

Fotogrametrik harita üretiminde kullanılan görüntülerin maliyet analizi

Abdullah YILDIRIM*, **Dursun Zafer ŞEKER**

İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Fotogrametrik harita üretiminin temel elemanı görüntüdür. Fotogrametri ve diğer disiplinlerin görüntü gereksinimlerinin karşılanmasında, hava fotoğrafı ana seçenek olmuştur. Uzaktan algılama araçları ve algılayıcılarda ortaya çıkan önemli gelişmelere bağlı olarak, uydu görüntüleri hava fotoğraflarına ciddi bir alternatif durumuna gelmiştir. Yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama uydularının görüntüleri; doğruluk, elde edilebilirlik, güncellik ve maliyet yönünden hava fotoğrafı ile karşılaştırılabilir durumdadır. Bu durum, bazı ülkeleri kendi uzaktan algılama uydularına sahip olmaya özendirmiştir. Bu yazıda, uzaydan ve havadan alınan görüntülerin gerek yatırım gerekse işletme maliyetleri incelenmiş ve uçaklardan dijital görüntü alımının analog yönteme göre daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Maliyet analizi, uydu görüntüsü, hava fotoğrafı, dijital kamera.*

Cost analysis of the images used for photogrammetric mapping

Abstract

Imagery is the basic input element of the photogrammetric map production. For decades, aerial photography has been the dominant option to fulfill the imagery request of the photogrammetry and the other disciplines. Due to the significant development in the field of remote sensing spacecraft and the on-board sensors, space imagery has become a serious alternative to the aerial photography. High-resolution remote sensing satellite imagery is competitive with the airborne imagery by means of accuracy, availability, up-to-dateness and the cost. This trend had stimulated some countries to focus on having their own remote sensing satellite. Until recent years only few countries like USA, Russia, France was launching and operating big multi-purpose satellites but today situation is changing such that the old space imagery customers are becoming the new owners of task oriented small satellites. In this paper, approximate investment and operational costs of both space and airborne imagery has been discussed. Cost analysis of airborne imagery is handled by classifying the expenditure as fixed and direct operational costs while spaceborne imagery cost is taken as of their marketing prices. It has been concluded that airborne digital imagery considerably economic when compared to analogue imagery while purchasing the spaceborne imagery is more money saving than launching a remote sensing satellite.

Keywords: *Cost analysis, satellite imagery, aerial imagery, digital camera.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Abdullah YILDIRIM. abyildirim@ttnet.net.tr; Tel: (312) 595 22 15.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Fotogrametrik harita üretim amaçlı görüntü sağlanmasında optimizasyon" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 30.12.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 05.01.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.07.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Analog yöntemle başlayan fotogrametri, analitik yöntemle devam etmiş ve günümüzde, yüksek derecede otomasyona olanak sağlayan dijital yöntemlerle gerçekleştirilebilir duruma gelmiştir. Fotogrametride yaşanan gelişmeler veri toplama ile sınırlı kalmamış, aynı zamanda algılayıcılar ve görüntü alım tekniklerinde de çok önemli gelişmeler yaşanmıştır.

Veri toplamaya paralel olarak önemli gelişmeler kaydedilen algılayıcılar; takılı oldukları platforma göre uçaklara takılı ve uydulara takılı, algılama yöntemlerine göre ise aktif ve pasif olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır. Günümüzde bütün algılayıcılar uçaklar ve uydularda kullanılabildiğinden, algılayıcıların gelişimi takılı olduğu platform yerine kullandıkları görüntü kaydetme tekniğine göre ele alınmışlardır.

Pasif algılayıcıların gelişim sürecinde, analog hava kameraları optik performanslarındaki iyileşmenin yanı sıra resim sürüklenmesini önleyici sistem (FMC - Forward Motion Compensation), otomatik poz ayarı, çember stabilizasyonu gibi fonksiyonlar da kazanmıştır.

Diğer taraftan, mikrodalga teknolojisinin algılayıcılara uygulanması sonucunda yaşanan gelişim sürecinde, Yapay Açıklıklı Radar (SAR - Synthetic Aperture Radar), Interferometric SAR (InSAR) ve Işıklı Tespit ve Ölçme (LIDAR - Light Detection and Radar) gibi yeni algılayıcılar hizmete girmiştir.

Günümüzde, fotogrametrik amaçlı görüntü toplamanın birkaç yöntemi vardır ve kullanıcılar bu yöntemlerle elde edilen görüntülerden birini seçmek durumundadırlar. Görüntü seçiminde göz önünde tutulması gereken faktörlerin doğruluk, elde edilme süresi ve maliyet olduğu değerlendirilmektedir. Projenin amacına bağlı olarak bu faktörlerin öncelikleri değişebilir. Örneğin ulusal güvenlik söz konusu olduğunda elde edilme süresi önem kazanırken kadastral amaçlı harita üretiminde doğruluk ön plana çıkar. Bu çalışmada, görüntü seçiminde etkin bir yere sahip olan maliyet konusu incelenmiştir.

Fotogrametrik gelişmeler

Fotogrametrinin fotoğraf ve görüntü üzerinde işlem yapılan bir bilim dalı olması nedeniyle teknolojiye bağlı olarak ortaya çıkan gelişmeler, fotogrametrinin uygulama temelinde ve kullanılan görüntünün tipi olmak üzere iki ayrı kategoride yaşanmaktadır. İlk olarak fotogrametrik yöntemlerdeki daha sonra ise görüntülerdeki gelişmeler incelenmiştir.

Fotogrametrik yöntemlerde yaşanan gelişmeler

Fotoğrafın keşfedilmesinden kısa bir süre sonra başlayan fotogrametrik yöntemle harita üretimi, Birinci Dünya Savaşından sonra uçaklarda ve analog fotogrametrik aletlerde meydana gelen gelişmeler sonucunda standart bir uygulama haline gelmiştir. Bilgisayarın yaygın olarak fotogrametride kullanıma girmesiyle, 1970'li yıllardan itibaren analog yöntemlerin yerini analitik fotogrametri almaya başlamıştır. Dijital görüntülerin depolanabilmesine olanak sağlayan, daha hızlı ve daha ucuz bilgisayarların uygun fiyatlarla pazarlanmaya başlanmasıyla birlikte 1990'lı yıllardan itibaren dijital fotogrametri yaygınlaşmaya başlamıştır (Jacobsen, 2002).

Fotogrametrik yöntemle harita üretimi, yalnızca arazi çalışmalarını minimuma indirmekle kalmamış, aynı zamanda karadan ulaşılması güç olan arazi kesimlerinin hava fotoğrafı üzerinden haritalanmasını sağlamıştır. Görüntülenen detayların geometrik konumlarının belirlenmesi, ilk olarak stereo komparator yardımıyla görüntü koordinatları ve paralaksların ölçümü sonucunda arazi koordinatlarının hesaplanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Analog dönem içerisinde, bağıl ve mutlak yöneltme teknikleri ile dengeleme yöntemleri de geliştirilmiştir. Analog yöntem sonucu elde edilen sonuç ürün, doğrudan ölçülen yüksekliklerin eş yükseklik eğrileri ile gösterildiği çizgisel haritadır.

Analitik fotogrametrinin uygulamaya geçirilebilmesi için belirli oranda bilgisayar teknolojisine gereksinim duyulması nedeniyle, analog yöntemden analitik yönetime geçiş istenilen hızda olmamıştır. Bu gecikmenin temel nedeni olarak, o günün koşullarında gerek bilgisayar donanı-

mının gerekse analitik aletlerin oldukça yüksek maliyetleri gösterilebilir. Yönelme işlemini hızlandırmak ve daha yüksek doğruluk elde etmek amacıyla, başlangıçtan itibaren, bağıl ve mutlak yönelme dengeleme ile gerçekleştirilmiştir. Analitik aletlerde, dengeleme sonucu elde edilen dış yönelme parametrelerini sürekli olarak kullanılabilir olup, daha sonra kullanılacak olan görüntülere sadece iç yönelme uygulamak yeterlidir ve kamera odak uzaklığı sınırlaması yoktur. Bu gelişmelerin yanı sıra, çok zaman alıcı olan ve çok iyi yetişmiş operatör gerektiren bir yöntem olan eş yükseklik eğrilerinin doğrudan ölçümü, kısa bir süre sonra nokta gridinin daha duyarlı ölçümü şekline dönüşmüştür. Sayısal arazi modellerinin bu şekilde ortaya çıkması, yalnızca eş yükseklik eğrilerinin daha hızlı hesaplanmasına olanak sağlamakla kalmamış, aynı zamanda her çeşit hacim hesaplamaları, arazinin grafik gösterimi ve kesit alma gibi birçok uygulamayı da olanaklı hale getirmiştir. Analitik yöntemle, blok dengeleme için gerekli veri toplamayı da optimize etmek olanaklı hale gelmiştir. Bir görüntüdeki bir bağlama noktasının konumu, diğer görüntülerdeki yaklaşık konuma transfer edilebilmekte ve görüntü bindirmesine sahip bloklar daha hızlı bir şekilde ölçülebilmektedir.

Analitik fotogrametrinin analog fotogrametriye karşı ortaya koyduğu hız, elastikiyet ve doğruluk dijital fotogrametriye geçişi hızlandırmıştır. Dijital fotogrametri için dijital ortamda görüntü gereklidir. Dijital görüntü doğrudan elde edilebileceği gibi analog bir görüntünün sayısallaştırılması ile de elde edilebilir. Doğrudan dijital olarak elde edilen görüntülerin sadece uydu görüntüleriyle sınırlı olması nedeniyle, dijital sistemlerde başlangıçta sayısallaştırılmış analog görüntüler kullanılmıştır. Film bazlı analog hava fotoğraflarının sayısallaştırılması amacıyla, günümüzde çok değişik tip ve modelde tarayıcılar mevcuttur. Bu tür tarayıcılar başlangıçta yaklaşık 25 µm doğruluğuna sahip iken günümüzde 7 µm doğruluğa erişmiş durumdadırlar (Baltasvias, 1999). Taranarak veya doğrudan elde edilen dijital görüntüler sayesinde dijital aletlerdeki geometrik doğruluk sorunu ortadan kalkmıştır çünkü detayların geometrik konumu piksel adresi ile sabitlenmiştir.

Yakın zamana kadar yalnızca uydulardan elde edilebilen dijital görüntüler, artık uçaklara takılı hava kameraları ile de toplanabilmektedir. Başlangıçta dijital görüntülerle ilgili kısıtlayıcı faktör olarak depolama sorunu ortaya çıkmaktaydı ancak geliştirilen güçlü sıkıştırma yazılımları ve depolama aygıtları ile bu sorununun üstesinden gelinmiştir. Dijital iş istasyonları otomasyona da olanak sağlamakta olup, görüntülerin iç yönelmelerinin otomatik olarak yapılması (Kersten ve Haering, 1997), ışın demetleri dengelemesiyle dış yönelme parametrelerinin belirlenmesi ve otomatik havai nirengi işlemleri gerçekleştirilebilmektedir. Otomatik havai nirengi, standart bir işlem haline gelmiş olmasına rağmen, dağlık ve ormanlık alanda çalışırken dikkat edilmeli ve manuel ölçümlerle desteklenmelidir (Jacobsen, 2002).

Ayrıca, görüntü alımı öncesinde yapılan yer kontrol noktalarının tesis ve gözlem işlemleri ile dolaylı olarak gerçekleştirilen yönelme parametrelerinin belirlenmesi GPS (Global Positioning System) ve IMU (Inertial Measurement Unit) yardımıyla doğrudan belirlenebilir hale gelmiştir. Görüntü alımı esnasında, projeksiyon merkezi koordinatları GPS ile, resim dönüklükleri ise IMU ile belirlenmektedir. Sistemin performans araştırması amacıyla yapılan testlerde 5-10 cm konum, 0.005°-0.007° κ ve 0.002°-0.003° ω ve φ doğruluğu elde edilmiştir. GPS/IMU dış yönelme parametrelerini kullanarak, standart analog kameraları yatayda 5-15 cm, düşeyde ise 8-18 cm doğrulukla yönelmek mümkündür (Cramer, 2001). Sonuç olarak, GPS/IMU yardımıyla doğrudan yönelme tekniğinin; algılayıcı yönelmesi için hızlı ve esnek bir araç olduğu, pratik olarak kullanılabilir hale geldiği, algılayıcıların standart bir bileşeni haline geleceği ve dijital hava kameralarıyla birlikte yaygınlaşacağı değerlendirilmektedir (Cramer ve Stallman, 2001).

Algılayıcılarda ortaya çıkan gelişmeler

Uzaktan algılama amaçlı kullanılan görüntü algılayıcıları, yüzeydeki nesnelerin tanımlanmasında yararlanan ışın kaynağı bakımından pasif ve aktif sistemler olarak iki ana grupta sınıflandırılarak ele alınmıştır. Aynı zamanda elektro-

optik algılayıcılar olarak da adlandırılan pasif sistemler, yüzeyden yansıyan güneş ışığını algılayan algılayıcılardır. Pasif sistemlerle iyi görüntü elde edebilmek için mutlaka çok iyi hava koşullarına gereksinim duyulmaktadır çünkü çalışma prensipleri yeryüzündeki nesnelere yansıyan gün ışığının kaydedilmesine dayanmaktadır. Aktif sistemler ise algılayıcı tarafından yayılan elektro-manyetik dalgaların yüzeyden yansımalarının algılanması sonucunda yeryüzündeki nesnelere tanımlanmasını sağlayan sistemlerdir. Aktif sistemler, görüntü alımı yapabilmek için hava ve ışık koşullarına bağımlı olmadıklarından günün her saatinde ve her türlü hava şartlarında görüntü toplama yeteneğine sahiptirler.

Pasif algılayıcılar söz konusu olduğunda, ilk sırayı film bazlı hava kameraları almaktadır. Analog kameralar tarafından alınan filmlerin taranması sonucu dijital görüntü elde edilmesi dolaylı bir yöntemdir. Diğer taraftan, uçaklara takılı dijital hava kameraları, CCD (Charge Coupled Device) yongaları yardımıyla doğrudan dijital görüntü toplama olanağı sunmaktadır. Piyasadaki dijital hava kameralarından Leica GeoSystems tarafından üretilen ADS40 hat tipi CCD ile çalışmakta olup, Z/I Imaging firmasına ait DMC ve Vexcel firmasınca üretilen UCD kameraları ise alan (matris) tipi CCD kullanılmaktadır.

Yaklaşık son on yıldan buna giderek yaygınlaşan bir oranda kullanılmaya başlanan LIDAR, çalışma prensibi açısından radara benzeyen ancak radyo dalgaları yerine lazer ışını kullanan aktif bir algılayıcıdır. Bir LIDAR sistemi; lazer tarayıcı ve soğutucu, GPS ve INS (Inertial Navigation System) cihazlarından oluşmaktadır. Uçağa takılan lazer tarayıcı tarafından yayılan yüksek frekanslı kızılötesi lazer ışınlarının uçakla yer arasındaki gidiş ve dönüşlerinde geçen süre ölçülmekte ve lazer dalgasının gönderildiği andaki uçağın konum bilgileri ile birlikte kaydedilmektedir. Daha sonra, yer noktalarının üç boyutlu koordinatları (X,Y,Z) ölçüm anındaki uçak konumu ve uçak-yer vektörleri yardımıyla hesaplanmaktadır (Brovelli vd., 2002).



Şekil 1. El Salvador'daki Santa Ana Volkanı'nın SAR ile oluşturulan Sayısal Yükseklik Modeli

Diğer bir aktif algılayıcı olan SAR ise on yıldan daha fazla bir süreden beri yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama görüntüsü üreten bir radar sistemidir. SAR verisi toplayan başlıca uydular, ERS-1/2, JERS, RADARSAT-1 ve ENVISAT olarak sayılabilir. Aynı piksel boyutundaki optik görüntülerle kıyaslandığında, SAR görüntülerinin detay tanımlama gücünün daha düşük olduğu görülmektedir. Bu dezavantaja ek olarak, SAR görüntüleri görüş açısına bağımlıdır ve dağlık bölgelerde bindirme, kısalma ve gölgeleme sorunları ortaya çıkmaktadır (Jacobsen, 2003).

SAR sisteminin esas avantajı, ERS-1/2 uydularının tandem uçuşları ile başlatılan InSAR tekniğini kullanarak Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) oluşturma yeteneğine sahip olmasıdır (Şekil 1). Tek geçişle InSAR verisi ilk olarak Şubat 2000 tarihinde gerçekleştirilen on günlük uzay mekiği uçuşunda toplanmış olup, bu görev süresince yeryüzünün 60° kuzey ve güney enlemleri arasında kalan bölge görüntülenmiştir (Bamler vd, 2003).

Maliyet analizi

Verimlilik açısından bakıldığında, bir projenin maliyet bileşeni önemli bir yer tutmaktadır. Etkin kaynak yönetiminin ekonomik veri toplama gerektirdiği göz önüne alındığında, fotogrametrik harita üretimi için gerekli görün-

tünün olanaklar ölçüsünde en düşük maliyetle sağlanması gerçeği karşımıza çıkmaktadır. Ancak, “ekonomik veri toplama” kavramı, hiçbir şekilde en ucuz veriyi toplamayı değil, amaca en uygun verinin en düşük maliyetle elde edilmesi anlamını taşımaktadır. Fotogrametrik amaçlı görüntü toplamanın ekonomik boyutunun belirlenebilmesi için havadan (uçaklardan) ve uzaydan (uydulardan) alınan görüntülerin maliyetleri ayrı ayrı ele alınmıştır.

Uçaklardan alınan görüntülerin maliyet analizi

Havadan alınan görüntüler, bir uçağa takılı algılayıcılar tarafından toplanan görüntülerden oluşmaktadır. Havadan görüntü alımı; uçak ve algılayıcı maliyetlerini içeren uçuş ve analog kamera ile çekilen hava filmlerinin banyo edilmesi ve taranması veya dijital hava kameraları ile toplanan verilerin işlenmesi gibi yer işlemlerinden oluşmaktadır.

Uçak giderleri, yıllık sabit giderler ve işletme giderlerinden oluşmaktadır. Yıllık sabit giderler, hangar giderleri, sigorta ödemeleri, çalışanların ücretleri ve pilot eğitimi, bakım ve navigasyon yayınları abonelik ücretleri gibi diğer idari giderlerden oluşmaktadır. İşletme giderleri ise saat bazında yakıt ve bakım giderlerini kapsamaktadır. Havadan fotoğraf alım ekibi, pilot(lar), navigatör/kamera operatörü ve uçak makinistinden oluşur. Bazı ekipler pilot/makinist ve navigatör/kamera operatörü olmak üzere iki kişiden oluşabilmektedir.

Kamera gideri analog ve dijital kamera için bakım ve personel giderlerini içermekte olup, analog kamera kullanıldığı durumlarda ek olarak film giderleri göz önüne alınmalıdır. Uçuş sonrası yerde gerçekleştirilen işlemler bakım ve personel giderlerini kapsar ancak pozlanan hava filmlerinin banyo edilmeleri de hesaba katılmalıdır.

Havadan fotoğraf alım uçakları; sırasıyla 10000, 20000 ve 30000 ft uçuş tavanına sahip alçak, orta ve yüksek irtifa uçakları olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılabilirler. Yıllık sabit giderlerin saatlik işletme maliyetindeki payının belirlenebilmesi için yıllık ortalama uçuş süresine ge-

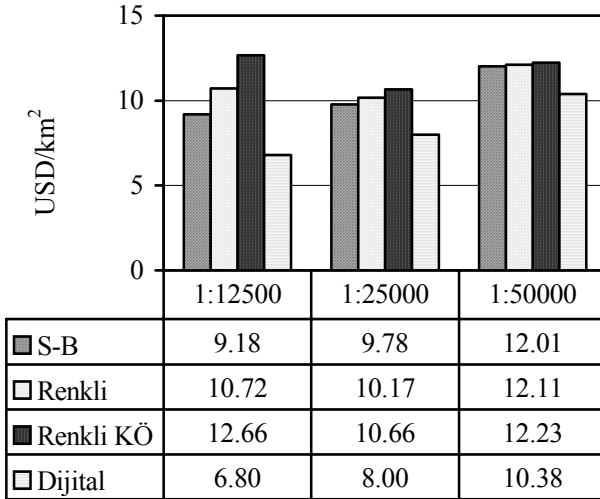
reksinim duyulmakta olup, bu miktar 400 saat olarak alınmıştır. Siyah-beyaz, renkli ve renkli kızılötesi olmak üzere üç (siyah-beyaz kızılötesi eklenirse dört) tip film kullanılan analog kameralara kıyasla topladığı görüntüleri dijital depolama aygıtlarına yükleyen dijital kameraların işletme giderlerinin belirlenmesi daha kolaydır. Bir fotoğraf alım işinde gereksinim duyulan film miktarı fotoğraf ölçeğine ve görüntüsü alınacak bölgenin büyüklüğüne bağlıdır. Hava filmlerinin maliyetlerindeki farklılıktan dolayı film giderleri ayrı ayrı verilmiştir. 40000 km² büyüklüğünde ve 1500 m referans yüksekliğine sahip bir bölgenin 23*23 cm resim boyutlarına ve 150 mm odak uzaklığına sahip bir kamera ile %60 ileri ve %30 yan bindirmeli olarak 1:12500, 1:25000 ve 1:50000 fotoğraf ölçeklerinde uçulduğu varsayılarak hesaplanan havadan fotoğraf alımı işletme giderleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Havadan fotoğraf alımı maliyeti

İrtifa (ft)	10000	20000	30000
Ölçek (1/...)	12500	25000	50000
Uçak (USD/s)	522	643	881
Analog Kamera (USD/s)	315	315	315
S-B Film (USD)	32237	8105	2072
Renkli Film (USD)	93917	23613	6038
Renkli KÖ Film (USD)	171500	43120	11025
Dijital Kamera (USD/s)	158	158	158

Tablo 1 incelendiğinde, kamera maliyetinin bütün ölçekler için sabit olduğu, ancak fotoğraf ölçeğine bağlı olarak uçak giderlerinin artmasına karşın film giderlerinin azaldığı görülmektedir. Uçak giderlerindeki artışın nedeni küçük ölçekli görüntü alım yeteneğine sahip yüksek performanslı uçakların yüksek işletme giderleridir. Diğer taraftan, film giderlerindeki düşüş ise küçük ölçeğe bağlı olarak daha az film kullanımına ve daha kısa laboratuvar çalışmasına bağlı olarak ortaya çıkan bir sonuçtur.

Uydu görüntü maliyetleri ile karşılaştırmaya olanak sağlayacak şekilde, hava fotoğrafı maliyetleri alan bazında hesaplanarak Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Alan bazında hava fotoğrafı maliyeti

Uydu görüntülerinin maliyet analizi

Yer gözlem uydularına takılı algılayıcılar tarafından elde edilen uydu görüntüleri, uçaklardan alınan görüntüye karşı ciddi bir alternatif olmaya başlamıştır. Fotogrametrik harita üretimine uygun yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri son on yıl içinde ticari piyasadan sağlanabilir duruma gelmiştir. Son beş yıl içerisinde ise yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin çözünürlükleri bir metre düzeyinin altına inmiştir.

Günümüzde Ikonos, Quickbird, EROS ve Orbview gibi uydular özel sektör tarafından işletilirken, SPOT, Landsat ve IRS gibi uydular ise devlet kuruluşları tarafından işletilmektedir. Tablo 2’de değişik ölçeklerde fotogrametrik harita üretiminde kullanılabilen bazı uzaktan algılama uydularının görüntü maliyetleri sunulmuştur.

Uydu görüntü maliyetleri incelendiğinde, görüntü çözünürlüğü ile maliyetin doğru orantılı olduğu görülmektedir. Uydu görüntü maliyetini artıran diğer bir etken de görüntünün kapsadığı elektromanyetik bant aralığı olup, aynı uyduya ait çok bantlı görüntü pankromatik görüntüye göre daha pahalı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yatırım maliyet analizi

Bir görüntüleme sisteminin ana bileşenleri; platform, algılayıcı ve yer tesisleri olarak sayılabilir.

Tablo 2. Uydu görüntüsü maliyetleri

Uydu	Görüntü	Çözünürlük (m)	Bant	Maliyet (USD/km ²)
Quickbird	Standart	0.61	PAN	22.00
		2.44	MS	22.00
Ikonos	Geo	1.00	PAN	21.50
		4.00	MS	21.50
EROS	Standart	1.80	PAN	8.00
		5.80	PAN	0.51
IRS	LISS-IV	5.80	MS	0.82
		25.00	MS	0.14
SPOT	Standart	2.50	PAN	1.72
		5.00	MS	1.72
		10.00	PAN	0.97
		20.00	MS	0.97
Landsat	ETM+	15.00	MS	0.75

Görüntü alımı; uçaklara takılı sistemlerle havadan, uydulara takılı sistemlerle uzaydan olmak üzere iki grupta ele alınacaktır. Bir havadan fotoğraf alım sistemi kurmak söz konusu olduğunda temel bileşenler olarak uçak, hava kamerası ve hangar sayılabilir. Diğer taraftan, uzay aracı, algılayıcı ve yer istasyonu da bir uydu görüntü sisteminin ana bileşenlerini oluşturmaktadır.

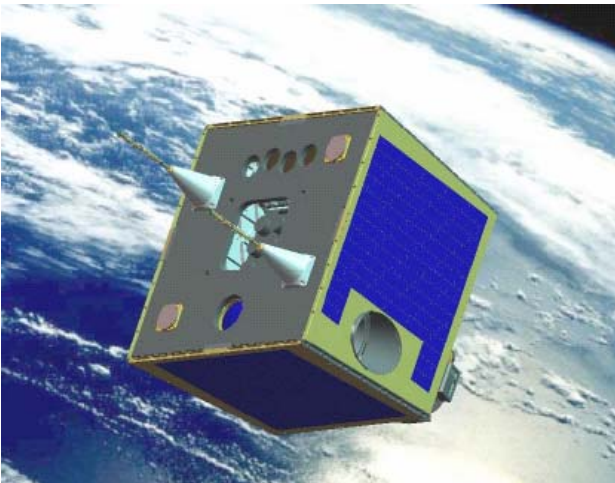
Gerek havadan gerekse uzaydan görüntü alımı için uçak uçuşlarında kullanılacak havaalanları ve navigasyon kolaylıkları ile uygun fırlatma araçları ve uyduları yörüngelerine oturtacak fırlatma rampalarının yer aldığı uzay merkezleri gibi büyük çaplı yatırımlar gerekmektedir. Çok amaçlı kullanıma açık olan ve yüksek maliyetli bu tür büyük yatırımlar normal olarak devlet tarafından gerçekleştirilmektedir. Örneğin, havaalanları ve navigasyon kolaylıkları yalnızca havadan fotoğraf alım uçaklarınca kullanılmayıp diğer hava trafiklerince de kullanıldığı gibi uzay merkezleri de yalnızca uzaktan algılama amaçlı uyduları fırlatmak için değil aynı zamanda diğer uydular için de kullanılmaktadır.

Günümüzde bir veya daha fazla fırlatma üssü işleten yalnız onbir ülke (ABD, Rusya, Çin,

Japonya, Hindistan, İsrail, Brezilya, Avustralya, İtalya ve İspanya) vardır çünkü böyle bir tesise sahip olmak için yalnızca inşaat ve işletme giderlerini finanse etmek yeterli olmayıp aynı zamanda yüksek teknolojiye gereksinim duyulmaktadır. Konu tüm ayrıntıları ile ele alındığında, bir uzay üssünün kurulması için birkaç milyar USD söz konusu olmaktadır.

Uzaya uydu göndermek önemli ölçüde teknolojik birikim ve finansal kaynak gerektirmesine rağmen, uzay üsslerine sahip olmayan ülkeler de fırlatma işlemi için daha önce belirtilen ülkelerin işlettiği üssleri kullanarak kendi uydularını uzaya gönderebilmektedir. Uydunun yapımı ve işletimi uyduyu uzaya gönderme işlemine göre daha kolay gerçekleştirilmekte olup, uydu teknolojisi pazarlayan ve işbaşı eğitim veren belirli merkezler vardır.

Bu merkezlerden biri olan ve İngiltere’de yerleşik Surrey Satellite Technology Ltd ile TÜBİTAK BİLTEN arasında yapılan sözleşme çerçevesinde teknoloji transferi ile yapımı gerçekleştirilen Bilsat-1 (Şekil 3) uydusunun 27 Eylül 2003 tarihinde Rusya’nın Cosmos-3 roketi ile uzaya gönderilmesiyle Türkiye de kendi uzaktan algılama uydusuna sahip ülkeler arasına girmiştir. 129 kg ağırlığındaki Türkiye’nin ilk uzaktan algılama uydusu Bilsat-1, 686 km yüksekliğindeki yörüngesinden pankromatik görüntüyü 12 m ve çok bantlı görüntüyü ise 23 m çözünürlükle toplama yeteneğine sahiptir (Leloğlu ve Sweeting, 2002).



Şekil 3. Bilsat-1 uydusu

Tablo 3. Havadan fotoğraf alımı yatırım maliyeti

Gider Kalemi	Maliyet (USD)
Alçak İrtifa Uçağı	800000
Orta İrtifa Uçağı	2500000
Yüksek İrtifa Uçağı	5000000
Analog Kamera	600000
Dijital Kamera	850000
Uçak Hangarı	1500000
Laboratuvar	800000

Havadan fotoğraf alımı açısından altyapı konusu incelendiğinde, havaalanları ve navigasyon kolaylıklarının hemen her ülkede gelişmişlik düzeyi ile doğru orantılı nicelik ve nitelikte var olduğu görülmektedir. Bu nedenle, bu konuyu fotogrametrik amaçlı görüntü elde etme maliyet analizinde göz önüne almaya gerek yoktur. Tablo 3’te havadan fotoğraf alım biriminin kurulabilmesi için gerekli tipik maliyetler verilmiştir.

Standart bir uçağın havadan fotoğraf alım konfigürasyonuna getirilebilmesi için modifiye edilmesi gerektiği göz ardı edilmemelidir. Bu modifikasyon işlemi; uçağın gövde tabanında kamera yuvası açılmasını ve elektrik sisteminde bir dizi değişikliği kapsar. Tablo 3’de verilen uçak maliyetleri modifikasyon giderlerini de içermekte olup, bu değerler havadan fotoğraf alım sisteminin edinim maliyetleri ile ilgili fikir vermek amacını taşımaktadır.

Sonuç

Uçaklardan alınan hava fotoğrafları, fotogrametrik harita üretimi için artık tek alternatif olmaktan çıkmıştır çünkü gerek dijital hava kameralarından alınan görüntüler gerekse uydulardan alınan görüntüler piyasadan elde edilebilmektedir. Görüntü alım kaynağı belirlenmeden önce yönetim kademesindeki yetkili personel tarafından konu değişik yönleriyle ele alınmalı ve maliyet etkin olan ürün seçilmelidir.

Çözünürlüğü bir metrenin altına inmiş olan uydu görüntüleri; bazı fotogrametrik uygulamalar için yeterli olmalarına karşın, özellikle büyük

ölçekli harita olmak üzere, tüm fotogrametrik gereksinimleri karşılayacak düzeye ulaşmış değildir. Kaynakların verimli bir şekilde kullanımı esas alındığında, kullanıcıların üretim sonucunda ulaşılması hedeflenen doğruluğu sağlayabilecek en ekonomik görüntü seçimi yapmalarının en doğru hareket tarzı olacağı değerlendirilmektedir.

Büyük ölçekli fotogrametrik harita üretimi için hava fotoğrafına olan gereksinimin süreceği söylenebilir ancak gerek çözünürlük gerekse maliyet yönleriyle ele alındığında uçaklara takılabilen yeni nesil dijital hava kameraları analog hava kameralarına göre oldukça iyi performans sergilemektedir. Dijital ve analog görüntülerin yatırım ve işletme maliyetleri karşılaştırıldığında, dijital teknolojinin daha avantajlı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Çok amaçlı uzaktan algılama uydularının tasarım, yapım ve işletim maliyetleri oldukça yüksektir. Diğer taraftan, hafif, belirli bir amaç için tasarlanmış ve daha ekonomik olan yeni nesil yer gözlem uyduları daha çok ilgi görmeye başlamıştır

Mevcut koşullar değerlendirildiğinde, uzaya yalnızca fotogrametrik amaçlı görüntü toplayacak uydu göndermek yerine, bu amaçla ticari uydu işleten şirketlerden satın alınan daha ekonomik olduğu değerlendirilmektedir.

Kaynaklar

- Baltsavias, E. P., (1999). On the performance of photogrammetric scanners, *Photogrammetric Week'99*, D. Fritsch and R. Spiller (Eds.), Wichmann Verlag, Heidelberg, 155-173.
- Bamler, R., Eineder, M., Kampes, B., Runge, H. ve Adam, N., (2003). SRTM and beyond: Current situation and new developments in spaceborne SAR and InSAR, *Proceedings of Joint Workshop of ISPRS Working Groups I/2, I/5, IC WG II/IV and EARSeL Special Interest Group: 3D Remote Sensing, High Resolution Mapping from Space 2003*, Oct. 6-8, 2003, Hannover, Germany.
- Brovelli M. A., Cannata M. ve Longoni U. M., (2002). Managing and processing LIDAR data within GRASS, *Proceedings of the Open source GIS - GRASS users conference 2002 - Trento, Italy*, 11-13 September 2002.
- Cramer, M. ve Stallmann, D., (2001). On the use of GPS/inertial exterior orientation parameters in airborne photogrammetry, *Proceedings of the OEEPE workshop on "Integrated sensor orientation"*, Hannover, Germany.
- Jacobsen K., (2002). State-of-the-art in mapping - past, present and future, *INCA workshop 2002*, Ahmedabad, India.
- Jacobsen, K., (2003). DEM Generation from satellite data, *EARSeL Ghent 2003, Remote Sensing in Transition*, Millpress, ISBN 90-77017-71-2, 273-276.
- Kersten, T. ve Haering, S., (1997). Automatic interior orientation of digital aerial images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **63**, 1007-1011.
- Leloğlu, U.M. ve Sweeting, M., (2002). BILSAT-1: A case study for the surrey satellite technology ltd know-how transfer and training programme, *53rd International Astronautical Congress*, Houston, Texas, USA, October 10-19, 2002.