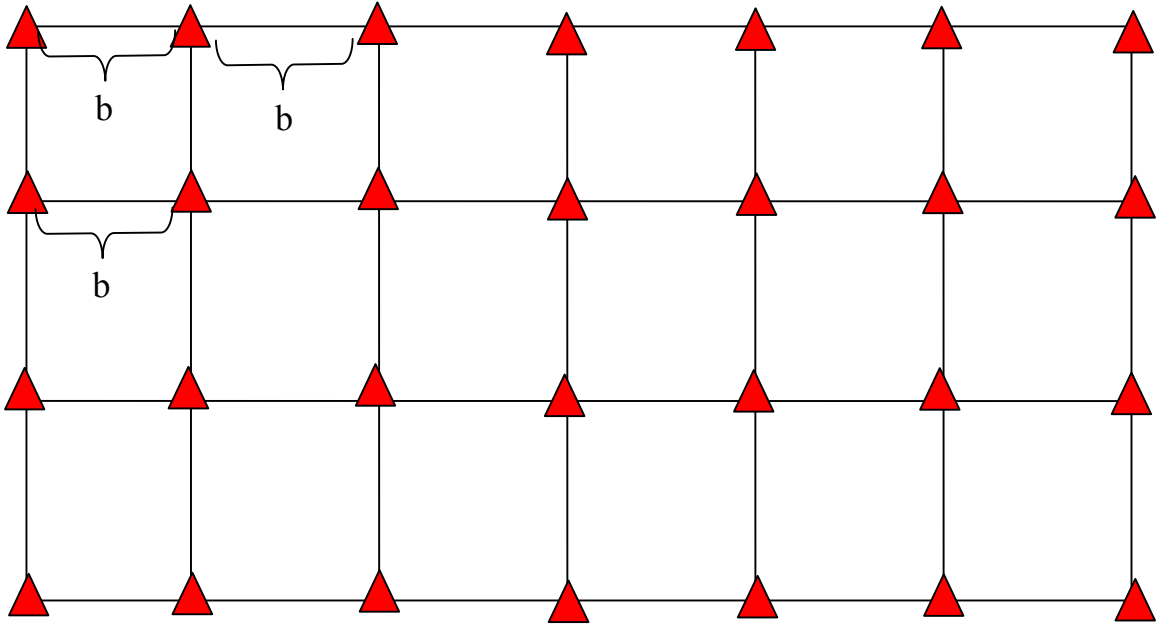
Şekil-1: Havuz Yöntemine Göre Nirengi ve Uçuş Planlaması

b. Dizi Yöntemi

Dizi yönteminde, modelin yaklaşık köşelerinde birer nokta bulunacak şekilde nirengi noktası planlaması ve tesisi yapılır. Tüm nirengi ve uçuş planları buna göre düzenlenir. Böylece kontrollü bir şekilde mutlak yöneltme sağlanabilir. Bunun sağlanması için; önce uçuş yönü, resim ölçeği ve ileri bindirme oranı dikkate alınarak faydalı model alanı hesaplanır. Daha sonra bu değerler dikkate alınarak X ve Y yönlerinde hangi aralıklarla ve kaç nokta tesis

edileceği bulunur. Bunun için modelin X yönündeki uzunluğu yaklaşık model bazı kadar alınır, nirengi noktası tesisi baz mesafesi (B) aralığında yapılır.

Ülkemizde harita üretiminde 1960'lı yıllara kadar havuz yöntemi, 1960'lı yıllardan sonra dizi yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Havuz yönteminde çok sayıda nokta tesisi yapılması zorunluluğu, dizi yönteminde ise uçuşların tam kolon boyunca yapılamaması nedeniyle pek çok çalışmanın yenilenmesi gerekmiştir. Bu nedenle dizi ve havuz yöntemlerinden beklenen doğruluk ve ekonomi sağlanamamıştır (Şekil-2) /3/.



Şekil-2: Dizi Yöntemine Göre Nirengi ve Uçuş Planlaması (b = Baz Mesafesi)

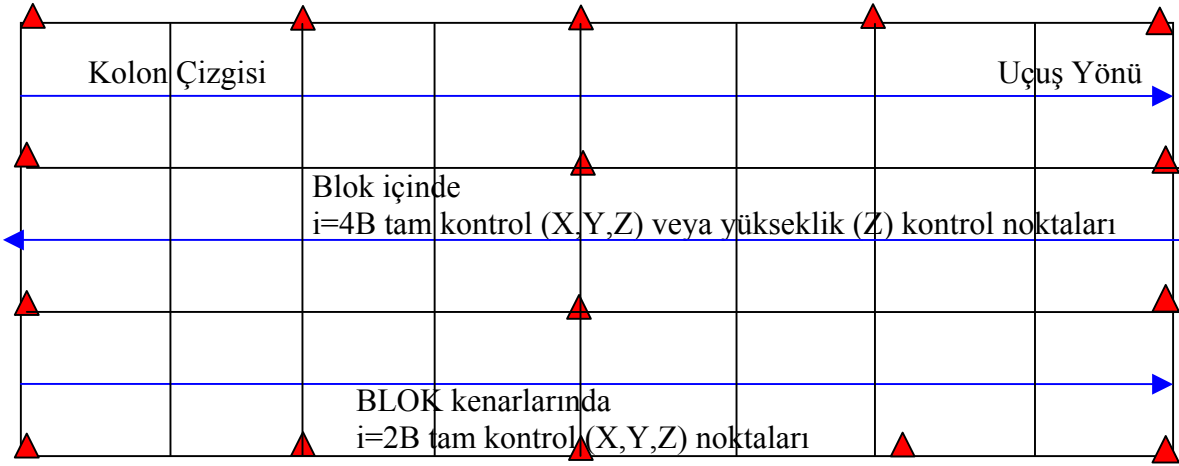
c. Fotogrametrik Nirengi Yöntemi

Havuz ve dizi yönteminde oluşan sakıncaları gidermek üzere 1970'li yıllarda geliştirilen ve arazide tesis edilmesi gereken nirengi nokta sayısını azaltan bir yöntemdir. Yöntemin temel amacı; arazide minimum sayıda nirengi noktası tesis etmek ve stereo modellerin mutlak yönlendirmeleri ile kıymetlendirme işlemlerinin yapılabilmesi için, her modelde bulunması gereken yeterli sayıdaki kontrol noktasının fotogrametrik yöntemlerle belirlenmesidir. Bu yöntemde kolon başında ve sonunda mutlaka nirengi noktası olmalıdır.

Yöntemin uygulanmasında; kıymetlendirilecek paftaları, uçuş hatlarını ve mevcut nirengi noktalarını içeren bir uçuş planı hazırlanır. Bu plan dahilinde, iş bölgesinin dış çerçevelerinde resim alanına girecek şekilde aralarındaki uzaklık $2B$ kadar olan nirengi noktaları seçimi yapılır. Her kolonun baş ve sonlarında, kolon hattının üst ve altında olmak üzere en az 2 nokta seçilir. Bu noktaların aynı modele düşmesi sağlanmalıdır. Bloğun içerisinde ise, her kolonun üst ve alt tarafında yaklaşık $4B$ aralığında tam kontrol (X, Y, Z) veya sadece yükseklik kontrol noktaları (Z) seçimi yapılır (Şekil-3).

Fotogrametrik nirengi yönteminde, arazide tesis edilen az sayıda nirengi noktası ile fotogrametrik yöntemle nokta sıklaştırması yapılarak, doğal veya yapay noktalar biçiminde kolon ve model bağlama noktaları tesis edilir, ölçülür ve dengeleme sonucu bu noktaların üç boyutlu koordinatları hesaplanır. Yeni nokta koordinatlarının hesabı ile beraber, ayrıca her bir

modelin 12 adet dış yöneltme parametresi (her iki resmin dış yöneltme elemanları; X_0 , Y_0 , Z_0 , K , φ , ω) hesaplanır.

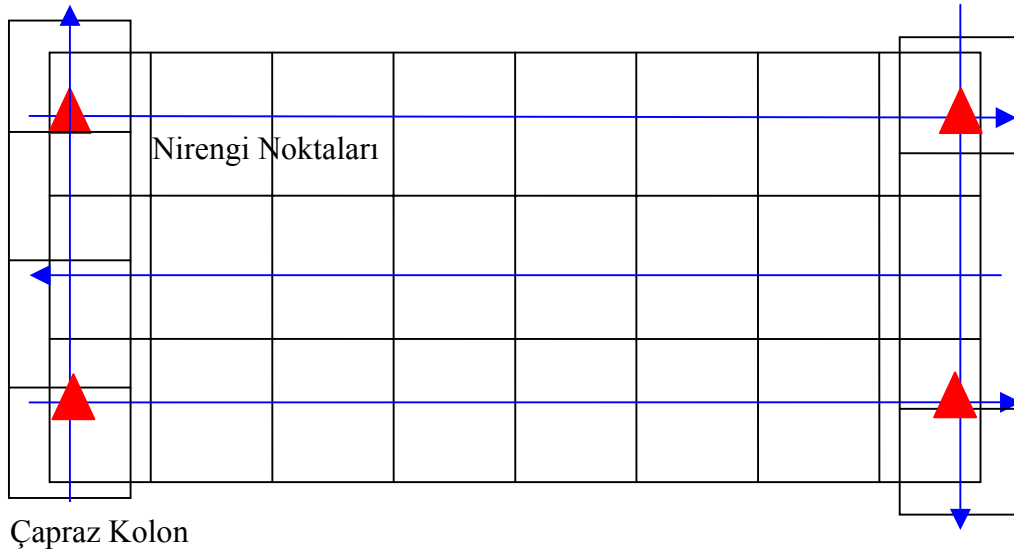


Şekil-3: Fotogrametrik Nirengi Yöntemine Göre Nirengi ve Uçuş Planlaması

d. Kinematik GPS Destekli Fotogrametrik Nirengi Yöntemi

Fotogrametrik nirengi yöntemi; arazide tesis edilen nirengi noktası sayısını minimuma indirerek nirengi noktası sayısında yaklaşık % 90-95'lik bir tasarruf sağlayan, resim uçuşu sırasında resim çekim noktalarının 3 boyutlu koordinatlarını (X_0 , Y_0 , Z_0) GPS uydularına yapılan gözlemlerle tespit etmeye yarayan, böylece mutlak yöneltme ve dengelemede bilinmeyenlerin büyük bir kısmının çözümlenebildiği bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır.

Yöntemin uygulanmasında; hazırlanan uçuş planlarına bağlı olarak, düzgün bloklarda en az 4, ideali 2'şer noktadan 8 nirengi noktasının blok köşelerinde seçimi ve tesisi gerçekleştirilir. Bu noktalar jeodezik yöntemler ile konumlandırılır (Şekil-4).



Şekil-4: Kinematik GPS Destekli Fotogrametrik Nirengi Yöntemine Göre Nirengi ve Uçuş Planlaması

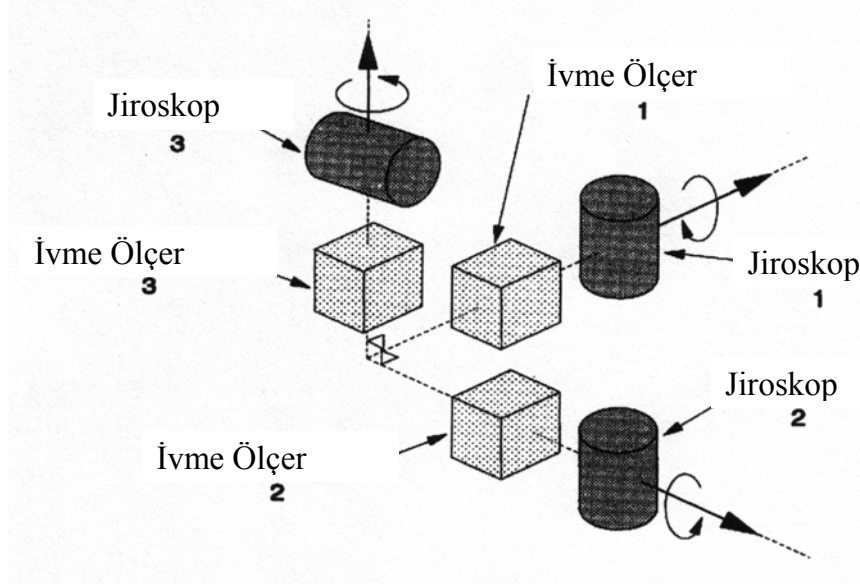
Kinematik GPS ölçümlerindeki sistematik hatalar ile sürüklenme hatalarının belirlenip düzeltilmesi için bloğun baş ve sonlarında çapraz uçuşların yapılması uygundur. Ayrıca çapraz kolonların blok köşelerinde yer alan nirengi noktalarını da kapsamaları gereklidir.

Bu yöntemde, önce arazide tesis edilmesi gereken nirengilerin koordinatları (X, Y, Z) klasik jeodezik ölçme veya GPS yöntemiyle belirlenir. Uçuş anında uçakta ve yerde birer GPS alıcısı kullanılır. Yerde tesis edilen GPS alıcısı iş bölgesi içinde veya civarında (maksimum 100 km. uzağında) olabilir. Uçuş anında hem uçakta hem yerde bulunan GPS alıcıları ile eş zamanlı olarak uydu sinyalleri kaydedilir. Burada en önemli nokta; resim çekim anı kameranın gönderdiği bir sinyal ile çok duyarlı olarak kaydedilmesidir. Yapılan bu gözlemler sayesinde resim izdüşüm merkezlerinin konumları (X_0, Y_0, Z_0) yaklaşık olarak hesaplanır. Bu değerler dengelemede ölçü olarak kullanılır /3/.

3. İNERSİYAL NAVİGASYON SİSTEMİ (INERTIAL NAVIGATION SYSTEM-INS)

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

Platform ve bant üzerinde kayan sistemler olmak üzere genelde iki farklı tipte INS kullanılır. İlk sistemde ivme ölçüm birimi, 3 jiroskopun platformu içerisine sıkı sıkıya monte edilmiştir. İç platform aracının dönüklükleri izole edilmiş olduğu için, durum parametreleri istenilen bir yöneltme değerinde ve sistemin havada hareketi sırasında sabit tutulabilmektedir. Bu sistemlerde küçük bir ölçüm mesafesinde çok duyarlı ölçüm yapabilecek şekilde algılayıcılar tasarlandığı için, çok daha doğru sonuçlar vermektedir. Diğer taraftan, bu sistemler mekanik açıdan ele alındığında çok kompleks ve yüksek maliyetlidir /8/ (Şekil-5).



Şekil-5: INS İçerisinde Yer Alan Jiroskoplar ve İvme Ölçerler

Bunun tersine, bant üzerinde kayan sistemler ortogonal ivme ölçüm birimi kullanırlar ve jiroskop hareket eden aracın (uçanın) eksenlerine sabitlenmiştir. Sistemin açısal hareketleri, dönü algılayıcıları kullanılarak devamlı ölçülür. İvme ölçüm birimi uzayda durağan durumda

değildir ancak içinde bulunduğu aracın hareketlerini takip eder. Bu nedenle, bu tür sistemlerin mekanik yapısı çok daha basittir ve önceki sistemlerle kıyaslandığında maliyetleri daha düşüktür.

INS eğer tek başına (stand-alone) modda çalışıyor ve dış ölçümlerle güncelleştirilmiyorsa, yüksek rölatif doğruluk sağlar ancak zamana bağlı olarak mutlak doğruluğu bozulur. INS, anlık durum ve konum bilgilerini elde etmek için entegrasyon teknikleri kullandığından, konum ve durum hataları zamanla büyür. Zamana bağlı hata davranışı nedeniyle INS farklı doğruluk sınıflarında gruplandırılabilir. GPS ile sağlanan gözlemler sayesinde, uygun dış konum veya hız güncelleme ölçümleri ile sistematik hataların etkisi önemli ölçüde elimine edilir ve 1 saniye aralığında geliştirilmiş doğruluklar elde etmek mümkündür /8/.

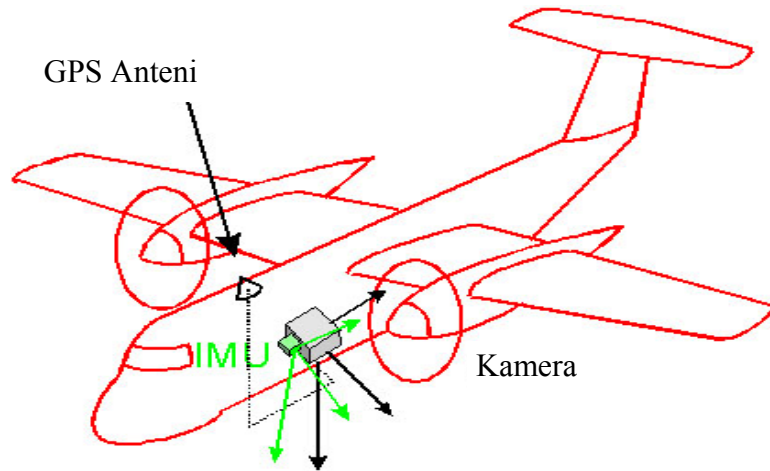
İnersiyal Ölçme Ünitesi (Inertial Measurement Unit-IMU) ise, jiroskop ve ivme ölçme sistemlerinin bir araya getirilmesiyle oluşturulmuş bir sistemdir. IMU, INS sisteminin ana parçasıdır ve izdüşüm merkezi koordinatları ile üç dönüklük parametresini 50-200 Hz. frekansında belirleyerek bu bilgileri navigasyon amaçlı olarak kullanır /2/.

4. GPS-INS ENTEGRASYONU

Atalet verisi kuvvetli sürüklenmeler nedeni ile yalnızca kısa süreli boyutlarda yeterli doğruluğa sahip olur, bu nedenle mutlak doğruluğa sahip bir GPS ile kombinasyonu gereklidir. Yaygın olarak kullanılan İteratif Kalman Filtreleme yöntemi ile her iki sistemin avantajları birleştirilebilir ve böylece GPS-INS Doğrudan Algılayıcı Yönelmesi (Direct Sensor Orientation - DSO) için kullanılabilir /2/.

Bu sistemlerin birlikte kullanımı, tek tek kullanımları ile elde edilecek doğruluğu ve güvenilirliği önemli ölçüde geliştirmeye olanak sağlamaktadır. INS'in kısa aralıklardaki yüksek durağanlığı, GPS gözlemlerinde görülen hataları düzeltmeye olanak sağlar. Kestirim suretiyle elde edilen INS konumu ve hızı, GPS alıcısının taşıyıcı faz atlamalarını (cycle slip) belirtmeye ve uydu ile kopan bağlantıları bağlamaya yardımcı olur. Bağlama kapasitesi INS'in performansına bağlıdır. Diğer taraftan, GPS'in hayli uzun süreli durağanlığı sayesinde, GPS gözlemlerinin kullanılması ile INS'in sistematik ve zamana bağlı hatalarının giderilmesi mümkündür.

Temelde entegrasyon, donanım ve yazılım düzeyi konularının her ikisini de içerir. Donanım düzeyindeki entegrasyonda sistem bileşenleri bir "kara kutu" içerisinde birleştirilir ve bağlantıları kurulur (Şekil-6).



Şekil-6: GPS-INS Entegrasyonu

Bu yaklaşımda GPS ve INS bileşenleri bir filtre ile birleştirilir. Entegrasyon, konum ve hız yerine her iki alt sistemin ham verileri düzeyinde gerçekleştirilir. Konum ve hız bilgileri ise muhtemel GPS dönü kayıklıklarının tespit etmek ve düzeltmek için kullanılır. Konumsal ve açısal düzeltmeler uygulandıktan sonra da dış yöneltme parametreleri belirlenir /8/. Örneğin bu yaklaşım, uydu sinyallerine kilitlenmenin kaybolduğu anlarda yeniden sinyal alımına olanak sağlanması yönüyle üstünlük sağlar, ancak donanım entegrasyonu nedeniyle farklı uygulamalar için sistem modifikasyonu mümkün değildir. Bu nedenle ikinci yaklaşım, yani donanım birimlerinin bağımsız olarak çalışması ve çıktılarının yazılımlar vasıtasıyla birleştirilmesi daha çok kullanılan bir yöntem durumundadır. Bu da merkezi ve merkezi olmayan filtreleme biçiminde ayrılabilir.

GPS-INS entegrasyonu konusunda günümüzde yaygın olarak kullanılan İteratif Kalman Filtreleme yönteminin yerine Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks-ANNs) yönteminin kullanılması yönündeki araştırmalar devam etmektedir. Sayısal fotogrametri uygulamalarında karşılaşılan ve özellikle kenar belirleme, görüntü segmentasyonu ve detay çıkarımı konularında karşılaşılan sorunların giderilmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, Yapay Sinir Ağları tekniğinin İteratif Kalman Filtreleme yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. İteratif Kalman Filtreleme yöntemi ile Yapay Sinir Ağları yönteminin karşılaştırılması Tablo 1’de sunulmuştur /1/.

Tablo-1: İteratif Kalman Filtreleme yöntemi ile Yapay Sinir Ağları yönteminin karşılaştırılması

	Kalman Filtreleme	Yapay Sinir Ağları
Model	Matematik Model; Deterministik Model + Stokastik Model	Deneysel ve uyarlanabilir model kullanır.
Ön Bilgi	Özellikle ölçümler ve Sistem Gürültü Matrisleri için gereklidir.	Gerekli değildir.
Algılayıcı	Farklı algılayıcılar için parametrelerin yeniden yapılandırılması gereklidir.	Uyarlanabilir ve algılayıcılardan bağımsız algoritma kullanır.
Doğrusallık	Doğrusal işlemler.	Doğrusal olmayan işlemler.

5. ALGILAYICI YÖNELTME SİSTEMLERİ

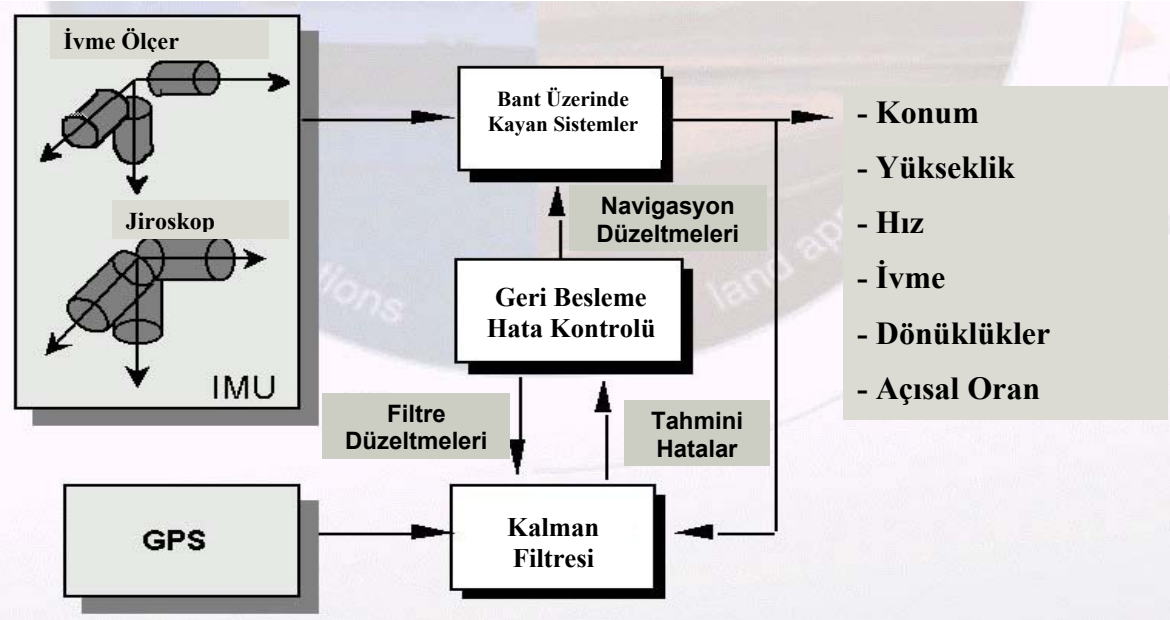
a. Doğrudan Algılayıcı Yöneltmesi (Direct Sensor Orientation-DSO)

GPS’in atmosfer, yörünge ve sinyale bağlı hata kaynaklarını, referans istasyonda hesaplanacak düzeltmelerle gezici alıcıda gidermeyi öngören sisteme Diferansiyel Global Konumlama Sistemi (Differential Global Positioning System–DGPS) denir. DGPS’in IMU ile birlikte kullanımı sayesinde dış yöneltme parametrelerinin INS çözümlerinden doğrudan tespiti işlemine Doğrudan Coğrafi Konumlandırma (Direct Georeferencing) veya Doğrudan Algılayıcı Yöneltmesi (Direct Sensor Orientation-DSO) adı verilir /5/. Bu yöntemde dış yöneltme sadece GPS-IMU gözlemlerine bağlı olarak hesaplanır, obje koordinatları ise ayrı bir adımda elde edilir. Yöntem 3 adımda gerçekleştirilir. Bunlar; algılayıcı kalibrasyonu, GPS-IMU ön işlemleri ve dış yöneltme parametrelerinin tespiti işlemleridir. Buradaki ikinci

adım, kamera projeksiyon merkezi konumları ile dönüklük parametrelerinin yüksek frekansta belirlenebilmesi için, ham GPS sinyalleri ile IMU ölçülerinin obje uzayında yer alan yörüngelere dönüşümünü içerir. Günümüzde birleştirilmiş GPS ve IMU işlemlerinde kullanılan yaygın metot ise Kalman Filtrelemesidir /10/.

Doğrudan Coğrafi Konumlandırma yöntemi klasik yöntemlere göre bazı üstünlüklere sahiptir. Bunlar; uzak ve erişilemeyen bölgelerin haritalanması olanağı ve nokta ölçümü/eşlemesi ile fotogrametrik nirengi işlemlerine ihtiyaç duyulmaması sonucunda elde edilen önemli maliyet ve zaman tasarrufu şeklinde sıralanabilir. Her şeye rağmen Doğrudan Coğrafi Konumlandırmanın doğruluğu; DGPS, IMU ve datum kalibrasyonuna bağlı olarak meydana gelen hatalar ile sınırlıdır. Bu hatalar tipik olarak 10 cm. standart sapmaya karşılık gelir. Bu doğruluk bazı büyük ölçekli haritacılık çalışmalarında yeterli değildir /5/. Bu arada fotogrametrik modellerde oluşan artık Y paralaksarı tipik bir problem olarak karşımıza çıkar. Bu sorun görüntü koordinatları ile birlikte doğrudan algılayıcı yöneltmesine dayanan birleştirilmiş algılayıcı yöneltmesi ile çözümlenebilir /2/.

Algılayıcının doğrudan yöneltmesi işlemi çok kesin olmayan veri işleme yöntemlerine ve özellikle seçilen koordinat sistemine karşı çok duyarlıdır. Fotogrametride kullanılan matematik model ortogonal (dik) bir koordinat sistemine dayalıdır. Klasik ulusal yatay kontrol ağları ise ortogonal olmayan koordinat sistemlerindedir. Çünkü bu sistemler yer küreselliğini izlerler ve veri toplama işlemleri buna dayalıdır. Klasik fotogrametride matematik modelin eksikliği yer küreselliği düzeltmesi ile giderilebilmektedir. İkinci derece etkilerin neredeyse tamamı mutlak yöneltme ile giderilir. Oysa algılayıcının doğrudan yöneltmesinde, nirengi noktalarına dayalı bir yöneltme yapılmaz, mutlak yöneltme doğrudan belirlenen izdüşüm merkezlerine ve dönüklük parametrelerine bağlıdır. Yani yer noktalarının değerlendirilmesi, referans düzeyi üzerinde bir ekstrapolasyon işlemidir. Böyle bir ekstrapolasyonda tüm çözüm işlemi çok sıkı bir denetim altında tutulmalıdır, aksi takdirde oluşacak hatalar çözüm içerisinde giderilememektedir (Şekil 7) /6/.



Şekil-7: Doğrudan Coğrafi Konumlandırma Sistemi

b. Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesi

Doğrudan dış yönelme parametre verilerinin klasik blok dengeleme sistemine dahil edilmesi, fotogrametrik nirengi teknikleri çözümde oluşan artık hataların elimine edilmesinde kullanılabilir. Bu yöntemde Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesi (Integrated Sensor Orientation) adı verilir /5/. Bu yöntemde, bağlama noktaları da dahil olmak üzere tüm bilgiler en yüksek doğruluğu elde etmek için eş zamanlı olarak işlem görürler /10/. Yöntem klasik fotogrametrik nirengi sistemine göre bir çok üstünlüğe sahiptir. Bunlardan en önemlisi, doğrudan dış yönelme sayesinde elde edilen stabil geometrinin nirengi noktası sayısını azaltması ve bağlama noktası sayısını minimuma indirmesidir.

Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesi bir çok kullanım alanına sahiptir. İlk olarak, DGPS-INS verilerinin datum kayıklığını veya boresight dönüklüğünü (bir tür dışmerkezlilik) kalibre etmek için doğrudan coğrafi konumlandırma ile birleştirilerek bir kalite kontrol aracı olarak kullanılabilir. İkinci olarak, DGPS hatasının ihtiyaç duyulan konum doğruluğunu yeterince karşılayamadığı büyük ölçekli harita üretimi projelerinde, daha iyi bir doğruluk elde etmek için Doğrudan Coğrafi Konumlandırma sistemiyle birlikte kullanılabilir. Son olarak, eğer minimum 2 kolona sahip blok konfigürasyonlarında uçuş yapıyorsa, yüksek performansa sahip sistemlerle elde edilebilecek sonuçlara erişebilmek için, Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesi daha düşük doğruluğa sahip olan bir sistemle bir arada kullanılabilir.

Bu yöntemde, dış yönelme parametrelerinin hem bağlama noktası eşleştirme yazılımında hem de nokta toplama stratejilerinde uygun kullanımı ile işlem zamanı optimize edilebilir. Daha fazla bağlama noktasına sahip olmak aslında fotogrametrik nirengi sonuçlarını kötüleştirmektedir. Bunun nedeni de, toplanan bağlama noktalarından daha fazla hatanın fotogrametrik nirengi işlemlerine etki etmesidir. Yani, Birleştirilmiş Algılayıcı Yönelmesini uygulamak için işlem zamanını azaltmaya yarayacak şekilde, uygun ve minimum sayıda bağlama noktası kullanılmalıdır /5/.

c. Kalibrasyon İşlemleri

Veri toplama aşamasında kullanılan herhangi bir algılayıcıya ait resim dönüklük parametrelerinin tespiti ancak IMU ve GPS sistemlerinin birlikte kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Entegre edilmiş bu sistemde; GPS anteni, IMU ve görüntü alma sistemi uçakta farklı noktalara konumlandırılmıştır. Bu nedenle bu sistemler arasındaki mesafeler tespit edilmek zorundadır. Aynı şekilde, IMU ve görüntü alma sistemine ait eksenler de aynı değildir ve bunlar arasında da bir dönüklük matrisi mevcuttur. Kayıklıkların tespiti için yapılacak IMU kalibrasyonu ile iç yönelme parametrelerinin tespiti için yapılacak görüntüleme sistemi kalibrasyonu, algılayıcı kalibrasyonunun temel bileşenleridir.

Kalibrasyon; algılayıcılar arasındaki sabit konum farkı vektörünün ve IMU ana gövdesi ile görüntü algılayıcısı arasındaki sabit dönüklük matrisinin tespitini içermektedir. Kalibrasyon aşamasında ana problem olan ve IMU ile görüntü algılayıcısı arasındaki ilişkiyi ifade eden boresight dönüklüğü, bir kalibrasyon uçuşu sonucunda gerçekleştirilen birleşik blok dengelemesi sayesinde tespit edilir. İç yönelme düzeltmesinde ve IMU ile görüntü algılayıcısı arasındaki 3 kayıklık ve 3 dönüklük açısında meydana gelecek küçük değişimler Doğrudan Algılayıcı Yönelmesi'ne etki eder. Çünkü odak uzaklığında meydana gelen değişimler yükseklikle bağlantılı olarak ölçek faktörünü de etkiler. Bu nedenle, boresight dönüklüğü ve gerçek iç yönelme parametreleri, referans alanı üzerinde yapılacak iki farklı ölçekteki kalibrasyon uçuşu ile tespit edilirler /11/.

Boresight dönüklüğünü her uçuşta tespit etmek artık yaygın bir strateji haline gelmiştir. Bazı kuruluşlar bu işlemi hem uçuştan önce hem de uçuştan sonra yapmaktadırlar. Asal nokta konumunu kontrol edebilmek için referans uçuşları, nirengi noktaları ve zıt yönde uçuş kolonları olan bir test alanı üzerinde gerçekleştirilmelidir. Eğer referans uçuşu test alanı üzerinde tek bir yükseklikte gerçekleştirilirse, kamera odak uzaklığının tespitine ihtiyaç duyulmaz, çünkü esas etki kayıklık parametreleri nedeniyle oluşmaktadır. Eğer referans uçuşu farklı yüksekliklerde olacaksa, kamera odak uzaklığını da içeren tüm sistemin kalibrasyonu iki farklı yükseklikte uçuş yapılarak gerçekleştirilmelidir /7/. Tek bir uçuş yüksekliği kullanılarak yapılan çalışmalarda kamera odak uzaklığı GPS konumlamasında oluşan sabit Z kayıklık hatalarından arındırılmaz. Eğer proje alanı farklı yüksekliklerde uçulduysa, asal nokta ve kamera odak uzaklığındaki problemler çok önemlidir. Eğer daima aynı fotoğraf ölçeği yani aynı uçuş yüksekliği kullanılırsa, oluşan hataları ayrı ayrı değerlendirmeye gerek yoktur. Çünkü bu hatalar ve farklar, obje uzayında aynı etkiye sahip olacaklardır /2/.

Tek yönlü uçuş kolonu olan ve yerde nirengi noktası bulunmayan minimal bir blok geometrisi, asal nokta ve boresight bilinmeyenlerinin tespitine olanak sağlar. Söz konusu minimal blok yapısı ile kalibrasyon yapmak çok avantajlıdır. Tek bir nirengi noktası güvenilirliği arttırır, ancak iyi bir doğruluk elde etmek için birden fazla nirengi noktasına ihtiyaç duyulur. Bu nirengi noktalarının blok köşelerinde olması tercih edilir. Eğer 20 cm.'den fazla datum düzeltilmesi veya 20 mikrometreden fazla asal nokta aralığı düzeltilmesi gerekli ise, bir çift nirengi noktasının kullanılması avantaj sağlar /4/.

Bir uçuş yüksekliği ile kalibrasyon durumunda, boresight dönüklüğü yalnızca bu yükseklik seviyesi için doğrudur. Kalibrasyon iki farklı yüksekliğe dayalı ise, odak uzaklığı bir değişim ile birlikte belirlenir ve sonuçlar bu iki uçuş yüksekliği arasında geçerlidir, aynı zamanda bunların dışındaki bir yükseklik için de ekstrapolasyon yapmak mümkündür. Daha iyi bir çözüm, boresight dönüklüğünün teğetsel düzlem sisteminde kalibre edilmesidir. Bu, resim ölçeğinden bağımsız genel bir yöntemdir, ulusal koordinat sisteminde veri toplamada doğrudan kullanılmaz /6/. Ayrıca boresight dönüklüğünün durağanlığı sınırlı olduğundan, IMU sisteminin üzerine monte edilemeyen analog film kameralarının kullanılması bazı problemlere yol açmaktadır. Ancak bu durum uygun bir IMU yapısı ve stabil bir görüntü düzlemine sahip olan yeni dijital kameralar kullanıldığında farklı olabilir /7/.

Matematik modele bağlı olarak, kalibrasyon parametrelerini tespit etmek için tek adımlı veya iki adımlı işlemler uygulanabilir. Tek adımlı kalibrasyon işlemlerinin temelinde; blok dengelemesi için kullanılan fonksiyonel modelin, her bir GPS-IMU verisi ile nirengi noktasına ait pseudo gözlem eşitlikleri tarafından tamamlanması prensibi yer alır. İki adımlı kalibrasyon işlemlerinde ise; standart nirengi noktalı birleşik blok dengeleme ile elde edilen dış yöneltme parametreleri, aynı uçuşta elde edilen GPS-IMU verisiyle ölçülen dış yöneltme parametreleri ile karşılaştırılır. Kalibrasyon parametreleri, blok dengeleme ve GPS-INS işlemlerinden elde edilen dış yöneltme parametreleri arasındaki farkların ağırlıklı ortalaması olarak değerlendirilir /9/.

Sonuç olarak sistem kalibrasyonu; boresight dönüklüğü, GPS anten kayıklığı ve zaman senkronizasyon hatalarının tespitini kapsar. Tek başına algılayıcı kalibrasyonu üretim sonrasında gerçekleştirilir ve böylece bazı parametreler GPS ve IMU ölçümlerinin entegrasyonu işlemleri ile kontrol edilir. GPS anten kayıklığı ise klasik ölçüm yöntemleri ile tespit edilir /11/.

6. SONUÇ

Fotogrametri ve uzaktan algılama uygulamalarında, nirengi noktasına ihtiyaç duyulmadan harita üretim faaliyetlerini gerçekleştirebilmek amacıyla yapılan çalışmalarda gelinen son nokta; GPS-INS ve GPS-IMU sistemleridir. Kullanılan donanım fiyatlarındaki düşüşler ve elde edilen hızlı teknolojik gelişmeler sayesinde her geçen gün yeni gelişmeler sağlanmaktadır. Ancak, bu kapsamda şimdiye dek gerçekleştirilen ve ISPRS'in XX. Kongresinde de sunulan çalışmalar dikkate alındığında, bazı konuların hala tam açıklığa kavuşmadığı gözlenmektedir. Bu konular arasında önemli olanlar aşağıda belirtilmiştir;

a. Kalibrasyon uçuşunun yapılacağı referans-test alanında kaç adet nirengi noktası kullanılacağı ve bunların geometrik dağılımlarının nasıl olacağı tam olarak netlik kazanmayan konulardan birisidir. GPS-INS ve GPS-IMU sistemlerinin esas amacının, arazide nirengi noktası olmadan ve herhangi bir arazi çalışmasına ihtiyaç duyulmadan dış yöneltme parametrelerini uçuşta veya uçuştan hemen sonra tespit etmek olduğu göz önüne alınırsa, gelinen aşamada henüz bu noktaya ulaşamadığı anlaşılmaktadır.

b. Kalibrasyon işleminin her uçuş faaliyetinden önce mi, yoksa belirli zaman ve faaliyetlere bağlı periyotlar şeklinde mi gerçekleştirileceğine tam olarak karar verilememiştir. Uygulamalarda her görev öncesi, hatta hem görev öncesi hem de görev sonrasında, kalibrasyon amaçlı uçuş yapılması esas haline gelmiştir. Bilindiği gibi halen kullanılan klasik kameralar ise; her uçuş görevinden önce değil, yaklaşık 2 yılda bir veya belirli sayıda fotoğraf çekimi işlemleri sonrasında kalibre edilmektedir. Eğer kalibrasyon uçuşu her görevden önce ve sonra gerçekleştirilirse, bu durumun uçuş maliyetlerini arttıracığı ve sürekli nirengilerin yeniden işaretlenmesi konusunda sıkıntılar yaşanacağı açıktır.

c. Kalibrasyon uçuşunun yapılacağı referans-test alanının şekli ve büyüklüğünün ne olacağı da tam olarak belirlenememiştir. Uygulamalarda tavsiye edilen; ulaşılmak istenen doğruluk değerlerine de bağlı olarak, farklı yüksekliklerde ve birbiri ile ters yönde olacak şekilde uçulmuş kolonları ihtiva eden bir blok yapısı teşkil edilmesidir.

ç. “Kalibrasyon uçuşunun yapılacağı referans-test alanının iş bölgesine olan uzaklığı ne kadar önemlidir ve bu uzaklık maksimum ne kadar olmalıdır?” sorularına da net cevaplar henüz bulunamamıştır. Ancak kesin olan şudur ki, bu mesafenin artması doğruluğun da bozulmasına sebep olmaktadır.

Sonuç olarak, bu sistemleri bünyelerine dahil edilmek isteyen kuruluşlar, klasik kamera sistemlerinin, film banyo cihazlarının, film tarama ve fotogrametrik nirengi ölçüm sistemlerinin günümüzde yürütülen harita üretimi çalışmalarında halen aktif ve verimli olarak kullanılabildiğini de göz önüne almalıdırlar. Bu nedenle karar verilirken; hem sayısal kamera sistemlerinin makul fiyatlara inmesi, hem de doğrudan ve birleştirilmiş algılayıcı sistemlerindeki mevcut sorunların (muhtemelen 3-5 yıllık bir süre içerisinde) aşılması beklenmelidir. Ayrıca, söz konusu sistemlerin analog kameralar ile kullanılmasından dolayı oluşabilecek problemler de dikkate alınarak, bu sistemlerin sayısal kameralar ile birlikte veya sayısal kameralardan daha sonra alınmasının daha uygun ve anlamlı olacağı değerlendirilmektedir. Böylece film masrafları, foto-laboratuar ve fotoğraf tarama işlemleri ile birlikte fotogrametrik nirengi işlemlerinden de tamamen tasarruf edilebilecektir.

KAYNAKLAR

- /1/ Chiang, K, El-Sheimy, N. : Artificial Neural Networks in Direct Georeferencing: Performance Analysis, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing Journal, P. 765-768, Volume 70, Number 7, July 2004.
- /2/ Education Seminar Book – Course A : Integrated Sensor Orientation, First OEEPE Education Seminar, Aalborg University, Denmark, October 2002.
- /3/ Harita Genel Komutanlığı Yayınları : Fotogrametri Ders Kitabı, Harita Yüksek Teknik Okulu, Harita Genel Komutanlığı, Ankara, 2003.
- /4/ Honkavaara, E. : In-Flight Camera Calibration for Direct Georeferencing, Finnish Geodetic Institute, Masala-Finland, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004, İstanbul, Turkey.
- /5/ Ip, A.W.L., El-Sheimy, N., Hutton, H. : Performance Analysis of Integrated Sensor Orientation, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004, İstanbul, Turkey.
- /6/ Jacobsen, K. : Aspects of Handling Image Orientation by Direct Sensor Orientation, Institute of Photogrammetry and Engineering Surveys, University of Hannover, ASPRS Congress.
- /7/ Jacobsen, K. : Direct / Integrated Sensor Orientation – Pros and Cons, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004, İstanbul, Turkey.
- /8/ Kramer, M. : GPS-INS Integration, Stuttgart-Germany.
- /9/ Pinto, L., Forlani, G., Passoni, D. : Experimental Tests on the Benefits of a More Rigorous Model in IMU/GPS System Calibration, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004, İstanbul, Turkey.
- /10/ Wegmann, H., Heipke, C., Jacobsen, K., : Direct Sensor Orientation Based on GPS Network. Solutions, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004, İstanbul, Turkey
- /11/ Yastıklı, N. : The Effect of System Calibration on Direct Sensor Orientation, N. Yastıklı, Yıldız Teknik. Üniversitesi, XXth ISPRS Congress, 12-23 July 2004, İstanbul-Turkey