

UZAKTAN ALGILAMA AMAÇLI UYDU GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ (SATELLITE IMAGING SYSTEMS FOR REMOTE SENSING)

**Mahmut ÖZBALMUMCU
Mustafa ERDOĞAN**

ÖZET

Arazinin topoğrafik yapısı, yer altı ve yer üstü doğal kaynaklarının araştırılması ile ilgilenen pek çok meslek disiplinde, uydu görüntülerine olan ihtiyaç her geçen gün hızla artmaktadır. Başlangıçta iklim ve meteorolojik olaylar ile okyanusları incelemek, büyük kara parçalarını görüntülemek amacıyla kullanılan ve çözünürlükleri bir veya birkaç kilometre civarında olan uydu görüntüleri; günümüzde 1:25.000-1:5.000 arası ölçeklerde topoğrafik harita üretimi, hassas konum belirlemesi, bölge ve şehir planlaması, kentsel alt yapı çalışmaları gibi çok yüksek duyarlık (1-4 m) isteyen çalışmalarda kullanılmaya başlamıştır. Uydu görüntülerinde meydana gelen en önemli gelişmeler arasında; çözünürlüklerinin artması, stereo görüntü elde edilebilmesi, görüntülerin netliği ve kalitesinin mükemmel sayılabilecek bir düzeye erişmesi, elektromanyetik spektrumun görünür ışık ve görünür ışık dışında kalan bazı bölgelerinde görüntü alma olanağına kavuşturulması, tek renkli (Pankromatik), çok renkli (Multispektral, Hiperspektral), tematik ve radar görüntü verilerinin alınabilmesi sayılabilir. Son yıllarda uydu görüntülerinde meydana gelen büyük gelişmeler sonucunda, özellikle orta ve büyük ölçekli harita üretiminde uydu görüntülerinin kullanımının yaygınlaştığı gözlenmektedir.

ABSTRACT

Many disciplines interested in the investigation of the topographical structure of the field and natural resources over and under the ground surface extremely need to use several satellite images. In the beginning, most satellite images with very low ground resolutions (having one or a few kilometers resolution) have been widely used to investigate and, follow the climate and weather conditions, meteorological events, oceans and, to view the large land surfaces. Nowadays, many satellite images are being used in some activities which demand of having a very high accuracy (1-4 m) such as the production of the 1:25.000 to 1:5.000 scale topographical maps, obtaining spatial information very accurately about the ground features and points, performing of the region and city planing and infrastructure activities in the urban areas. The most important developments occurred in the satellite images are the increase of their ground resolutions, obtaining of stereo imaging capabilities, improving of their image qualities and clearness at inreadable degrees, obtaining of all kinds of satellite images such as Panchromatic, Multispectral, Hyperspectral, Thematic and Radar images in some regions (in visible and invisible bands) of the Electromagnetic Spectrum. As a result of these huge developments occurred in the satellite images recently, it has been seen that several satellite images will be able to widely used for the production of the middle and large scale topographical maps in the future.

1. GİRİŞ

Dünya etrafında yapay uyduların yörüngeye yerleştirilmesiyle birlikte bilimsel araştırma alanında yeni bir çağ başlamıştır. **SPUTNIK** adını taşıyan ilk yapay yer uydusu, eski adı ile SSCB tarafından 4 Ekim 1957 tarihinde uzaya fırlatılmıştır. Uydu görüntülerinin başlıca özelliği, hava fotoğraflarına oranla çok geniş yeryüzü alanlarını kaplaması ve topoğrafyaya ilişkin büyük çapta konumsal veri içermesidir. Uydu görüntülerinin Sayısal Coğrafi Veri Tabanları (CVT) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) içindeki etkinliği ve kullanım oranı her geçen gün hızla artmaktadır /5/.

Son yıllarda uydu sistemlerinde meydana gelen çok önemli teknolojik gelişmeler sonucunda, uydulardan yüksek çözünürlükte kaliteli görüntüler elde edilmesi olanaklı hale gelmiştir. Başlangıçta yalnızca çok gelişmiş ülkeler tarafından gerçekleştirilen uydu görüntüleme sistemleri, günümüzde çok sayıda ülke ve ticari kuruluş tarafından kullanıma sunulmaya başlamış, bunun sonucunda kaliteli uydu görüntüsü temini konusunda bir rekabet ortamı doğmuştur /7/.

Uyduları en genel anlamda ikiye ayırmak olanaklıdır:

- İnsanlı uydular : Skylab, Gemini, Apollo, Uzay mekiği gibi.
- İnsansız uydular: Landsat, Meteosat, Seasat, Goes, Tiros, Meteor gibi /6/.

Görüntü verilerini, algılayıcı türlerine bağlı olarak üç grupta toplamak mümkündür:

- Fotoğrafik sistemlerden elde edilen görüntüler,
- Tarayıcılardan elde edilen görüntüler,
- Radarlardan elde edilen görüntüler /6/.

Uydu görüntülerinden muhtelif ölçeklerde topoğrafik harita üretilebilmesi için, üç türde kalite beklentisi ve doğruluğun karşılanması gerekmektedir:

- Konum doğruluğu (planimetrik doğruluk),
- Yükseklik doğruluğu (düşey doğruluk),
- Detay yorumlama ve tanımlama doğruluğu /6/.

2. GÜNÜMÜZDE YAYGIN OLARAK KULLANILAN UYDULAR İLE MEVCUT VE YAKIN GELECEKTEKİ DURUMUN TOPOĞRAFİK UYGULAMALAR VE HARİTA ÜRETİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Günümüzde uydu görüntülerinin piksel boyutlarında meydana gelen küçülme nedeniyle konumsal ayırma gücü artmış olup, görüntülerden, **5 m** ve daha küçük boyuttaki insan yapısı cisimleri ayırt etmek olanaklı hale gelmiştir. İçinde bulunduğumuz dönemde uydu görüntülerinde meydana gelen en önemli gelişme; arazideki ayırma gücünün siyah-beyaz görüntülerde 1 m, renkli görüntülerde ise 4 m' ye ulaşmasıdır. Bu değerler, 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üretimi için gerekli olan konum ve yükseklik doğruluklarını sağlamaya elverişlidir. 1-4 m ayırma gücüne sahip yüksek duyarlıklı uydu görüntülerinin, 1:10.000 hatta 1:5.000 ölçekli görüntü haritaların üretimi için de yeterli olabileceği düşünülmektedir. Ancak bir görüntünün 15 km x 15 km, 12 km x 12 km veya daha küçük bir alan kaplaması, maliyet açısından bir dezavantaj olarak gözükmektedir. Uydu görüntüleri ile ilgili olarak meydana gelen diğer önemli bir gelişme de, aynı yörünge üzerinde 5-10 saniye gibi çok kısa zaman aralıklarında ve aynı anda stereo görüntü elde edilebilmesi olanağının elde edilmesidir /5/.

Yeni uydu sistemleri, yüksek maliyetlerin düşürülmesi için genellikle belli bir amaca yönelik küçük sistemler şeklinde tasarlanmaktadır. Bu tip uydu görüntüleme sistemlerinin geliştirilmesinde, genellikle iki temel yaklaşımdan birisi uygulanmaktadır. Birinci yaklaşım, mevcut uydu sistemlerinin geliştirilerek kullanımına devam edilmesi; ikinci yaklaşım ise, tamamen yeni ticari uydu sistemlerinin geliştirilmesidir.

Belirtilen iki yaklaşımın bazı temel özellikleri bulunmaktadır. Mevcut sistemlerin devamı niteliğinde olan sistemlerin bir bölümü uluslararası yeryüzü gözlem projeleri için geliştirilmiş olup, kaynakları uluslararası fonlardan sağlanmaktadır. Bu tür sistemler çoğunlukla bilimsel amaçlı çalışmalarda kullanılan, maliyeti yüksek uydu sistemleridir. Bu uydular birçok farklı amaçlı kullanımlar için tasarlandıklarından, çeşitli algılayıcılar ve çevre birimleri ile donatılmışlardır. Endüstriyel uygulamalarda oldukça sınırlı düzeyde kullanılan bu uydu sistemlerine, ASTER, ENVISAT, ADEOS, ALOS sistemleri örnek olarak verilebilir. Bunların dışında, ulusal uydu sistemlerinin devamı niteliğinde olan ve teknolojik gelişmeler sayesinde daha düşük maliyetle üretilen, Fransa'nın SPOT-5 ve ABD'nin LANDSAT-7 uydu sistemlerini de bu gruba dahil etmek mümkündür /8/.

İkinci yaklaşımda belirtilen yeni ticari uydu sistemlerine örnek olarak, RADARSAT ve IRS-1C serisi uydular verilebilir. Bu gruba dahil olan diğer sistemler, ABD'nin askeri amaçlı uydu teknolojisinin üç ayrı Amerikan şirketine dağıtılmasıyla meydana gelmiştir:

- Space Imaging Satellite (Lockheed, Raytheon, Mithsubishi, Kodak),
- EarthWatch (Ball Aerospace, Hitachi, Telespazio, CTA Space Systems, Datron, MacDonald Dettwiler),
- OrbView (Orbital Science Corporation, EIRAD, Fairchild, MDA, PC. App. Sci.).

Yeni geliştirilen uydu sistemlerinde meydana gelen önemli gelişmeler şunlardır:

- Aynı gözlem koşulları altında stereo görüntü elde edilmesi olanaklı hale gelmiştir.
- Anlık pozlama tekniği kullanılmaktadır.
- CBS ile bütünleşebilen kaliteli sayısal verilerin elde edilmesi olanaklıdır.
- Pankromatik modda 1 m, renkli modda 4 m ayırma gücüne ulaşılmıştır.
- Yer istasyonuna sahip ülkeler uyduya komuta etme olanağına kavuşmuşlardır /3/.

a. Günümüzde Yaygın Olarak Kullanılan ve Gelecekte de Kullanımına Devam Edilmesi Beklenen Uydu Görüntüleri

(1) SPOT-1, 2, 3, 4 Uydu Görüntüleri

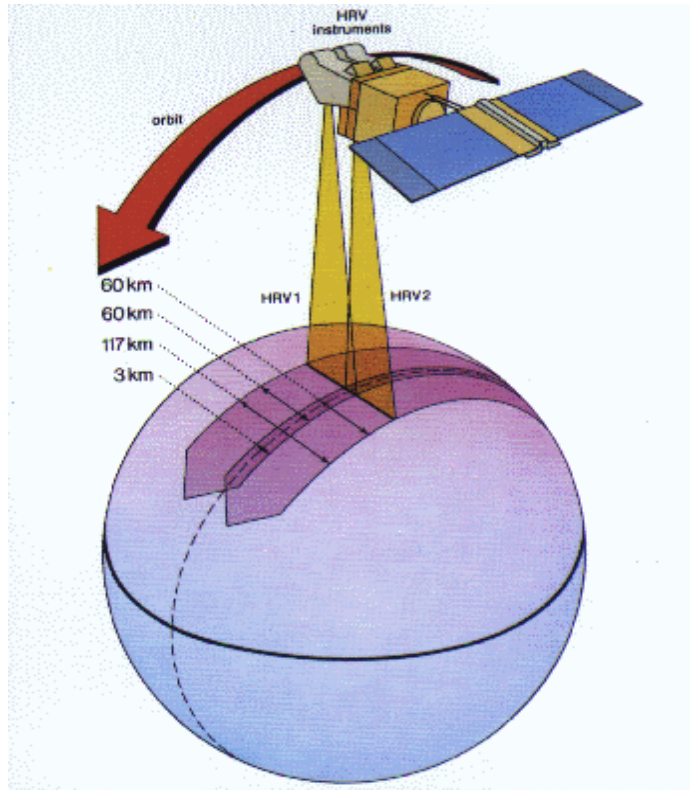
SPOT uydusu ESA (European Space Agency, Avrupa Uzay Ajansı) tarafından 22 Şubat 1986'da Ariane roketi ile uzaya fırlatılmıştır. Belçika ve İsveç de SPOT programını desteklemiş ve üye olmuşlardır. İlki 1986, ikincisi 1990, üçüncüsü 1993 ve dördüncüsü 1997'de uzaya fırlatılan ve halen görev yapmakta olan SPOT uyduları, kartografik amaçlı uzaktan algılama sistemidir /11/.

SPOT uydusu üzerinde bulunan ve birbirinin aynısı olan iki adet HRV aleti, Pankromatik (P) ve Multispektral (XS) modlarda algılama yapabilmektedir. HRV aletlerinin görüş açısı $\pm 7.5^\circ$ arasında iken düşey görüş yaptığı kabul edilir. Belirtilen bu açı değerinden daha büyük

alımlar ise eğik görüş olarak nitelendirilir. Her iki HRV aleti de eğik görüş yapma yeteneğine sahiptir.

SPOT uydusunun temel özellikleri şunlardır:

- ◆ Uydu yörüngesinin araziden itibaren yüksekliği yaklaşık 830 km'dir.
- ◆ Düşey gözlemede bir satırda Pankromatik (P) modda 6000, Multispektral (XS) modda 3000 adet piksel taranmaktadır.
- ◆ **Pankromatik (P)** modda arazideki ayırma gücü **10 m**'dir.
- ◆ **Multispektral (XS)** modda 3 ayrı bant için arazideki ayırma gücü **20 m**'dir.
- ◆ Uydu, nadir doğrultusunda düşey ve nadir dışı eğik gözlemlerle maksimum $\pm 27^\circ$ 'lik bir açıyla görüntü alımı yapabilmektedir. Bu olanak sayesinde, değişik aralıklarla aynı arazi bölgesi tekrar görüntülenebilmekte ve stereo görüntü elde edilebilmektedir.
- ◆ Güneş uyumlu bir yörüngesi vardır.
- ◆ Uydunun aynı yerden ardışık iki geçişi arasındaki zaman farkı 26 gündür.
- ◆ **Nadir** gözleminde iki adet HRV aletinde mevcut CCD satır tarayıcıları ile 117 km genişliğinde bir alan taranabilir. İki komşu alan arasında 3 km'lik bir bindirme ile **60 km x 60 km**'lik alan görüntülenebilmektedir (Şekil-1).
- ◆ Nadir dışı eğik gözlemlerde, arazide 950 km genişliğindeki bir alanda herhangi bir yerin görüntüsü alınabilmekte ve toplam 60 km x 80 km'lik bir alan görüntülenebilmektedir.
- ◆ Polar (kutupsal) bir yörüngeye sahip olduğundan, 84 derece kuzey ve 84 derece güney enlemine kadar görüntü alınabilmektedir.
- ◆ Uydunun istenen bir bölgede görüntü alımı için programlanması olanaklıdır /11/.



Şekil-1: SPOT Uydusunun Görüntü Alım Tekniği

SPOT uydu görüntülerinin ayırma gücünün yüksek olması, stereo görüntü sağlaması ve özellikle iki bant bütünleşmesi (P+XS) yapıldığında oldukça iyi sonuçlar vermesi nedeniyle, özellikle 1:50.000 ölçekli topoğrafik harita üretimi ve revizyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. SPOT uydu görüntülerinin ölçeklerinin çok küçük olması nedeniyle, görüntülerden ancak çok net olarak seçilebilen detayların kıymetlendirilmesi ve revizyonu yapılabilmekte; bu durumda söz konusu ölçekteki bir topoğrafik haritada yer alması gereken doğal ve yapay detayların tamamı görülememektedir /7/.

(2) LANDSAT-1 ,2, 3, 4, 5 Uydu Görüntüleri

LANDSAT uydularının ilki 1972 yılında uzaya fırlatılmıştır. Bu uydunun o zamanki kısa adı **ERTS-1**'dir. Uydunun temel amacı, yeryüzü kaynaklarının araştırılmasıdır. 1975 yılında ismi **LANDSAT** olarak değiştirilmiş ve bu tarihte fırlatılan ikinci uydu Landsat-2 olarak faaliyete geçmiştir. Daha sonra sırasıyla; 1978 yılında Landsat-3, 1982'de Landsat-4 ve 1984'te Landsat-5 uyduları uzaya gönderilmiştir. Landsat-4 uydusunun atıldıktan kısa bir süre sonra arızalanması nedeniyle, 1 Mart 1984'de fırlatılan Landsat-5 uydusu Landsat-4 için planlanan görevleri yerine getirmektedir.

Landsat-1, 2, 3 uydularının yörünge yüksekliği 920 km, Landsat-4, 5'in 705 km' dir. Landsat-1, 2, 3 uyduları dünya etrafındaki bir turunu 103.26 dakikada tamamlar. Yani günde 14 tur yapar ve geçtiği bir yörüngeden, 18 gün sonra tekrar geçer. İki yörünge izinin birbirinden uzaklığı, ekvatorda 2875 km' dir. Landsat görüntülerinin, sınırlı düzeyde de olsa stereoskopik olarak incelenmesi olanağı mevcuttur /12/.

LANDSAT uydularında üç adet görüntüleme sistemi kullanılmaktadır:

- RBV (Return Beam Vidicon, Dönel Işınlı Kamera) sistemi,
- MSS (Multispectral Scanner, Çok Bantlı Tarayıcı) sistemi,
- TM (Thematic Mapper, Tematik Harita Yapımı) sistemi.

(a) **RBV sistemi:** Aynı anda yeryüzünün aynı bölgesini **185 km x 185 km** boyutunda görüntülemeyi amaçlayan üç adet televizyon türü kameradan oluşmaktadır. Kameraların arazideki ayırma gücü **80 m**'dir. Elde edilen bantlar 1, 2, 3 ncü bantlardır. LANDSAT-3'te kamera sayısı ikiye indirilmiş olup, ayırma gücü **40 m**' dir.

(b) **MSS sistemi:** İki görünen dalga bandında olmak üzere toplam 4 bantta ve **185 km x 185 km** genişliğinde görüntüleme yapan bir radyometredir. Döndürme yerine salınan ayna sistemi kullanılmıştır. Bu ayna her 33 milisaniyede bir salınmaktadır. MSS, uydunun güneye doğru hareketi sırasında, her satırı batıdan doğuya doğru tarar. MSS'in arazideki ayırma gücü **79 m**' dir.

(c) **TM algılayıcı:** Landsat-4 uydusu, **Thematic Mapper (TM)** ismi verilen yeni geliştirilmiş çok bantlı bir algılayıcı taşımaktadır. TM, yedi çalışma bandına sahiptir. TM'nin 6 ncı bandı hariç diğerlerinin uzaysal ayırma gücü **30 m**'dir. 6 ncı bandı ise **120 m** ayırma gücüne sahip olan termal banttır.

Landsat-1, 2, 3'te RBV ve MSS, Landsat-4, 5'te ise MSS ve TM algılayıcıları kullanılmaktadır. Landsat-4 ve 5 bir günde 14.5 tur yapar, bu tur 99 dakika sürer, aynı yörüngeden bir daha geçişi 16 gün sonra gerçekleşir. Landsat-1, 2 ve 3'te bulunan MSS'in

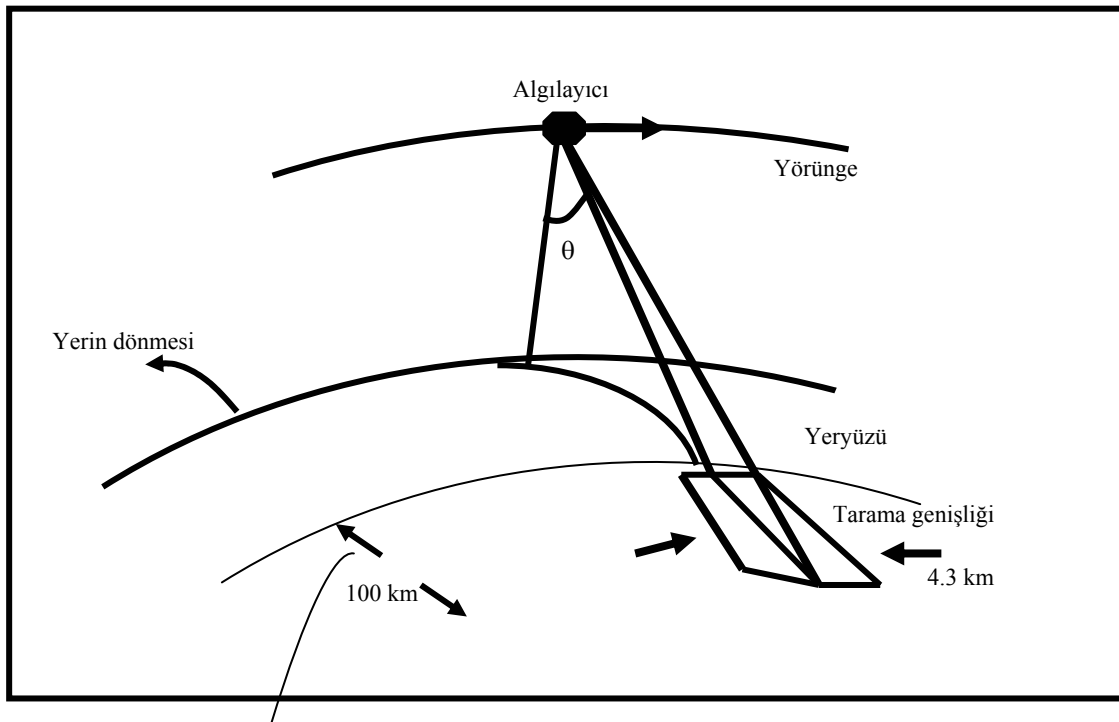
arazideki ayırma gücü 79 m x 79 m' dir. Landsat-3'teki MSS'te bulunan termal bandın piksel boyutu da 240 m x 240 m'dir. Landsat-4 ve 5'te bulunan TM algılayıcısının arazideki ayırma gücü; termal bantta 120 m x 120 m, diğer bantlarda 30 m x 30 m'dir. Landsat-4 ve 5'teki MSS' lerin ayırma gücü sırasıyla, 81.5 m ve 82.5 m olarak değiştirilmiş olup, görüntü merkezinde 56 m civarındadır. Landsat-TM uydu görüntüleri ile çeşitli ülkelerde yapılan araştırma ve testlerde, detay ve eş yükseklik eğrilerine ilişkin konum ve yükseklik doğruluğu ± 20 m civarında bulunmuştur /6/.

(3) ERS-1, 2 SAR Uydu Görüntüleri

ERS-1 uydusu ile alınan görüntüler **SAR** verileridir. İlk olarak 1950 yıllarında geliştirilen **SLAR** sistemi ile, askeri alanda kullanılmaya başlayan **RADAR** algılama sistemleri; anten tasarımında ve kayıt sistemlerindeki gelişmeler sonucunda günümüzde çok değerli bir uzaktan algılama amaçlı veri toplama sistemi haline gelmiş olup; jeoloji, jeofizik, oşinografi, ormancılık gibi birçok bilim dalında kullanılmaya başlamıştır. ERS-1/2 radar uydusu, farklı fakat birbirini tamamlayıcı özelliğe sahip çeşitli algılayıcı sistemleri bünyesinde bulundurmaktadır /10/. ERS-1 SAR uydusunun görüntüleme geometrisi Şekil-2'de gösterilmiştir.

ERS-1 SAR uydusunun özellikleri şunlardır:

- Yörünge eğikliği : 98° güneş senkronizasyonlu,
- Nadir dışı eğim açısı : 23.5° ,
- Uzaysal ayırma gücü : **26-33 m**,
- Görüntü boyutu : 100 km x 100 km,
- Bir yeri örtme periyodu : 3, 35, 176 gün,
- Yörünge yüksekliği : 785 km,
- Tarama genişliği : 100 km /4/.



Şekil-2: ERS-1 SAR Uydusunun Görüntüleme Geometrisi

OEEPE tarafından yapılan testler sonucunda; SAR verilerinin, bölgenin mevcut eski haritası ile birlikte kullanılarak, topoğrafyada meydana gelen değişikliklerin tespiti ve harita revizyonu amaçları ile yalnız başlarına veya diğer çok bantlı uydu verileriyle birleştirilerek kullanılabilmesi kanıtlanmıştır. Ancak ERS-1 SAR verilerini kullanarak topoğrafik harita üretimine ilişkin olarak yapılan uygulamalarda çeşitli sorunlarla karşılaşıldığı; bu uydu görüntülerinin diğer uydu görüntülerini tamamlayıcı nitelikte bir veri kaynağı olarak kullanılmasının daha uygun olacağı anlaşılmıştır /4/.

(4) KVR-1000 ve Diğer Rus Uydu Görüntüleri

(a) Çeşitli Rus Uydu Görüntüleri: **KFA-1000 Kamerasının** ayırma gücü **5-10 m**, asal uzaklık değeri 1013 mm ve resim formatı 30 cm x 30 cm'dir. **MK-4 Kamerası** 4 objektifli olup, 300 mm asal uzaklık ve 18 cm x 18 cm resim boyutuna sahiptir. **12-24 m** çözünürlüğe sahip görüntü elde etmektedir. **KATE-200** sistemi ise **10-30 m** ayırma gücüne sahip olup, 18 cm x 18 cm boyutlarında görüntü elde etmektedir. Her üç kamera sistemi de ileri bindirmeli (stereoskopik) görüntü alma yeteneğine sahip olmakla birlikte, çoğu kez B/H oranı yeterli düzeyde olmamaktadır.

(b) **KVR-1000 Non-Stereometrik Kamera:** Teknik özellikleri şunlardır;

- Ayırma gücü : **2 m**,
- Ortalama görüntü ölçeği : 1:220.000,
- Resim boyutu : 180 mm x 180 mm,
- Görüntünün arazide kapladığı alan : 40 km x 40 km,
- Resim köşe-kenar markaları : Mevcut değildir.

(c) **TK-350 Kamerası:** Stereo fotogrametrik çalışmalara uygun olarak, % 60-80 ileri bindirmeli stereo görüntüler elde etmektedir. Asal uzaklığı 350 mm olan kameranın çektiği görüntülerin ortalama ölçeği 1:660.000, resim boyutları 30 cm x 45 cm, görüntünün yeryüzünde kapladığı alan ise 200 km x 300 km' dir.

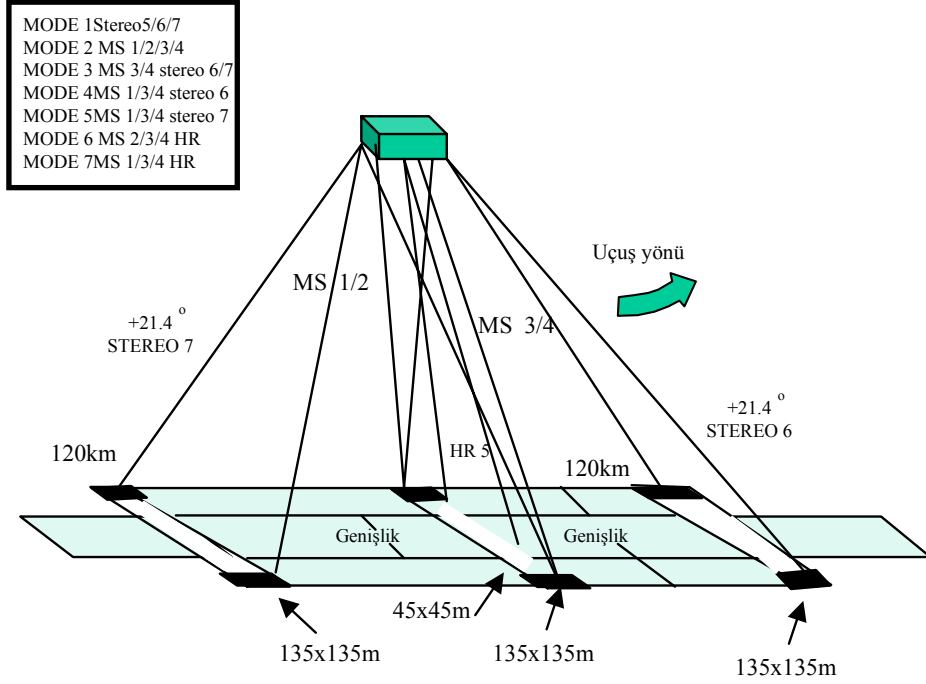
TK-350 Stereometrik Topoğrafik Kameranın teknik özellikleri şunlardır:

- Odak uzaklığı : 350 mm,
- Ayırma gücü : **10 m**,
- Ortalama görüntü ölçeği : 1:660.000,
- Resim boyutu : 300 mm x 450 mm,
- Görüntünün arazide kapladığı alan : 200 km x 300 km,
- Boyuna bindirme oranı : % 60 - % 80,
- Resim köşe-kenar markaları : Mevcuttur /7/.

(5) MOMS-01, 02 Uydu Görüntüleri

MOMS-02 stereo görüntü algılayıcı sisteminin temel özellikleri şunlardır:

- Üç adet stereo bilgiyi (öne, nadire ve arkaya doğru) aynı anda hafızasında tutar.
- Uçuş anında kolon boyunca stereo görüş sağlar.
- Stereo görüntü ve çok bantlı görüntüleri alma ve birleştirme yeteneğine sahiptir.
- Uydu sisteminin 5 adet merceği mevcut olup; bunlardan 3 tanesi stereo görüntü, 2 tanesi de çok bantlı görüntü alabilmektedir (Şekil-3).



Şekil-3: MOMS-02 Uydu Algılayıcı Sisteminin Stereo Görüntüleme Prensipleri

MOMS-02 uydu görüntüleri, sahip olduğu 4.5 m ayırma gücü ve stereo görüntüleme yeteneği sayesinde, özellikle 1:50.000 ölçekli topoğrafik harita ve ortofoto haritaların üretimi ve revizyonunda büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bu uydu görüntülerinden deneme amaçlı çalışmalarda yararlanılmış olup, ticari anlamda yaygın olarak kullanılamamıştır /9/.

(6) IRS-1C ve IRS-1D Uydu Görüntüleri

Hindistan tarafından geliştirilmiş olan, ± 6 m ayırma gücüne ve stereo görüntüleme yeteneğine sahip IRS-1C ve IRS-1D uydu görüntüleri, günümüzde çok çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır /5/.

b. Henüz Yeni Faaliyete Geçmiş ve Yakın bir Gelecekte Faaliyete Geçmesi Beklenen Yüksek Duyarlıklılı (± 1 m) Uydular ile Diğer Topoğrafik Amaçlı Uydu Sistemleri

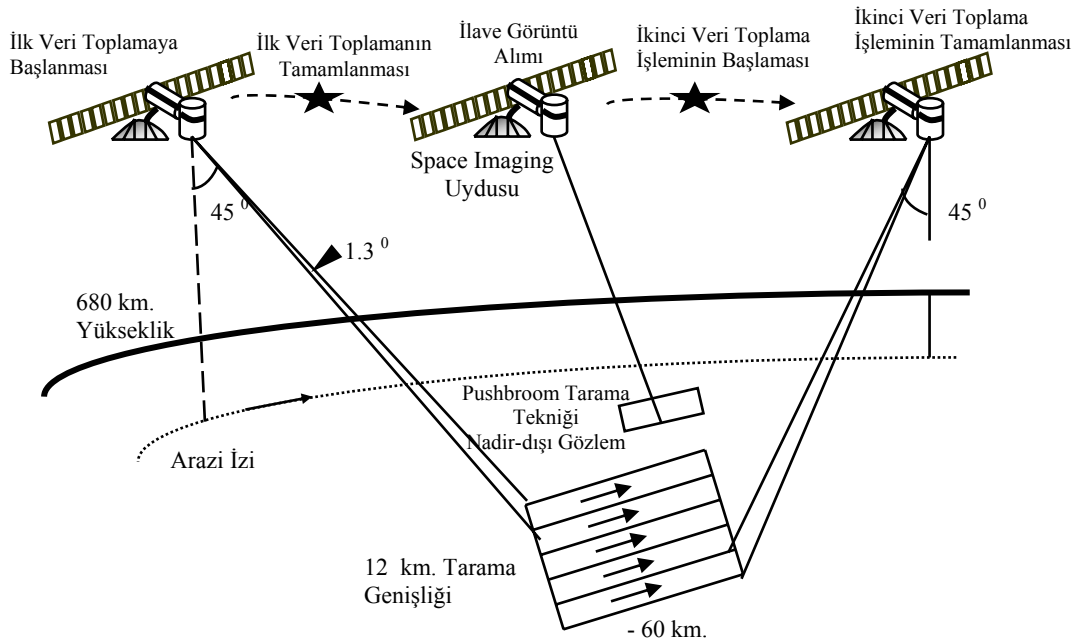
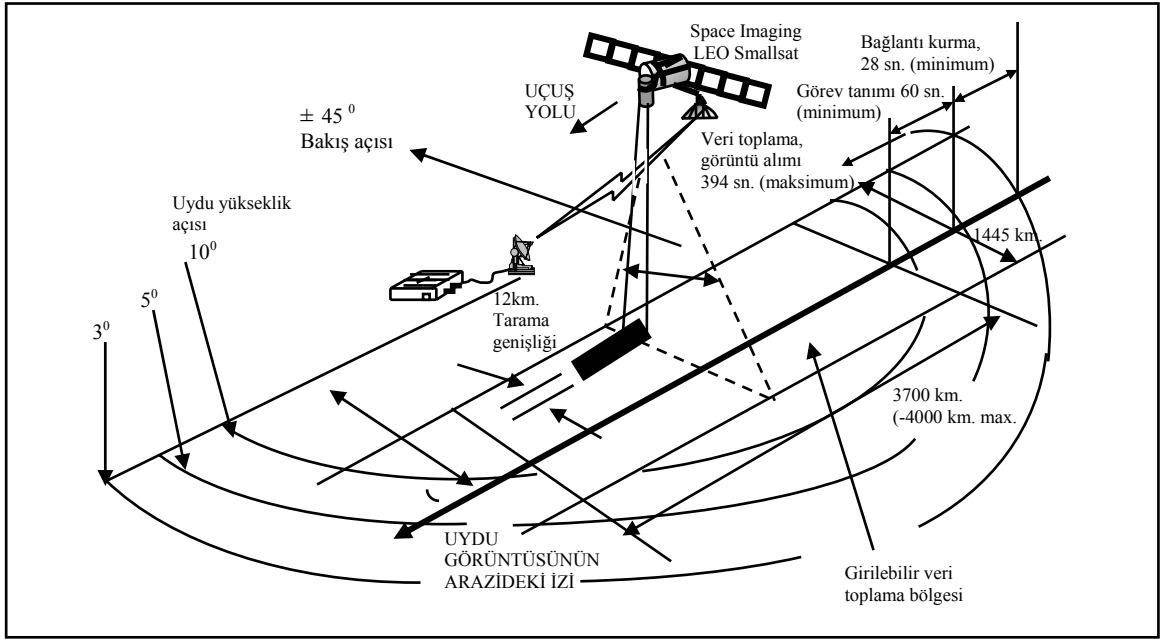
A.B.D. hükümeti tarafından alınan bir karar gereğince; 1980' li yılların casus uydularında kullanılan yüksek ayırma gücüne sahip algılayıcıların, 1997 yılı ve sonrasında fırlatılacak uydu platformlarında yer almasına izin verilmiş ve bunlardan elde edilecek görüntülerin ticari amaçlı kullanımı serbest bırakılmıştır. Bu çerçevede yer alan uyduların başında **CRSS** (Commercial Remote Sensing Satellite), **Space Imaging**, **EarthWatch** ve **OrbView** uyduları gelmektedir. Ayrıca Kanada'nın A.B.D ile ortaklaşa fırlatacağı **WorldView** isimli uydu da aynı kapsam içerisinde yer almaktadır (Çizelge-1) /3/. Yüksek duyarlıklılı (± 1 m) uydularda beklenen önemli gelişmeler şunlardır:

- Yapım maliyetlerinin düşmesi ve fırlatma kapasitelerinin artırılması,
- Aynı yörünge ve gözlem koşulları altında stereo görüş elde edilmesi,
- Anlık pozlama tekniğinin kullanılması,
- **Pankromatik** mod için ± 1 m, **renkli** mod için ± 4 m ayırma gücüne ulaşılması,

- Yer istasyonuna sahip ülkelerin uyduya komuta etme olanağına kavuşması,
- Arşivleme maliyetlerinin azalması,
- Aynı bölgeye ait görüntülerin 1-2 gün gibi çok kısa aralıklarla elde edilebilmesi /3/.

(1) SPACE IMAGING Sistemi

Space Imaging, görüntü üreten bir kuruluş ve uydu merkezidir. Space Imaging ve Lockheed firmalarının ortak çalışmaları sonucunda; 1 m Pankromatik, 4 m Multispektral ve 1 m Pankromatik + Multispektral uydu görüntülerinin elde edilmesi planlanmıştır. İlk uydusu 1997’de fırlatılmış (**IKONOS**) olup, bu deneme başarısızlıkla sonuçlanmıştır /3/. Space Imaging uydu sistemi için planlanan tipik bir çalışma senaryosu Şekil-4’ te ayrıntılı olarak gösterilmiştir.



Şekil-4: Space Imaging Uydusunun Tipik Çalışma Şekli

Space Imaging firması tarafından Eylül 1999'da ikinci kez uzaya fırlatılan **IKONOS-1** uydusu, en son olarak ticari kullanıma sunulmuş ve bütün dünyada yaygın olarak kullanılan yüksek duyarlıklı uydu görüntülerinden birisidir. Sistem **Pankromatik modda 1 m, Multispektral modda 4 m** çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri elde edebilmektedir. Görüntü boyutu 11 km x 11 km' dir. 45° eğimle görüntü alınabilmekte, böylece aynı gün içerisinde stereo görüntüleme yapılabilmektedir.

Uydu 680 km yükseklikte, kutupsal, güneş uyumlu bir yörüngeye yerleştirilmiş olup, uydu üzerinde bir seferde 400 adet görüntü doğrudan kaydedilebilmektedir. Uydu, 98 dakikada bir tur atmakta, eğik alım olanağı sayesinde aynı bölgeyi 1-3 gün içerisinde tekrar görüntüleyebilmektedir. GPS ve yıldız algılayıcıları yardımıyla uydunun konumu belirlenebilmektedir /7/.

(2) EarthWatch Uydusu

EarthWatch uydusunun yörünge bilgileri şunlardır:

- 465 km uydu yüksekliği ve 97.3° eğiklik açısı,
- Güneş uyumlu uydu yörüngesi,
- 94 dakika devir süresi ve bir günde 16 yörünge geçişi,
- İz üzerinde ardışık yörünge geçişleri arasındaki mesafe 2500 km,
- Komşu resimler arasında 125 km' lik bindirme,
- Ekvatoru sabah 10:30 ve öğleden sonra 13:30'da geçiş /3/.

(3) WorldView Uydusu

Uydunun algılayıcısı $\pm 30^\circ$ ye kadar nadir dışı gözlem yaparak, hem yan yana, hem de öne ve arkaya doğru alınan görüntülerden stereo görüntü oluşturma yeteneklerine sahiptir. Yüksek kalitede stereo çift oluşturulabilmektedir. Maksimum B/H oranı 1 'dir. Ayrıca uydu algılayıcı sistemi ± 280 km genişliğinde bakış alanına ve 560 km genişliğinde tarama alanına sahiptir.

WorldView uydusunun teknik özellikleri şunlardır:

- Kısa pozlama zamanına sahiptir.
- 30 km x 30 km' lik alan kaplayan çok renkli görüntü alma yeteneğine sahiptir.
- 6 km x 6 km'lik alan kaplayan HI-RES Pankromatik görüntü alımı olanaklıdır.
- 36 frame matris stereo olarak görüntülenebilmektedir.
- Aynı anda çok renkli görüntü alımı olanaklıdır.

WorldView uydu görüntüleme sistemi iki ayrı kameraya sahiptir:

- Yüksek ayırma gücüne sahip kamera,
- Geniş görüş alanına sahip kamera /3/.

(4) Eyeglass-TM Uydusu

Eyeglass-TM uydusunun ± 1 m ayırma gücüne sahip görüntüleri ile; objelerin konum ve yükseklik doğrulukları, konumlama ve nokta belirleme duyarlılıkları ile ilgili olarak, rölatif anlamda **1.9 m** civarında rms (root mean square: karesel ortalama) hata değerlerinin elde

edilmesi öngörülmüştür. Bu düzeydeki doğruluk, ideal olarak 1:25.000 ölçekli harita üretimine olanak sağlamaktadır. Eyeglass-TM uydusunun ekvatorda görüntü yineleme periyodu 2 gün, nadir doğrultusunda ise ortalama 16 gündür.

Yüksek ayırma gücüne sahip çeşitli uydu görüntülerinden bazılarının çözünürlükleri ve stereo görüntüleme yetenekleri Çizelge-1’de verilmiştir. Ancak bu çizelgede belirtilen uyduların büyük bir çoğunluğu, çeşitli olumsuz koşullar nedeniyle henüz uzaya fırlatılmamış veya çeşitli nedenlerden dolayı planlanan tarihlerde faaliyete geçirilememiştir /3/.

(5) OrbView-3 Uydusu

OrbView-3 uydusu, 1998 yılında faaliyete geçirilmesi planlanmış, fakat mali problemler nedeniyle hala gerçekleştirilememiş bir uydu sistemi projesidir.

Sistem, **Pankromatik modda 2 m** çözünürlükte görüntü alabilecek ve görüntü alanı 4 km x 4 km olacaktır. **Multispektral modda** (4 bantlı) ise çözünürlük **4 m** ve görüntü alanı 8 km x 8 km olacaktır. Sistem, yörüngesi boyunca 45° eğim açısıyla görüntü alım kapasitesine sahip olacak, böylece aynı gün içerisinde stereo görüntüleme yapabilecektir.

Uydu sistemi, yerden 460 km yükseklikte güneş uyumlu bir yörüngeye yerleştirilecek, aynı bölge için görüntü yineleme aralığı 16 gün (minimum 3 gün) olacak, görüntüler doğrudan uydu üzerinde kaydedilecek ve bir seferde 160 ila 665 arasında görüntü alınabilecektir. Uydunun GPS ve yıldız sensörleriyle konumlaması da yapılabilecektir /3/.

(6) EarlyBird Uydusu

Ağustos 1997’de uydunun fırlatılması planlanmış, Aralık 1998’de uzaya fırlatılmıştır. Ancak, uydunun uzayda kaybolması nedeniyle henüz hiç görüntü elde edilememiştir.

Uydu görüntüsünün planlanan uzaysal ayırma gücü, **Pankromatik modda 3 m** ve **Multispektral modda** (3 bantlı) **15 m**’dir. Görüntü boyutu Pankromatikte 3 km x 3 km, Multispektralde 15 km x15 km’ dir. Yörünge boyunca 30° eğim açısı ile görüntü alımı yapılabilmekte, böylece aynı gün içerisinde stereo görüntüleme sağlanabilmektedir.

Uydu, yerden 470 km yükseklikte güneş uyumlu bir yörüngede hareket etmektedir. Görüntü yineleme aralığı ortalama 20 gündür (Minimum 2 gün). Görüntüler uydu üzerinde doğrudan kaydedilmekte ve bir seferde 500 görüntü alınabilmektedir. GPS sistemi ile, hareket halindeki uydunun konumu belirlenebilmektedir. Bu bilgiler uydu için planlanan ve öngörülen bilgileri içermektedir /2/.

(7) QuickBird Uydusu

EarlyBird uydusunun devamı olarak 1998 ortalarında uydunun fırlatılması planlanmış, iki yıl gecikmeyle 20 Kasım 2000 tarihinde Rusya’daki uzay üssünden fırlatılmış, ancak bu denemeler başarısızlıkla sonuçlanmıştır.

Sözü edilen uydu **Pankromatik modda 0.82 m** ve **Multispektral (renkli) modda 3.5 m** çözünürlüğe sahip olacak, görüntü boyutu 22 km x 22 km olacak, 50° eğim açısıyla görüntü alınabilmesi nedeniyle aynı gün içerisinde stereo görüntüleme yapabilecektir.

Uydu 600 km yükseklikte güneş uyumlu bir yörüngeye yerleştirilecek, uydu üzerinde bir seferde 100 görüntü doğrudan kaydedilebilecek, görüntü yinleme aralığı ortalama 20 gün (Minimum 2 gün) civarında olacaktır /2/.

(8) EROS A/B Uyduları

EROS A/B uyduları, İsrail Havacılık Endüstrisi ve Core Yazılım Teknolojileri tarafından 1998-2003 yılları arasında 6 mini uydunun uzaya fırlatılmasını amaçlayan bir uydu projesidir. Fakat henüz hiç bir uydusu uzaya fırlatılmamıştır.

Çözünürlük A serisinde **Pankromatik modda 1.3 m**, B serisinde **Pankromatik modda 1 m** ve **Multispektral modda** her ikisinde de **4.5 m** olacaktır. Görüntü boyutu A serisinde 11 km x 11 km, B serisinde 20 km x 20 km olacak, 30° eğimle görüntü alınabilecek ve aynı gün içerisinde stereo görüntüleme yapılabilir.

A serisi EROS uydusu yerden 480 km, B serisi uydu 600 km yükseklikte, güneş uyumlu yörüngede hareket edecektir. Görüntü yinleme aralığı A serisinde 7 gün ve B serisinde 15 gün (Minimum 3 gün) olacak, GPS ve yıldız algılayıcıları yardımıyla uydunun konumu belirlenebilecektir /7/.

Çizelge-1: Yüksek Ayırma Gücüne Sahip Çeşitli Uydu Sistemlerinin Stereo Görüntüleme Yetenekleri

Uydu/ Görüntü/ Firma/Kamera Adı	Ayırma Gücü (m)	Tarama Geniliği (km)	Piksel Sayısı	Stereo Görüntüleme Yeteneği
1:60.000 Ölçekli Fotoğraf Alımı	0.75	14	18.000	Fotoğraf bindirmesi ile
LOCKHEED	1	15	15.000	Aletin eğilmesi ile
EYEGLOSS	1	15	15.000	Aletin eğilmesi ile
1:80.000 Ölçekli Fotoğraf Alımı	1	18	18.000	Fotoğraf bindirmesi ile
KVR - 1000	2 - 4	40	20.000	Mevcut değil
WORLDVIEW	3	6	2.000	Aletin eğilmesi ile
KFA -1000	4 - 6	80	20.000	B/H ≈ 0.1
HIROS	5	50	10.000	Öne-arkaya alımla
SPOT - 5	5	60 – 200	12.000 (x 3)	Öne, nadire ve arkaya alımla
IRS 1- C	6	70	12.000	Yörünge dışı stereo görüntü alımı ile

1997 ve sonrasında fırlatılacak ticari amaçlı uydu sistemlerine ilişkin özet bilgiler, Çizelge-2’de gösterilmiştir.

Çizelge-2: 1997 ve Sonrasında Fırlatılacak Bazı Yüksek Duyarlıklı Uydu Sistemleri

Uydunun Adı	Bağlı Olduğu Ülke	Fırlatma Tarihi	Algılayıcı Tipi	Konumsal Ayırma Gücü	Renkli Bant Sayısı
EARLY-BIRD	A.B.D./ Kanada Ticari (WorldView / Earth Watch)	1997	Pankromatik Multispektral	3 m 15 m	3
QUICK-BIRD	A.B.D./ Kanada Ticari WorldView / Earth Watch	1997	Pankromatik Multispektral	1 m 4 m	4
ORBVIEW	A.B.D. Ticari (OrbImage)	1997	Pankromatik	1 m	-
CRSS	A.B.D. Ticari (SII)	1997	Pankromatik Multispektral	1 m 4 m	4
EOS AM-1	Japonya/A.B.D. Hükümetleri	1998	Multispektral	15 m	14
CRSS - 2	A.B.D. Ticari (SII)		Pankromatik Multispektral	1 m 4 m	4
KOMSAT	Kore Hükümeti	1998	Pankromatik	10 m	-
EOS AM - 2/ LANDSAT - 8	A.B.D. Hükümeti	2004	Pankromatik Multispektral	10 m 30 m	7

(9) SPOT-5 ve 6 Uyduları

Halen kullanılmakta olan SPOT-4 uydusu SPOT-3’ün devamıdır. Bu uyduda, eski sistemde bulunan 10 m çözünürlükteki Pankromatik bant yerine **10 m** çözünürlükte kırmızı bir bant yerleştirilmiştir. Ayrıca, orta kızılötesi bantta algılama yapan **20 m** çözünürlükte bir algılayıcı daha sisteme ilave edilmiştir /1/.

SPOT-5 sisteminin 2002 yılında fırlatılması planlanmaktadır. SPOT-5 sisteminde **Pankromatikte 5, Multispektralda 10 ve orta kızılötesinde 20 m** çözünürlük elde edilmesi tasarlanmaktadır. **Hipermod** adı verilen çift algılayıcı Pankromatik modda çözünürlüğün **2.5 m’ye** kadar çıkabileceği, bunun yanında tamamen stereoskopik görüntü elde etmeye yarayan yeni bir SPOT sisteminin oluşturulması çalışmalarına devam edildiği, yine SPOT’un devamı niteliğinde olan ve **3S** adı verilen yeni sistemlerin üretiminin de planlandığı, bu tür sistemler yardımıyla uzaktan algılama çalışmalarının çok sayıda küçük uydularla gerçekleştirilebileceği ifade edilmektedir. Ayrıca, **3S1’de Pankromatik ve Multispektral** modlarda **1 m**, **3S2’de 2 m** civarında çözünürlük elde edilebileceği, uyduların yükseklik kontrollü olacağı ve aynı gün içerisinde stereo görüntüler alınabileceği belirtilmektedir /1/.

Yakında hizmet verecek olan **SPOT-5** uydusunun belirgin özellikleri ise şunlardır:

- Arazideki ayırma gücü **± 5 m’** dir.

- Stereoskopik görüntülemelerde üç algılayıcı kullanılır; öne doğru, nadir doğrultusunda ve geriye doğru görüntü alımı olanaklıdır.
- Stereo görüntülerde B/H oranı 0.4 - 0.8 arasında değişir.
- Görüntüleme açısı $\pm 19.2^\circ$ 'dir.
- Uydu ömrü 5 yıldan fazladır.
- Stereo bindirme oranı % 98'e kadar çıkabilmektedir.
- Kontrol noktaları ile, konumda ± 10 m, yükseklikte ± 5 m' den daha iyi karesel ortalama hata değerleri civarında geometrik doğruluk elde edilebilmektedir /1/.

SPOT-1, 2, 3, 4'ün ardından faaliyete geçecek olan SPOT-5 ve 6 uydularından elde edilecek olan görüntüler; çözünürlüğün artması, kontrol noktası gereksiniminin azalması ve çok bantlı görüntülerde bant sayısının artması gibi yenilikleri de beraberinde getirecek olması nedeniyle, yakın bir gelecekte yaygın olarak kullanılabilir /1/.

(10) LANDSAT-7 Uydusu

1999 yılında uzaya fırlatılmış olan bu uydu, LANDSAT uydu serisinin devamı olan bir uydudur. Sistem **Pankromatik modda 15 m, Multispektral modda 6 bantta 30 m ve 1 bantta 60 m** çözünürlükte görüntü almaktadır. Görüntü boyutu **180 km x 180 km**' dir. 705 km yükseklikte güneş uyumlu bir yörüngeye yerleştirilmiştir. Görüntü yineleme aralığı 16 gündür /3/.

Çeşitli uydu görüntülerinden yararlanılarak üretilmesi mümkün olan ortofoto harita ölçekleri Çizelge 3'te gösterilmiştir.

Çizelge-3: Çeşitli Uydu Görüntülerinden Ortofoto Harita Üretimi İçin Önerilen Ölçekler

Algılayıcı Türü	Piksel Boyutu	Harita Ölçeği
LANDSAT - MSS	80 m	1:250.000
LANDSAT - TM	30 m	1:100.000
SPOT - XS	20 m	1:100.000
SPOT - P	10 m	1:50.000
KFA-1000	5-10 m	1:25.000 - 1:50.000
MOMS - 02	5 m	1:25.000
KVR - 1000	2 m	1:10.000

Yüksek duyarlıklı uydu görüntülerinde devam etmesi beklenen sorunlar şunlardır:

- ◆ Bant sayısının 1-4 ile sınırlı olması,
- ◆ Büyük ölçekli topoğrafik harita üretimi0 veya güncelleştirmesine olanak sağlamaması,
- ◆ Görüntülerin 15 km x 15 km veya 12 km x 12 km gibi oldukça dar alanları kaplaması,
- ◆ Düşey görüşte uydunun aynı gözlem noktasına gelme süresinin 30-40 güne kadar ulaşması,
- ◆ Bulut, sis, pus, yağmur, kar gibi meteorolojik olaylardan etkilenmenin devam etmesi,
- ◆ Birbirlerinin etki alanına giren uydu yer istasyonlarında önceliklerin kimlere ait olacağıнын henüz belirlenmemiş olmasıdır /2/.

3. UYDU GÖRÜNTÜ SİSTEMLERİNE İLİŞKİN YAKIN GELECEKTEKİ UYGULAMALAR VE ELDE EDİLMESİ BEKLENEN ÜRÜNLER

Günümüzde yer gözlem uyduları en çok haritacılık ve tarım alanında kullanılmaktadır. Önümüzdeki yıllarda uydulardan elde edilen görüntülerin, yerleşim yeri planlaması uygulamalarında da kullanılması beklenmektedir. **1 metre** seviyesindeki çözünürlük, kamu alanları ve trafik planlaması gibi yerleşme alanı çalışmalarına da olanak sağlamaktadır. Yeni uydu sistemlerinin pek çoğunda bulunan stereo görüntüleme olanağı sayesinde, uydu görüntüleri ile hassas Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) verilerinin üretimi ve iletişim sistemleri uygulamalarında kullanılması olanaklı hale gelmektedir. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin geometrik düzeltmelerinin hassas bir şekilde yapılabilmesi için, yine yüksek doğrulukta DEM verilerine ve Yer Kontrol Noktalarına (YKN) gereksinme duyulmaktadır. Diğer kaynaklardan DEM verisi ve YKN temin edilmesi yerine, bu ihtiyaçların yeni sistemlerden doğrudan sağlanması beklenmektedir.

Yeni uydu sistemlerinin geniş uygulama alanı bulmaları yanında, mevcut uygulama alanlarına sağladığı katkılarının da artması ve yakın bir gelecekte görüntü fiyatlarının düşmesi beklenmektedir. Zira hala oldukça yüksek maliyete sahip olan uydu görüntü verilerinin, geniş alanlarda kullanılması pek fazla mümkün olamamaktadır.

Çözünürlüğün artması, verilerin bilgisayar ortamında çok yer kaplamasına yol açmakta ve verilerin işlenmesinde çeşitli zorluklara neden olmakta; bu durum, uygulama alanının özelliğine ve amaca göre, uygun çözünürlükte uydu verilerinin kullanılmasını zorunlu hale getirmektedir. Gelişmiş uydu sistemlerinden elde edilebilen farklı ürün çeşitleri, kullanıcıların ürün tipi seçiminde zorlanmalarına yol açabilmektedir. Ancak, doğru ve amaca uygun veri seçimi yapılabilmesi amacıyla, kullanıcılar ve uydu verisi üreticileri arasında güvene dayalı bir ortam oluşturulması sonucunda, bu güçlüğün de aşılması olanaklı hale gelebilecektir /3/.

4. ALGILAYICI SİSTEMLER (SENSORS)

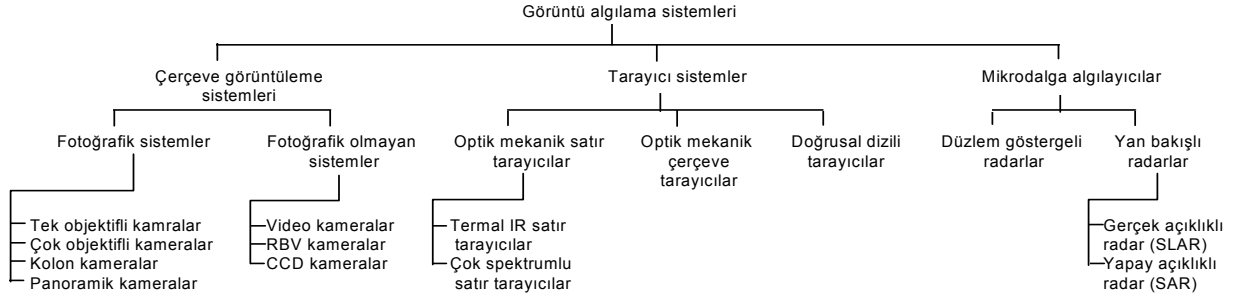
Algılayıcılar belirli aralıklarla alınan analog sinyalleri kaydeder, daha sonra bu sinyaller sayısallaştırılarak sayısal görüntü verisi haline dönüştürülür.

Veri toplama işleminde kullanılan algılayıcılar genel anlamda iki gruba ayrılır:

- Spektral veri sistemleri,
- Görüntü oluşturan sistemler.

Görüntü oluşturan sistemler ise üç gruba ayrılır (Şekil-5):

- Çerçeve görüntü sistemleri,
- Tarayıcılar,
- Mikro dalga algılayıcılar /12/.



Şekil-5: Görüntü Algılama Sistemlerinin Sınıflandırılması /5/

Sözü edilen bu üç ana sistem, ya sabit kanatlı uçaklarda ya da uzayda taşınan insanlı veya insansız uydularında yer alabilir.

Algılayıcı verilerinin diğer uydu tarayıcı sistemleri ve kameraları ile alınan uydu görüntülerinden en önemli farkı, görünür ışık yerine elektromanyetik spektrumun mikro dalga bölümünden elde edilmesidir. Algılayıcı verileri; uçaklara ve uydulara takılı çeşitli algılayıcı sistemler, lazer profillemeye sistemleri ve radar sistemlerinden elde edilmektedir.

Algılayıcı verileri sayısal veya analog formda kullanıcılara sunulabilmektedir. Çok bantlı algılayıcı görüntüleri; özellikle küçük ölçekli topoğrafik harita üretimi, jeodezik çalışmalar ve askeri uygulamalarda kullanılmaya başlamıştır. Topoğrafik harita üretimi ve CBS oluşturulmasında kullanılacak algılayıcı verilerinin elde edilmesi yönündeki araştırmalara devam edilmektedir /5/.

a. Uçaklara Takılı Uzaktan Algılama Sistemleri

Uçaktan görüntüleme yapabilen SAR ve SLAR radar sistemleri günümüzde çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Uçaklarda kullanılan MSS çok bantlı tarayıcılarda olduğu gibi, bu tip sistemler ve veri toplama yöntemlerinin pek çok avantajları vardır, ancak oldukça pahalıdır. Yakın gelecekte meydana gelmesi beklenen gelişmeler dikkate alındığında, uydu platformu ve algılayıcılarının uygulama olanakları açısından yetersiz kalabilecekleri anlaşılmaktadır. Uydu görüntüleri ve algılayıcılar konusunda mevcut eksiklikler ve dezavantajlar şunlardır:

- Sürekli dışarıya bağımlılık söz konusudur.
- İstenen zaman ve bölgeye ilişkin görüntü elde edilmesi oldukça zordur.
- Mevcut arşiv görüntülerinin temin edilmesi zaman alıcıdır.
- Meteorolojik koşullardan büyük ölçüde etkilenilmektedir.
- Görüntü ayırma güçleri birçok uygulama alanı için hala düşük düzeydedir.
- Oldukça pahalıdır /5/.

Buna karşılık, son zamanlarda bu olumsuzlukların ve yetersizliklerin büyük bir bölümünü tamamen ortadan kaldıracak, bazılarını ise minimum düzeye indirebilecek bir teknolojiye sahip olan uçaklara takılı uzaktan algılama sistemlerinin kullanımına doğru bir eğilim olduğu görülmektedir. Uçaklara takılı olarak kullanılabilen uzaktan algılama sistemlerinin en

önemlileri; **MSS, TM, SAR** ve **CCD** algılayıcılarıdır. Yakın gelecekte, uçaklara takılı uzaktan algılama sistemlerin çeşitli uygulamalarda kullanımının yaygınlaşacağı beklenmektedir. Bu amaçla, uçaklara takılı olarak faaliyet gösteren bir algılama yöntemi ve sistemi oluşturulması yönünde çalışmalar sürdürülmektedir /5/.

b. Uydu algılayıcı sistemleri

Görüntü alımı amacıyla en fazla kullanılan algılayıcı sistemler şunlardır:

- **Pasif sistemler:** Optik, elektro-optik ve kızılötesi algılayıcı sistemlerdir.
- **Aktif sistemler:** SAR ve SLAR Radar sistemleridir /6/.

RADAR sistemleri

RADAR sistemleri aktif sistemler olması nedeni ile gece ve gündüz, sisli ve puslu havalarda kullanılabilir. 1930' lu yıllarda Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri'nde aynı anda PPI (Plan Position Indicator) Radarı denen bir aletle ortaya çıkmıştır. PPI radarı halen hava alanları, uçak ve gemilerde kullanılan ve dairesel tarama yapan bir alettir. Radar sistemleri de bir tür tarayıcı olup, daha büyük dalga boyuna sahip ışınları kullanır (1 mm'den 1 m'ye kadar). Radarda görüntü, CRT katot ışın tüpü yardımı ile ekranda görülür hale getirilir. 1954 yılında SLAR (Side Looking Airborne Radar, Yana Bakışlı Hava Radarı), 1960'da SAR (Synthetic Aperture Radar, Yapay Açıklıklı Radar) sistemleri imal edilmiştir /5/.

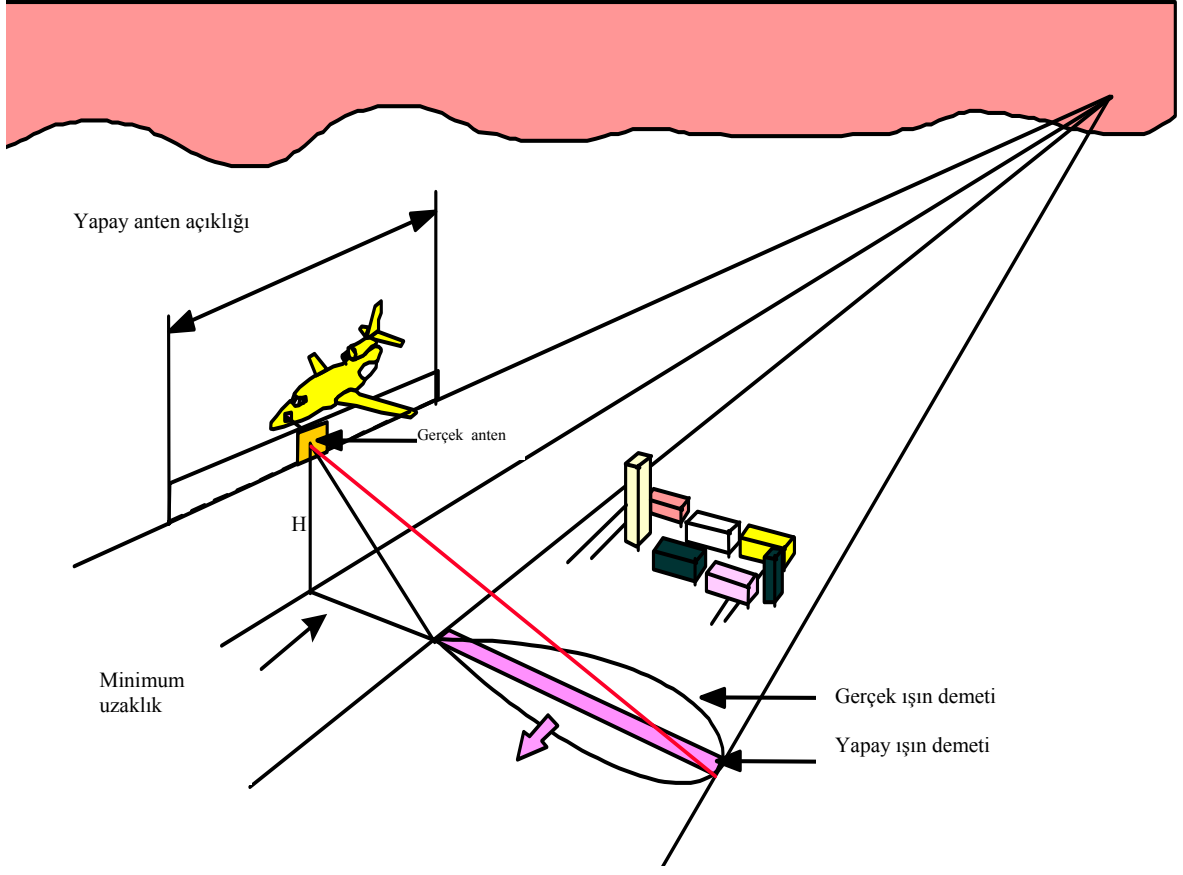
Radar; anten yardımı ile enerji yayan bir verici ve nesnelere çarpıp geri dönen enerjinin algılanmasına olanak veren alıcı anteninden oluşur. Kısa dalga boylularda bitki örtüsünü delip geçme yeteneği az, ancak üç boyutlu ayırma gücü fazladır. İlk uzay radarı olan SAR, 1978 yılında A.B.D'nin SEASAT uydusu üzerinde denenmiştir. Günümüzde ESA'nın ERS-1 ve ERS-2, Japonya'nın JERS ve Kanada'nın RADARSAT görüntüleri, yaygın olarak kullanılan Radar görüntüleridir /5/.

RADAR'ın yararları ve kullanım alanları şunlardır:

- Bulutları deler, sisten ve bitki gölgelerinden etkilenmez.
- Büyük alanların 1:400.000 - 1:100.000 ölçekli haritalarının yapılmasına olanak sağlar.
- Gece de görüntü alınması mümkündür.
- Gölge bir görüntü verdiği için, değişik perspektiflerden görüş alınması olanaklıdır.
- Stereoskopik görüş elde etmek amacıyla bindirmeli görüntü çekimi yapılabilir.
- Askeri amaçlı olduğu kadar sivil amaçlı hava trafiğinde de kullanılabilir /5/.

(1) SAR (Synthetic Aperture Radar, Yapay Açıklıklı Radar) Sistemleri

SAR radar sistemlerinde 7-10 saniye gibi çok kısa sürelerle dalga yayınlanmaktadır. Odak noktasında içbükey bir yansıtıcı vardır, bunun da ortasında bir verici bulunmaktadır. Buradan yayılan dalga cisme çarpıp geri gelir. Bu durumda elektronik anahtar, anteni algılayıcı hale getirir (Şekil-6). SAR yapay açıklıklı radar sistemleri gece ve gündüz, meteorolojik koşullardan etkilenmeksizin, orta düzeyde ayırma gücünde görüntü elde etme yeteneğine sahiptir. Ancak, bu sistemlerin henüz gelişmelerini tamamlamadıkları ve uygulama alanlarının halen araştırıldığı gözlenmektedir. SAR görüntüleri, özellikle ardışık uydu geçişleri ile herhangi bir bölgedeki değişiklikleri araştırmak için oldukça uygun bir kullanım olanağına sahiptir /12/.



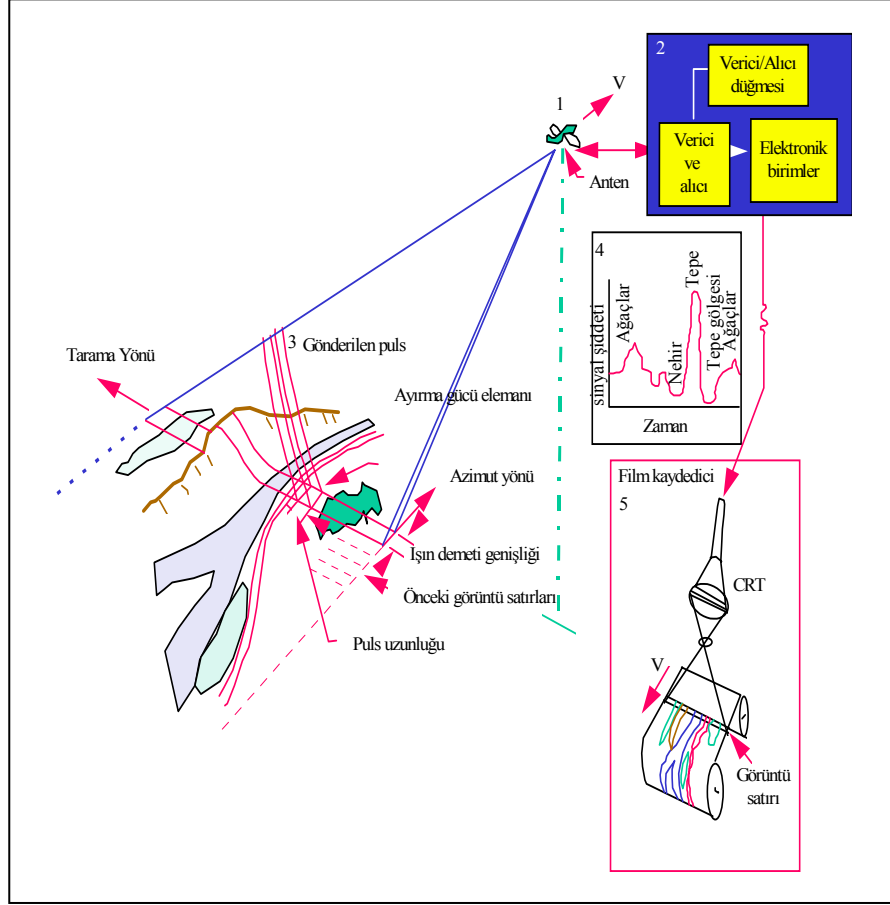
Şekil-6: Yapay Açıklıklı Radar (SAR)'ın Çalışma Prensibi

(2) SLAR (Side Looking Airborne Radar, Yana Bakışlı Hava Radarı) Sistemleri

Elektromanyetik spektrumun mikro dalga bölümünde uzaktan algılama verisi toplama amacıyla kullanılan en önemli teknik, yapay açıklıklı radar (SAR) tekniğidir. SAR'ın uçaklarda kullanılan ilk şekline SLAR adı verilir. SAR sistemi uçaklarda da kullanılmaktadır. SLAR'ın SAR'a göre bazı değişiklikleri vardır.

SLAR'da mikro dalga boyundaki bir elektrik enerjisi pulsu, eğik olarak uçağın yanına doğru yayılır. Aynı prensibe dayanan ve navigasyon ve rota belirlemesi amacıyla kullanılan radarlar, yayılan enerjinin bir kısmını araziden saçılma yoluyla tekrar uçaktaki alıcıya geri dönmesi sonucunda algırlar. Pulsun yayılması ve araziden geri yansımaları arasında geçen zaman yardımıyla uçaktan hedefe olan eğik mesafe bulunabilir /12/.

Uçaklarda radar görüntüsü elde etmek için çok büyük boyutlu anten yerine SLAR tekniği kullanılır. Bu teknikte dalgalar pulslar halinde yayılırken uzay aracı hareket halinde olur, bu da uzun bir anten kullanımı etkisi gösterir (Şekil-7).



Şekil-7: Yana Bakışlı Hava Radarı (SLAR)'nın Çalışma Prensibi

Mevcut ve planlanan bütün optik ve radar uydu sistemleri hakkında özet bilgiler, Çizelge-4 ve 5'de verilmiştir.

5. UYDU GÖRÜNTÜSÜ TEMİN ETME YÖNTEMLERİ

Mevcut ve planlanan uzaktan algılama amaçlı uydu görüntülerinin teknik özellikleri yanında, bu uydu görüntülerinin temin edilmesi yöntemleri de büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, makalede bu konuya da yer verilmesinin yararlı olacağı düşünülmüştür. Uzaktan algılama amaçlı görüntü verilerinin temin edilmesi yöntemlerini beş grupta toplamak olanaklıdır:

a. Mevcut Uydu Görüntülerinin Yurt Dışından Sipariş Yolu İle Temin Edilmesi

Yöntem; bütün dünyada en yaygın olarak kullanılan, bütün meslek disiplinleri tarafından kolayca uygulanabilen, hiç bir yatırıma gerek duymayan, dünya üzerinde istenilen her bölge için ücreti karşılığında görüntü teminine olanak sağlayan bir yöntemdir. Ancak, sürekli dışa bağımlı olması, arşiv görüntüsü olmayan bölgeler için programlama gerektirmesi ve bu durumda maliyetin artması, arzu edilen kaliteli görüntülerin her zaman elde edilememesi, meteorolojik koşullardan çok fazla etkilenilmesi, yer yüzünün tamamının henüz uydu görüntüleri ile kapatılmamış olması gibi bazı olumsuz yanları mevcuttur.

Çizelge-4: Mevcut Uydu Sistemleri

Ülke	Uydu Sahibi	Program	Algılayıcı	Fırlatılma Tarihi	Algılayıcı Tipi	Ayrırma Gücü (m)
U.S.	Devlet	Landsat 5	TM	'85	M	30m
HİNDİSTAN	Devlet	IRS-1B	LISS-2,(LISS-1)	'91	M	36.25,72.5
FRANSA	Devlet	Spot 3	HRV	'93	M&P	20,10
HİNDİSTAN	Devlet	P2	LISS-2	'94	M	36.25
HİNDİSTAN	Devlet	IRS-1 C	LISS-3, PAN, (WIFS)	'95	M&P	5.8,23
ALMANYA	Devlet	PRIRODA	MOMS-02	'96	M&P	
JAPONYA	Devlet	ADEOS	AVNIR	'96	M&P	
HİNDİSTAN	Devlet	IRS-1 D	LISS-3, PAN, (WIFS)	'97	M&P	5.8,23
ÇİN-BREZİLYA	Devlet	CBERS	CCD, IRMSS	'97	M&P	
FRANSA	Devlet	Spot 4	HRVIR, (VEGETATION)	'97	M&P	20,10
HİNDİSTAN	Devlet	IRS-P5	LISS 4, LISS-3'	'98	M	
U.S.	Devlet	Landsat 7	ETM+	'98	M&P	30,15
U.S.	Ticari	Resource 21	XXX	'99	M	100,20,10
HİNDİSTAN	Devlet	IRS-2A	LISS 4', LISS-3', (WIFS)	'00	M	
RUSYA	Devlet	SPIN-2	KVR-1000, TK-350	'96	P(f)	10,2
U.S.	Ticari	EarthWatch	EarlyBird	'96	M&P	15,3
U.S.	Ticari	SpaceImaging	SIS	'97	M&P	4,1
U.S.	Ticari	EarthWatch	QuickBird	'98	M&P	3.28,0.82
U.S.	Ticari	Orbimage	OrbView	'98	M&P	4,1
U.S.	Ticari	GDE	XXX	'99	P	0.82
HİNDİSTAN	Devlet	IRS-P6	PAN	'99	P	
U.S.	Devlet	CTA Clark	W-VIEW	'97	M&P	
U.S.	Devlet	TRW Lewis	HSI	'97	H&P	
US/JAPON	Devlet	EOS AM-1	ASTER, (MODIS)	'98	M	
US	Devlet	EO-1	XXX	'99	M&H	
US	Devlet	Warfighter 1	XXX	'99	M or H	
RUSYA	Devlet	Almaz 1	SAR	'91	R	
ESA	Devlet	ERS-1	SAR	'91	R	30-50
JAPONYA	Devlet	JERS-1	OPS, SAR	'92	M&R	18
U.S.- GER.- IT.	Devlet	Shuttle Radar	SIR-C/X-SAR	'94	R	
ESA	Devlet	ERS-2	SAR	'94	R	30-50
CANADA	Devlet	Radarsat	SAR	'95	R	8-100
ESA	Devlet	Poem	ASAR	'98	R	
RUSYA	Devlet	Almaz 1B	1 SLR, 3 SARs, 4 SCANNERS*	'98	M, P, R	

Çizelge-5: Planlanan Uydu Sistemleri

Ülke	Uydu Sahibi	Program	Algılayıcı	Fırlatılma Tarihi	Algılayıcı Tipi	Ayrırma Gücü (m)
RUSYA	Devlet	Almaz 1C	1 SLR, 3 SARs, 4 SCANNERS*	'01	M, P, R	
FRANSA	Devlet	Spot 5A	HRG, (VEGETATION)	'02	M&P	10,4
JAPONYA	Devlet	ALOS	AVNIR-2, VSAR	'02	M, P, R	
JAPONYA	Devlet	ALOS-A1	AVNIR-3, VSAR	'04	M, P, R	
RUSYA	Devlet	Almaz 2	1 SLR, 3 SARs, 4 SCANNERS*	'04	M, P, R	
HİNDİSTAN	Devlet	IRS-3	MULTI FREQ POL SAR	'04	R	
HİNDİSTAN	Devlet	IRS-2B	LISS 4, LISS-3', (WIFS)	'04	M	
FRANSA	Devlet	Spot 5B	HRG, (VEGETATION)	'04	M&P	
U.S.	Devlet	EOS AM-2	LATI (MODIS)	'04	M&P	
JAPONYA	Devlet	ALOS-B1	A-SAR	'06	R	
JAPONYA	Devlet	ALOS-A2	AVNIR-4, VSAR	'07	M, P, R	
JAPONYA	Devlet	ALOS-B2	A-SAR	'09	R	

Çizelge-4 ve Çizelge-5'deki M, H, P, R ve (f) sembolleri aşağıda verilmiştir;

M : Multispektral
H : Hiperspektral
P : Pankromatik
R : Radar
(f) : Film

b. Yüksek Duyarlıklı Uydular İçin Bölgesel Bir Yer İstasyonunun Kurulması

Bu yöntemde, uyduya komuta edilmesi ve görüntülerin pazarlanması olanağı mevcut olup, 1-2 gün gibi çok kısa sürede görüntü temini olanaklıdır. Yüksek duyarlıklı uydu görüntüleri ile 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritaların, zorunlu hallerde ise 1:10.000 ölçekli haritaların sorunsuz olarak üretimi olanaklıdır. Bu yöntemin; meteorolojik koşullardan etkilenme durumunun devam etmesi, uydu arızalarının giderilmesinin çok zor olması, çok büyük bir yatırım gerektirmesi, uydu ömrünün 5 yıl gibi kısa süreli olması, görüntü alımının sözleşmeler çerçevesinde yürütülmesi, özellikle kriz dönemlerinde görüntü alımının kesikliğe uğraması gibi olumsuz yanları mevcuttur.

c. Ulusal Bir Uyduya Sahip Olunması ve Bu Yöntemle Uydu Görüntüsü Temini

Özellikle yüksek duyarlıklı görüntü alabilen ulusal bir uyduya sahip olunması, bir ülkenin gelişmesinde, tanınmasında ve dışa açılmasında en önemli katkı sağlayabilecek unsurlardan birisidir. Bu olanak sayesinde, diğer teknolojilerin gelişmesinde de önemli aşamalar sağlanabilir. Uydunun dünya üzerinde istenilen herhangi bir bölgeye yönlendirilebilmesi, görüntülerin pazarlanması suretiyle ticari kazançlar elde edilebilmesi, özellikle kriz

dönemlerinde görüntü temininde kolaylıklar sağlaması gibi önemli üstünlüklere sahiptir. Ancak, çok büyük mali kaynak gerektirmesi, ilk yatırım maliyetinin çok yüksek olması, çok sayıda personel için eğitim ihtiyacı göstermesi, geniş çaplı bir ticari organizasyon oluşumunu gerektirmesi gibi bazı önemli hususların dikkate alınması büyük önem taşımaktadır.

d. Uçaklara Takılı Çeşitli Algılayıcı Sistemlerden Yararlanarak Görüntü Elde Edilmesi

Yöntem; dışa bağımlı olmaması, her türlü ulusal amaçlar için kullanılabilmesi, elde edilen görüntülerin çözünürlüklerinin çok yüksek olması, istenilen yer ve zamanda görüntü elde edilebilmesi olanağının mevcut olması, meteorolojik koşullardan çok az etkilenilmesi, uydu verileri ile birlikte kullanılabilmesi, her çeşit algılayıcı kullanımına olanak sağlaması, sistemin bakım ve onarımının daha kolay yapılabilmesi, radar ve termal görüntüleme sistemlerinin kullanılabilmesi gibi önemli üstünlüklere sahiptir. Ancak yöntemin; elde edilen ürünler açısından son derece pahalı olduğu, ilk yatırım maliyetinin oldukça yüksek olduğu, teknoloji transferi ve geniş çaplı eğitim gerektirdiği, geniş alanların çok sayıda görüntü ile kapatılabildiği, farklı algılayıcı türleri ile görüntü işleme sistemi donanım ve yazılımının kullanımına ihtiyaç duyulacağı göz önüne alınmalıdır.

e. Kullanıma Sunulmuş Olan veya Yakın Bir Gelecekte Faaliyete Geçecek Olan Yüksek Duyarlıklılı Uydu Görüntülerinin (1-4 m) Satın Alınması

Halen ticari olarak kullanıma sunulmuş veya yakında sunulacak olan yüksek duyarlıklılı uydu görüntülerinin; veri dağıtımındaki mevcut durumu, **Pankromatik**'te **1-2 m**, **Multispektral**'de **4-6 m** veya daha yüksek ayırma gücüne sahip olması, her bir görüntünün ve stereo çiftin arazide kapladığı alanların büyüklüğü, veri işlem düzeyleri, topoğrafik uygulamalarda kullanım olanakları, görüntülerin güncellik durumları, uydu programlama yetenekleri gibi teknik ve idari özellikler dikkate alınarak satın alınması da uygun bir yöntem olarak gözükmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Landsat-6 uydusunun fırlatılma aşamasında düşmesi, halen görev yapmakta olan **Landsat-5** uydusunun ömrünü tamamlamış olması, üzerindeki **SAR** algılayıcı sistemi sayesinde meteoroloji ve gece-gündüz koşullarından etkilenmeksizin görüntüleme yapabilen **ERS-1** ve **ERS-2** uydu görüntülerinin topoğrafik uygulamalar açısından zaman zaman yetersiz kalması gibi nedenlerle; ayırma gücü yeterli düzeydeki algılayıcı sistemlere, geniş arazi alanlarını kaplama yeteneğine ve gelişmiş bir veri dağıtım ağına sahip olan **SPOT** uydularından elde edilen görüntülerin, bir süre daha topoğrafik harita üretiminde yaygın olarak kullanımına devam edileceği düşünülmektedir /5/.

Bunun yanı sıra, yapılacak uygulamaların özelliği ile beklentilerin karşılanmasında etkili olan bütün diğer faktörler dikkate alınarak; tek tip uydu verilerine bağılı kalınmaması, 1:50.000 ve 1:100.000 ölçekli topoğrafik harita üretimi ve revizyonunda özellikle **SPOT**, **IRS-1C**, **ERS-1/2**, **MOMS-01/02**, **KVR-1000** gibi yeterli duyarlıklılıta çözünürlüğe ve stereo görüntüleme yeteneğine sahip mevcut uydu görüntülerinin kullanımına ağırlık verilmesi; 1:25.000 ve daha büyük ölçekli topoğrafik harita üretimi ve revizyonunda ise **KVR-1000** ve **IKONOS-1** gibi halen mevcut veya makalede ayrıntılı olarak belirtilen ve gelecekte

kullanıma sunulacak olan çeşitli yüksek duyarlıklı (**Pankromatikte 1 m, Multispektralde 4 m**) stereo uydu görüntülerinin kullanılması; 1:250.000 ve daha küçük ölçekli topoğrafik harita ve ortofoto harita üretiminde **LANDSAT** uydu görüntülerinden yararlanılması; 1:100.000 ve daha büyük ölçekli ortofoto harita ve foto-mozaik üretimlerinde ise, harita ölçeği ve uydu görüntülerinin çözünürlükleri de dikkate alınarak, yukarıda açıklanan uydu görüntülerinin (Monoskopik görüntülerin kullanılması da yeterlidir) kullanılması yararlıdır.

Her ölçekte **topoğrafik harita** üretimlerinde yalnızca **Pankromatik** veya ideal olarak **Pankromatik+Multispektral stereo** uydu görüntülerinin beraberce kullanılması, **tematik harita** üretimlerinde ise **Multispektral (çok bantlı)** görüntülerin kullanılması uygundur.

Yüksek duyarlıklı uydu görüntülerinde kısa zaman içerisinde meydana gelmesi beklenen en önemli gelişme, çözünürlüğün **Pankromatik** görüntülerde **1 m**'nin altına (**50-60 cm**) inmesi, **Multispektral** görüntülerde ise **2 m**'ye kadar düşmesidir. Gelişmiş ülkelerde bu konu ile ilgili yoğun araştırmaların sürdürüldüğü bilinmektedir. Yüksek duyarlıklı uydu görüntülerinde meydana gelen gelişmelerin dikkatle izlenmesi yararlıdır.

İhtiyaç duyulan uydu görüntülerinin temininde; **kısa vadeli çözümde**, amaca uygun uydu görüntülerinin satın alınmak suretiyle temin edilmesi; **orta vadeli çözümde**, yüksek duyarlıklı uydu görüntüsü alabilen bir uydu yer istasyonunun ülkemizde kurulması; **uzun vadeli çözümde** ise, topoğrafik uygulamalar yapmaya yönelik ulusal bir uyduya sahip olunması yöntemi düşünülmeli; bu amaçların gerçekleştirilebilmesi için, konu ile ilgili sivil ve askeri kamu kurum ve kuruluşları ile üniversitelerin birlikte hareket ederek gerekli altyapı çalışmalarına başlaması; bütün bu çalışmaların doğrudan Başbakanlığa veya M.S.B. lığına bağlı olarak tesis edilecek bir **Uzaktan Algılama Merkezi** çatısı altında yürütülmesinin son derece olumlu sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- /1/ Boudoin, A. : "The SPOT Programme: Today and Beyond 2000", Photogrammetric Week'95, Fritsch/Hobbie (Eds.), Stuttgart/Obeerkochen, September 1995, Germany, Week 95:63-74, 1995.
- /2/ Clauss, M. : "Demands on Electro-Optical Cameras for Sensing and Mapping", Photogrammetric Week'95, Fritsch/Hobbie (Eds.), Stuttgart/Obeerkochen, September 1995, Germany, Week 95:37-44, 1995.
- /3/ Fritz, L.W. : "Recent Developments for Optical Earth Observation in the United States", Photogrammetric Week'95, Fritsch/Hobbie (Eds.), Stuttgart/Obeerkochen, September 1995, Germany, Week' 95:78-84, 1995.

- /4/ OEEPE : The OEEPE GEOSAR Test of Geocoding ERS-1 SAR Data, European Organisation for Experimental Photogrammetric Research, OEEPE Official Publication No:32, University College London, England, 1996.
- /5/ Önder, M. : Uydu Görüntülerinden Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemine Temel Oluşturacak Nitelikte Topoğrafik Harita Üretimine veya Güncelleştirilmesine Yönelik Analiz ve Öneriler, Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul, 1998.
- /6/ Örüklü, E. : Uzaktan Algılama Kitabı, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, Sayı:198, İstanbul, 1988.
- /7/ Özbalmumcu, M. : Coğrafi Bilgi Sistemi Oluşturulmasında Kullanılan Veri Kaynakları, Veri Toplama Sistemleri ve Konumsal Veri Toplama Yöntemlerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Kasım 1999.
- /8/ Richards, J.A. : Remote Sensing Digital Image Analysis (An Introduction), Second Edition, Canberra, Australia, 1993.
- /9/ Seige, P. : "MOMS: A Contribution to High Resolution Multispectral and Stereoscopic Earth Observation from Space", Photogrammetric Week'93, Stuttgart, Germany, Week 93:109-120, 1993.
- /10/ Sesören, A. : Uzaktan Algılamada Temel Kavramlar, Mart Matbaacılık Yayınları, İstanbul, Kasım 1998.
- /11/ SPOT : An Objective Guide for Satellite Imagery, SPOT, France, 1999.
- /12/ Wiley, J. : Remote Sensing Methods and Applications, USA, 1986.