

YENİ BİR UZAKTAN ALGILAMA SİSTEMİ SPOT

Doç. Dr. Ahmet YAŞAYAN
K.T.Ü.

ÖZET

22 Şubat 1986 günü, Fransa Uzay Araştırmaları Ulusal Merkezi (CNES), SPOT adlı yeni bir uzaktan algılama sistemini yörüngesine yerleştirdi. Ticari amaçla tasarlanan ve planlanan bu algılama sistemi, gerekli yörünge denetim ve düzeltimlerinden sonra, 6 Mayıs 1986 gününden başlayarak beklenen görüntüleri göndermeye başladı.

SPOT algılama sisteminin başlıca amaçları şunlardır: Kartografik amaçlar için bir arşiv ve dünya çapında bir veri tabanı oluşturmak, 1/100 000 ve 1/50 000 ölçekli haritaların güncelleştirilmesi için görüntüler elde etmek, kimi alanların stereo görüntü arşivlerini oluşturmaktır. Ayrıca yeni bir sistem deneyerek gelecekteki çalışabilir uzaktan algılama sistemleri konusunda deneyim kazanmaktır.

Uydunun yörünge yüksekliği 833 km ve eğimi $98^{\circ}.77'$ 'dir. Güneşle eşzamanlı çalışmaktadır. Aynı yörünge izinden ikinci kez geçmesi için 26 gün geçmesi gerekmektedir. Ancak, yörüngeye dik doğrultuda nadir ötesi gözlemler yapılabildiği için bu süre 3.7 güne indirilebilmektedir.

Algılama sistemi birbirinin aynı iki HRV (High Resolution Visible) aletinden oluşmaktadır. Bunlardan biri pankromatik modda kayıt yaparken, diğeri çok bantlı modda çalışabilmektedir. Ayırt edilebilen en küçük resim elemanı boyutları pankromatik modda 10, çok bantlı modda ise 20 metredir. HRV aletinin odak düzlemine, CCD (Charge Coupled Device) adı verilen türde doğrusal dizi oluşturan dedektörler yerleştirilmiştir. Pankromatik modda dedektör sayısı 6000, çok bantlı modda 3000'dir. Üzerinden geçilen yeryüzü parçası çizgi-çizgi taranır. Yeryüzünden yansıyan gelen farklı yoğunluk düzeylerindeki ışınlar optik sistemi geçtikten sonra bu dedektörler tarafından alınır. Bunlar video sinyallere dönüştürülerek yer istasyonlarına gönderilir. Alınan sinyaller bir ön bilgi işleminden geçirilerek 60x60 km boyutlu görüntü çerçevelerine dönüştürülür. Daha sonra radyometrik ve geometrik düzeltmeler yapılarak çeşitli boyutlarda ve ölçeklerde pankromatik ve çok bantlı filmler elde edilir.

SPOT 1 uydusu görevini tamamladıktan sonra 1988 yılı başlarında SPOT 2 ve 1990'lı yıllarda da SPOT 3 ve 4 yörüngelerine yerleştirilecektir.

GİRİŞ

Son yıllarda topoğrafik harita üretiminde uzaktan algılama sistemlerinden yararlanma konusunda önemli gelişmeler olmuştur. Merkürü, Gemini ve Apollo insanlı uyduları ile elde edilen görüntüler harita üretimi kesimindeki araştırmacıların ilgisini çekmiş, 1/250 000 ve daha küçük ölçekli haritaların uzaktan algılama sistemleri ile yapılabilceği umudunu vermiştir. Ancak, ayırma gücünün o günkü algılama sistemleri ile yeterli olamayacağı anlaşılmıştır. Kısmen bu nedenle, kısmen de yüksek ayırma güçlü fotoğrafların ortaya çıkaracağı siyasal karışıklıklar düşünülerek 1970'li yılların ortalarında ve sonunda gerçekleştirilen LANDSAT dizisi uydularında topoğrafik harita yapımı konusu proje içine sokulmamıştır.¹

LANDSAT dizisinin son uydusu olan LANDSAT 4 yeni bir algılama sistemi kullanmaktadır. TM (Thematic Mapper) adı verilen bu algılama sistemi ile ABD Jeolojik Araştırmalar Dairesi (USGS), 1/100 ölçekli harita doğruluğunun elde edilebileceği, ayırma gücünün ise 1/250 000 ölçeği için yeterli olabileceği sonucuna varmıştır. sonucuna varmıştır.

1980'li yılların ortalarında uzaya gönderilmek üzere 1970'li yılların sonlarında, çeşitli kurumlar kartoğrafik amaçlı uzaktan algılama sistemleri tasarlamışlardır. Bunların bir bölümü (ESA/Zeiss ATLAS-A/B, ATLAS-C, NASA/Itek LFC) 30.5 ve 61 cm odak uzaklığı, 23x23 ve 23x46 cm resim boyutlu hava kameralarını kullanarak, 1/820 000, 1/660 000 ve 1/1 000 000 ölçekli fotoğraflar çekerek 1/50 000 ölçekli haritaların yapımı ve 1/25 000 ölçekli haritaların güncelleştirilmesini amaçlamışlardır. Diğer bir bölümü de (Geosat STEREOSAT, Itek/USGS MAPSAT, CNES SPOT) yeni bir algılama sistemini kullanmayı tercih etmişlerdir. Bu yeni algılama sisteminde CCD (Charge Coupled Device) adı da verilen, ışığa karşı duyarlı silikon hücrelerinden oluşan bir dizi algılayıcı kullanılmaktadır. Bu yeni sistemle 700-900 km yükseklikten 10-15 m ayırma gücü düzeyinde algılama yapılabilir. Ayrıca, ikinci kuşak olarak adlandırılan bu algılayıcı sistemler, stereo görüşü sağlayabilecek görüntü çiftleri elde edilebilecek biçimde tasarlanmışlardır.^{2,3}

Bu yeni algılayıcı sistemlerden birini oluşturan SPOT uydusu ve algılama sistemi bu sunuşun konusunu oluşturmaktadır. Ülkemizdeki harita mühendislerine bu sistemin kısaca tanıtılması amaçlanmıştır.

SPOT TASARIMI VE GENEL AMACI

Fransız hükümeti, 1978 yılı başlarında, çok amaçlı ve ticari bir uzaktan algılama sisteminin geliştirilmesini ve 1984 yılı başlarında yörüngesine yerleştirilmesini kararlaştırmıştır. Daha sonra bu projeye İsveç, Belçika ve Hollanda'daki kimi kamu ve özel sektör kuruluşları da katılmışlardır.

SPOT (Systeme Probatoire d'Observation de la Terre) kısa adı ile anılan bu algılama sistemi iki kez ertelemeyen sonra 22 Şubat 1986 günü, Fransa Uzay Araştırmaları Ulusal Merkezi (CNES) tarafından, Fransız Guiana'sı Kourou uzay üssünden Ariane roketi ile yörüngesine yerleştirilmiştir. Gerekli yörünge denetim ve düzeltimlerinden sonra, 6 Mayıs 1986 gününden başlayarak, sistem beklenen görüntüleri göndermeye başlamıştır.

SPOT uydusu ve algılama sisteminin başlıca amaçları şunlardır:⁴

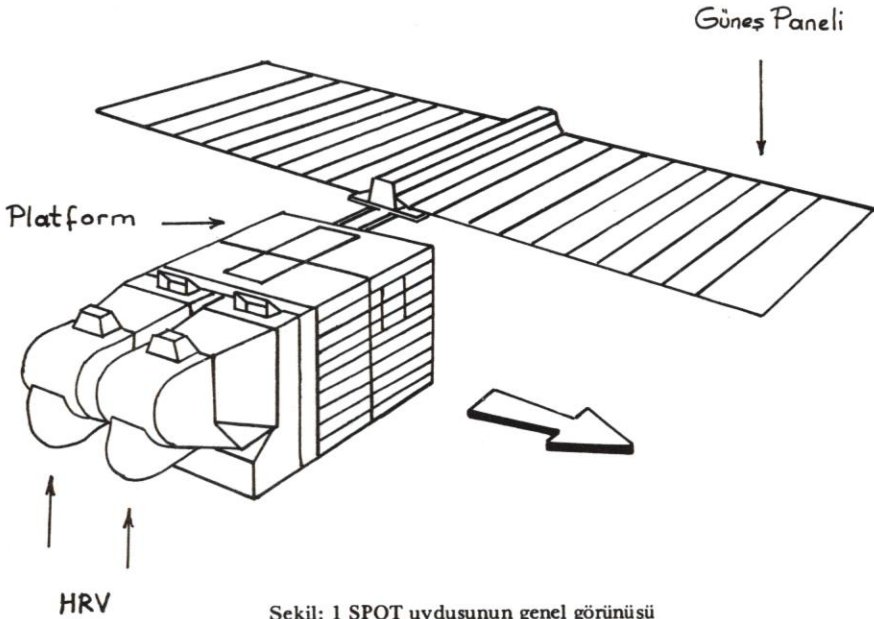
- Uzayda çok amaçlı bir platform oluşturmak, yeni bir doğrusal dizi kamerayı ve gelecekteki çalışabilir uzaktan algılama sistemlerinin diğer özelliklerini denemek,
- Yeryüzü kaynaklarının araştırılması ile ilgili ve kartoğrafik amaçlar için dünya çapında bir arşiv ve veri tabanı oluşturmak,
- 1/100 000 ve 1/50 000 ölçekli haritaların güncelleştirilmesine, 1/250 000 ölçekli planimetrik haritaların yapımı ve genel olarak fotoyorumlamaya olanak sağlayacak, kimi alanların stereo arşivlerini oluşturmak,
- Sık aralıklarla ve nadir dışı gözlemlerden yararlanarak bitki türlerinin ayırt edilebilmesi ve üretim kestiriminin geliştirilmesi konusunda deneyler yapmaktır.

SPOT UYDUSU

Uydu, yaklaşık 1750 kg ağırlığında, 2x2x3.5 m boyutundadır (Şekil 1). Enerji üretimi için gerekli güneş panellerinin uzunluğu da 15.60 m'dir. Birbirinin aynı iki algılayıcı sistem (HRV) taşımaktadır. Algılayıcı sistemde veri kayıt edici manyetik bant ve telemetre göndericisi bulunmaktadır.

Platformdaki diğer alt sistemler de şu görevleri yerine getirirler:⁵

- Yörüngenin duyarlı biçimde denetlenmesi,
- Üç eksenli konumlandırma,



Şekil: 1 SPOT uydusunun genel görünüşü

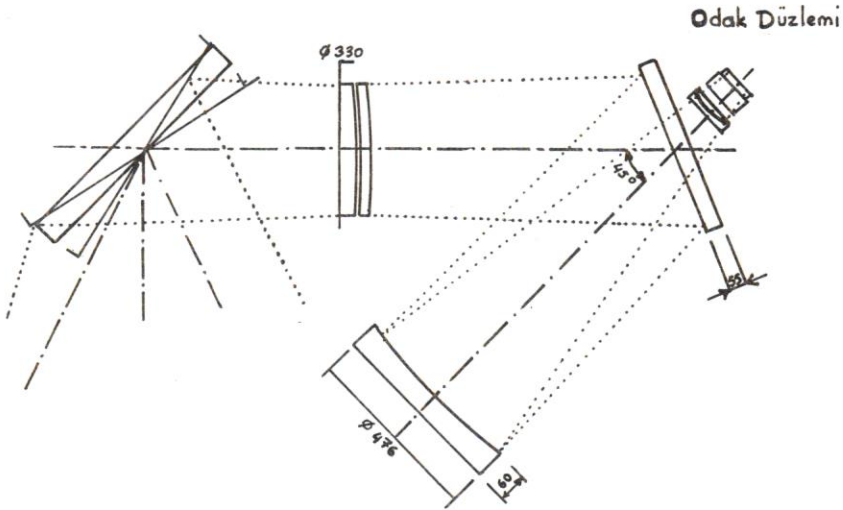
- Elektriksel güç desteğinin sağlanması,
- Telemetre ile sinyal gönderiminin sağlanması,
- Yer istasyonundan verilecek komutların alınması,
- Algılayıcı sistem bölümünün yönetimi ve programlanması.

Bu son görev yerden denetlenebilen ve belleğine bilgi yüklenebilen, platformdaki bir bilgisayar aracılığı ile gerçekleştirilir.

ALGILAMA SİSTEMİ

SPOT algılama sistemi birbirinin aynı iki HRV (High Resolution Visible) aletinden oluşmaktadır. Bunlardan bir pankromatik modda kayıt yaparken diğeri üç spektral aralık için duyarlı çok bantlı modda çalışabilmektedir. Ya da ikisi birden aynı modda kayıt yapabilmektedir.

HRV aletinin optik düzenlemesi Şekil 2'de gösterilmiştir. Yörünge ekseninde döndürülebilen ön uçtaki ayna yardımı ile algılama sistemi değişik yönlere yönlenebilir; böylece hedef alan seçilebilir. Aletin optik sistemi katlanmış bir dürbüne benzetilebilir. Bu düzenleme ile odak uzaklığı 1082 mm değerine ulaşılmıştır. Bağlı açıklık $f/3.5$ 'tir.



Şekil: 2 HRV aletinin optik tasarımı

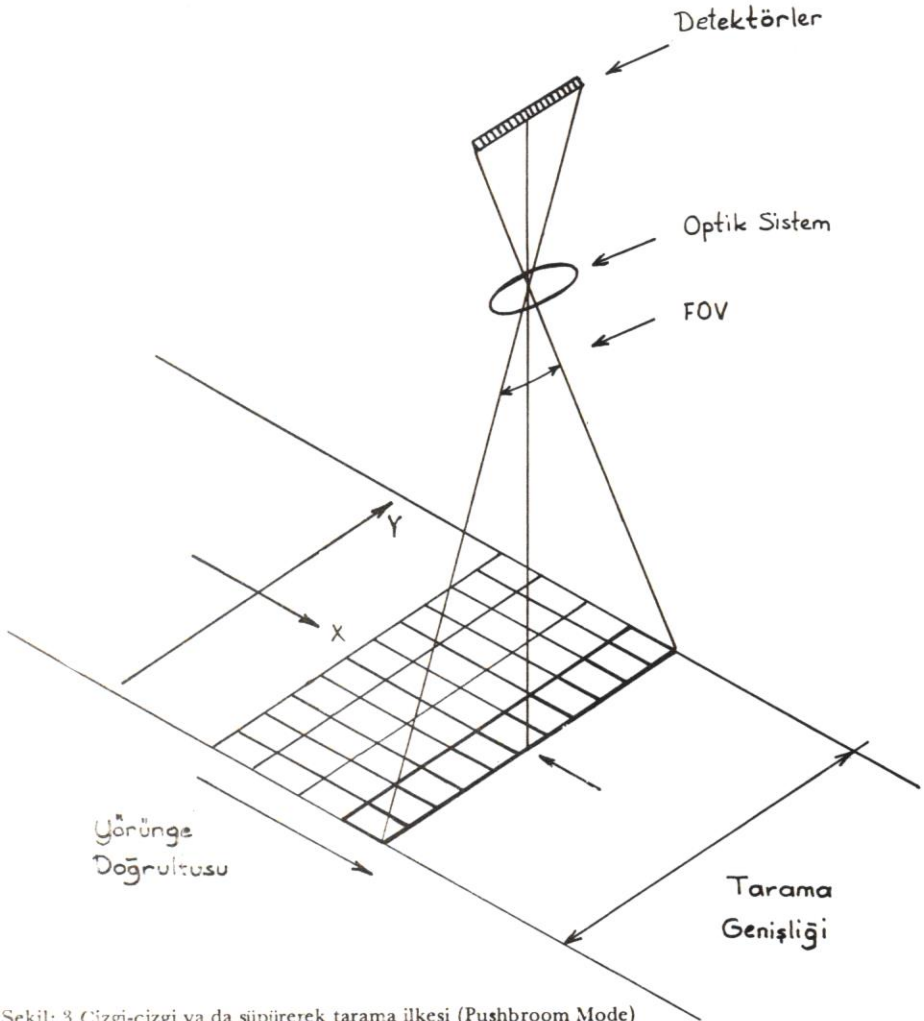
Spektral ayırım için odak düzlemine bir "dichroic" prizma yerleştirilmiştir. Çeşitli spektral bantlar için ayrılan dedektörler dizisine, gelen ışının optik olarak isabet ettirilmesi dört ışın ayırıcı prizma ile sağlanmaktadır.

Aletin odak düzlemine doğrusal diziler oluşturan dedektörler yerleştirilmiştir. CCD (Charge Coupled Device) adı verilen bu algılayıcı sistemin elemanları silicon hücrelerinden oluşmuştur. Silicon hücrelerin özellikleri 0.4-1.2 mikron dalga boyundaki ışının enerjisine duyarlı olmaları ve üzerine düşen bu enerjiyi elektrik yüküne çevirerek depo edebilmeleri ve aktarabilme yeteneklerinin bulunmasıdır. Belirtilen dalga boyu aralığı

elektromanyetik spektrumun görünen dalga boyu ve yakın kızılötesi bölgesidir.

Yeryüzünden yansarak gelen farklı yoğunluk düzeyindeki ışınlar optik sistemi geçtikten sonra algılayıcılar tarafından algılanır ve video sinyallere dönüştürülür. Sistemdeki özel bir telemetre bağlantısı ile bu sinyaller doğrudan yer istasyonuna gönderilir. Ya da daha sonra gönderilmek üzere platformda bulunan iki kayıt ortamında depolanır.

Birbirine uzaklığı 13 mikron olan birkaç bin dedektör bir doğrusal dizi oluşturacak biçimde bir araya getirilmiştir. Odak düzlemindeki bu doğrusal dizi dedektörler ile görüntülenecek alan çizgi-çizgi taranarak kaydedilir. Süpürerek tarama ya da "Pushbroom mode" adı ile bilinen bu tarama ilkesi Şekil 3'te gösterilmiştir. Bir sonraki görüntü çizgisi uydunun yörüngesi boyunca hareket etmesi sonucu oluşur. Tarama genişliği 60 km'dir. Bu genişlikteki bir taramada 20 m'lik bir ayırma gücü için 3000 dedektör gerekli olmaktadır. Spektral mod için söz konusu olan bu durumda örnekleme süresi 3 milisaniyedir. Pankromatik modda, 10 m'lik ayırma gücünde ise, aynı tarama genişliği



Şekil: 3 Çizgi-çizgi ya da süpürerek tarama ilkesi (Pushbroom Mode)

6000 dedektör ile sağlanmaktadır ve örnekleme süresi de yaklaşık 1.5 milisaniyedir. HRV aletinin -ya da kamerasının- teknik özellikleri Çizelge 1'de özetlenmiştir.^{4,5}

Spektral ayırım için "dichroic" prizma kullanıldığı daha önce belirtilmişti. Bu düzenleme nedeni ile etkin nokta-nokta kayıt çok bantlı görüntünün ham malzemesi olmaktadır. Pankromatik kanal aletin görüş alanında çok bantlı kanaldan ayrılır. Herhangi bir anda pankromatik tarama çizgisi, renkli tarama çizgisinden, yerde 1.5 km öndedir.

Çizelge: 1- HRV aletinin teknik özellikleri

Özellikler	Çok bantlı mod	Pankromatik mod
Spektral aralık	0.50-0.59 mikron 0.61-0.68 mikron 0.79-0.89 mikron	0.51-0.73 mikron
Açıklık açısı	4° .13	4° .13
Piksel boyutları (Nadir dolayı)	20x20 m	10x10 m
Her çizgideki piksel sayısı	3000	6000
Tarama genişliği (Nadir dolayı)	60 km	60 km
Piksel kodlama formatı	3x8 bit	6 bit DPCM*
Verilerin gönderilme hızı	25 Mbit/s	25 Mbit/s

* 256 gri düzeyine karşılık gelmektedir.

Bu algılama sisteminin, daha önceki uzaktan algılama uydularında kullanılan optik-mekanik tarayıcılara göre iki üstünlüğünden söz edilmektedir:³

- Algılaması yapılan her noktada poz süresi maksimum olmaktadır.
- Tarama çizgileri boyunca çok daha iyi bir görüntü sağlanmaktadır.

SPOT YÖRÜNGESİ

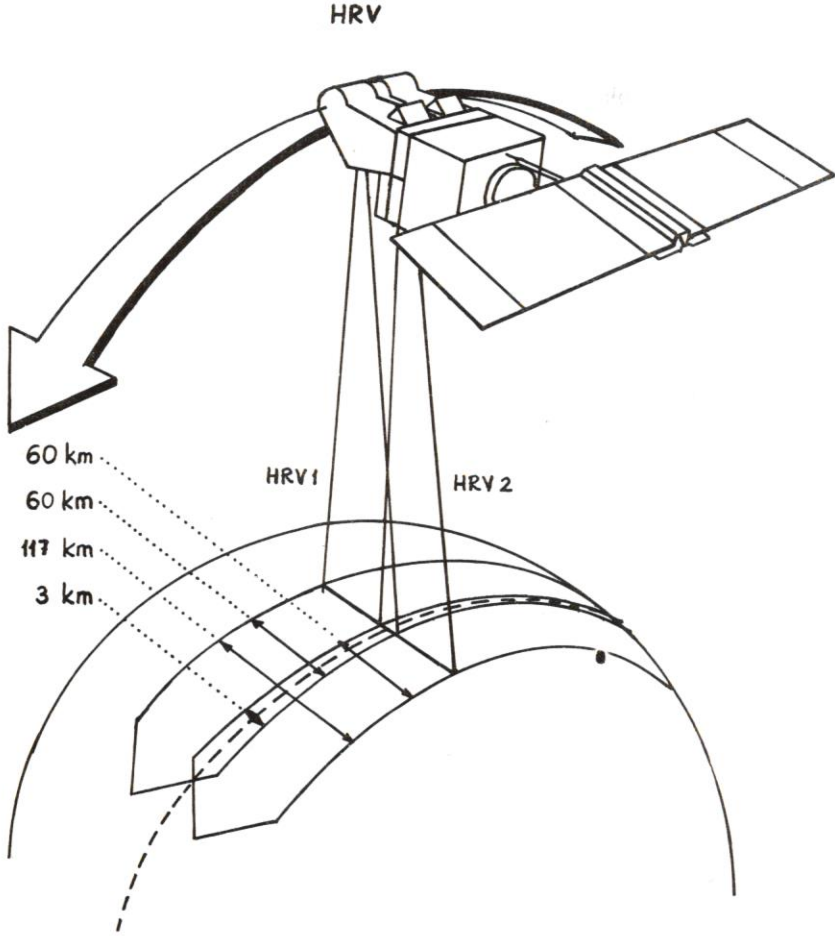
SPOT uydusu yörüngesi yaklaşık daireseldir. Yüksekliği, yeröte (apogee) noktasında 833 km'dir. Yörünge eğimi 98.77 derecedir. Peryodu 101.46 dakikadır. 24 saatteki dönüş sayısı 14.192, ya da 14 + 5/26'dır. Yer üzerinde aynı izden ikinci kez geçmesi için gereken süre 26 gündür. Bu süre içinde uydunun, yerin çevresinde 369 dönüş yapar. Aynı günde ardışık iki iz arasındaki ekvator üzerindeki uzaklık 2818 km, iki en yakın komşu iz arasındaki uzaklık da, yine ekvator üzerinde 108.4 km'dir.

Uydunun yörüngesi ve eğimi güneşle eşzamanlı çalışabilecek biçimde tasarlanmıştır. Başka bir deyişle, uydunun yer üzerinde bir noktadan her zaman aynı yerel güneş zamanında geçer. Uydunun kuzeyden güneye hareketi sırasında ekvator düzlemine girdiği noktada (İniş noktası - Descending node) yerel güneş zamanı yaklaşık 10.30'dur. Uydunun hızı, yörüngede, yaklaşık 7.43 km/s, yer üzerinde 6.57 km/s'dir.

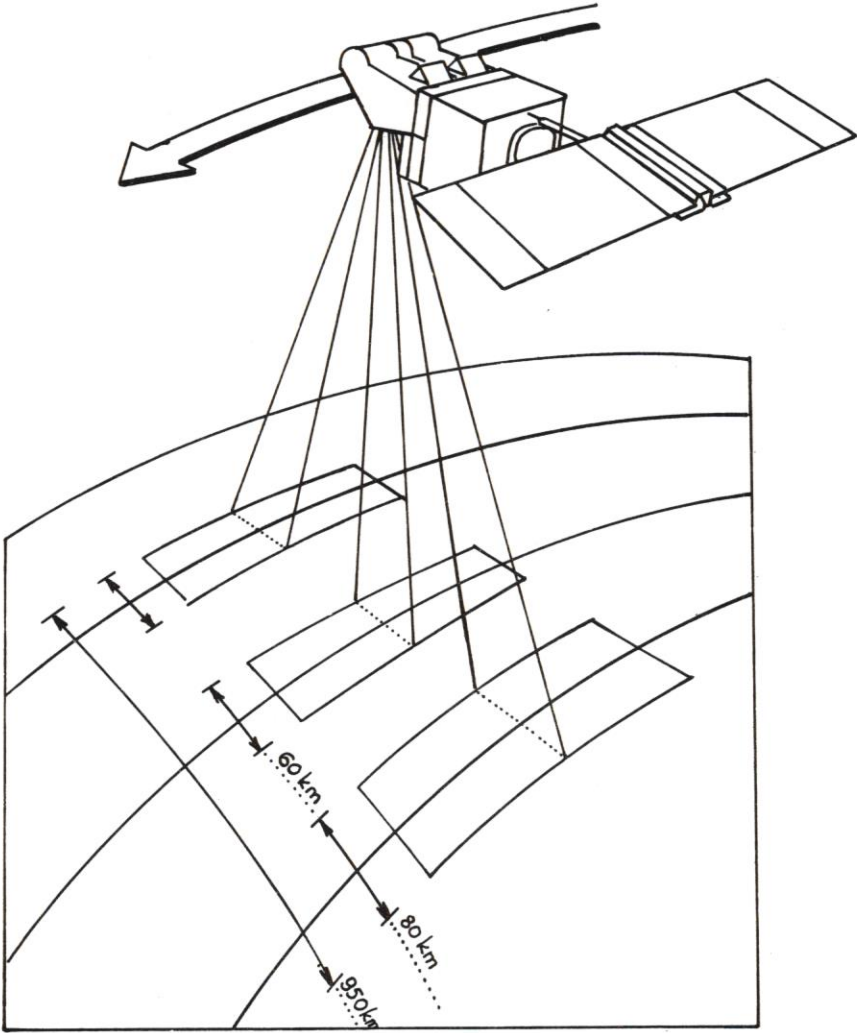
Uydu yörüngelerine ilişkin teknik bilgiler bu yazının sonuna eklenmiştir.

NADİR VE NADİRÖTESİ GÖZLEMLER

Her biri 60 km tarama genişliği olan iki HRV aleti, 3 km'lik ortak bir alanı bulacak biçimde nadir doğrultusuna yönlendirilebilmektedir (Şekil 4). İki en yakın yörünge izi arasındaki uzaklık ekvatorunda 108.4 km olduğuna göre nadir dolay gözlemlerle yeryüzeyi tüm olarak örtülebilmektedir. Ayrıca, HRV optik sisteminin ön ucundaki aynanın yörünge çevresinde döndürülebilir olması nadirötesi gözlemleri de olanaklı kılmaktadır. Bu ayna, 0.6 derecelik aralıklarla 91 ayrı yöneltme değerine göre yönlendirilebilmektedir. Merkezsel yöneltme nadir doğrultusundan 0.163 derece farklıdır. Bu durum iki HRV de aynı modda kullanılmak istendiğinde her iki yönde üçer adımlık yöneltmelerle nadir dolayında 3 km'lik bir bindirmenin oluşmasını sağlar. Nadirötesi gözlemlerin en büyük değeri $\mp(0^{\circ}.163 + 27^{\circ} + 2^{\circ}.065)$ 'tir. Bu değer yer üzerinde 950 ± 50 km genişliğinde, orta çizgisi uydu izi üzerinde olan bir şerit oluşturur (Şekil 5). Hedef alanın merkezi en çok 10 km ötede olacak şekilde istenilen çevreler oluşturulabilmektedir.⁴



Şekil: 4 İki HRV aletinin nadir doğrultusunda yönlendirilmesi



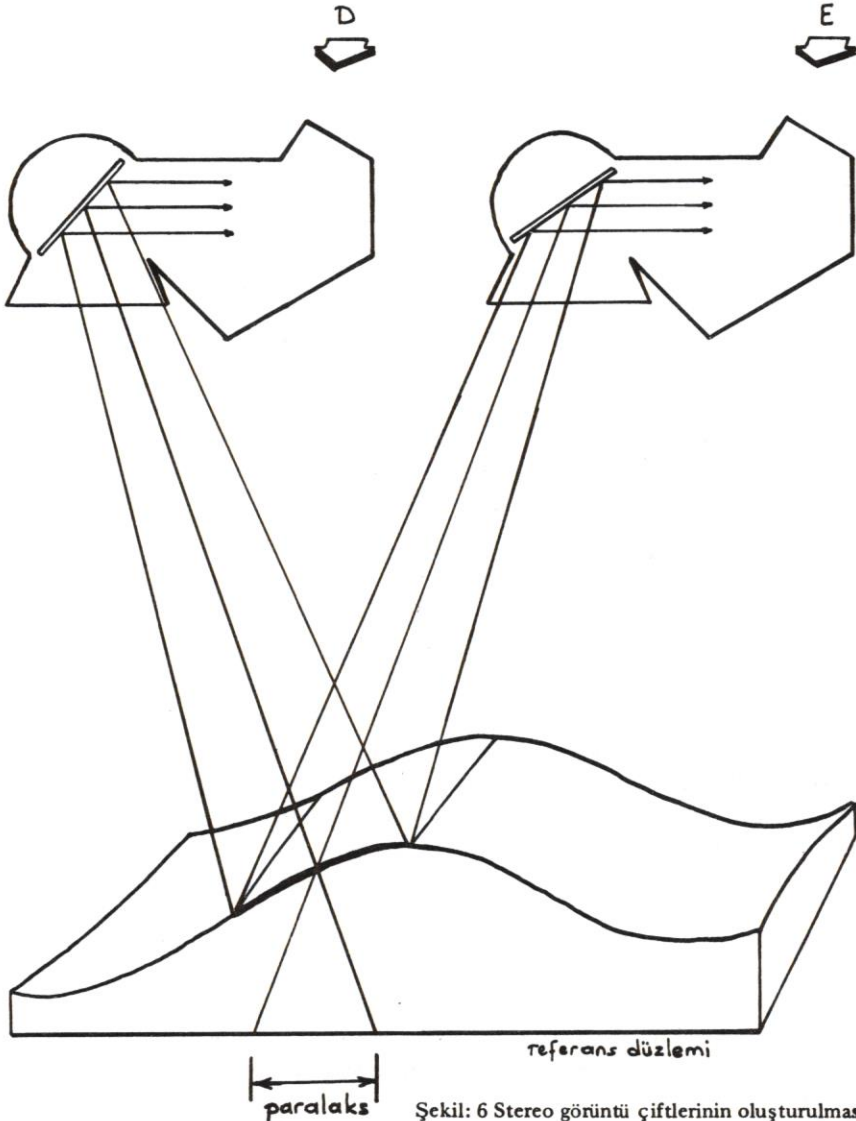
Şekil: 5 Nadirötesi yönelme

Uydunun aynı izden arka arkaya iki kez geçişi için 26 gün geçmesi gerektiği yukarıda belirtilmişti. Algılama sisteminin yörüngeye dik yönde yönlendirilmesi ile bu süre kısaltılabilmektedir. 950 km'lik bir şerit genişliğindeki yönlendirme olanağı ve uydunun ardışık iki geçişi arasındaki 2818 km'lik uzaklık gözönünde tutulursa 26 günlük süre içinde, ekvator bölgesinde 7 kez yeniden aynı alanın algılanabileceği anlaşılır. Başka bir deyişle, yılda 98 kez, ya da 3.7 günde bir, ekvator bölgesinde aynı alan gözlenebilir. 45 derecelik enlemde ise bu süreler, 26 günde 11 kez, yılda 154, günde 2.4 kez aynı alan algılanabilir. Bunlar ortalama değerlerdir. Oysa, yörünge geometrisi incelendiğinde, 45 derece enlemde kimi durumlarda 1 gün ve en çok 4 gün ara ile aynı alanın taranabileceği anlaşılır. Birbirine yakın günlerde bulut örtüsü durumu, uzak günlere göre daha fazla korelasyonludur. Bu nedenle aynı alanın olabildiğince kısa zaman aralıkları ile algılanabilmesi önem taşır.

STEREOSKOPİK GÖRÜNTÜ ÇİFTLERİNİN OLUŞTURULMASI

Farklı yörüngelerden kaydedilen görüntülerle stereo görüşe elverişli görüntü çiftleri elde edilebilmektedir (Şekil 6). Fotoğrametriye olduğu gibi B/H (Baz/Yükseklik) oranının uygun sınırlar içinde olduğu durumda ancak yeterli duyarlılıkta stereo görüş sağlanabilir.

Ardışık günlerde, ekvatorda B/H oranı 0.75, 45 derece enlemde 0.50 olacak biçimde kayıtlar yapılabilir. Yönelme elemanlarının -24° (Doğuya dönük) ve $+24^\circ$ (Batıya dönük) olması durumunda B/H oranı 1'dir. Bu durumda stereo algılama duyarlılığının 1 pikselden daha iyi olduğu ileri sürülmektedir.⁴



Şekil: 6 Stereo görüntü çiftlerinin oluşturulması

VERİ DERLEME

Bir yer istasyonunun uydudan gönderilen sinyalleri alabilmesi için uydunun, bu istasyondan en çok 2600 km'lik bir alan içinde olması gerekir. Bu durum uydunun ufuktan en az 5 derece yüksekte olmasına karşılık gelir.

Uydunun doğrudan okuma telemetre göndericisi görüntü verilerini gönderir. Yer istasyonunda bu sinyaller kaydedilir. Bu çalışma biçimi, uydu, yer istasyonunun yukarıda sözü edilen görüntü alanında iken söz konusudur. Günde en az bir kez, enlem arttıkça iki, kimi durumlarda da üç kez, bir yer istasyonundan kayıt yapılabilir. Kayıt süresi her geçiş için yaklaşık 800 saniyedir.

Yer istasyonunun dışındaki alanlarda uydudaki algılama sistemi, istenirse, görüntü kaydedebilmektedir. Bu durumda kaydedilen görüntüler daha sonra Fransa'nın güneyindeki Toulouse kendi yakınındaki AUSSAGEL algılama merkezine gönderilmektedir.

Aussagel'deki birincil istasyonun dışında İsveç'te Kiruna'da bir diğer ana istasyon merkezi bulunmaktadır. Ayrıca, Kanada, Avustralya ve Bangladeş'te telemetre alıcıları bulunmaktadır.

Haziran 1986 gününe kadar Aussagel'de 20 bin SPOT görüntüsünün kaydedildiği bildirilmektedir. Daha kuzeyde olması nedeni ile Kiruna istasyonunda bu süre içinde kaydedilen görüntü 40 bindir.⁶

VERİ İŞLEME

Yer istasyonunda kaydedilen sinyaller bir ön işlemden geçirilerek 60 km uzunluğunda ve 60-80 km genişliğinde görüntü çerçevelerine dönüştürülür. Her çerçeve daha önceden belirlenen bir referans sistemine göre, enlem ve boylama bağlı olarak numaralanır.

Orijinal görüntü verileri, hemen kullanılabilir duruma gelinceye kadar bir çok değişik işlemlerden geçirilir. Uygulanan düzeltme işlemleri şunları içerir:

- Radyometrik düzeltmeler: Dedektörlerin, optik sistemin ve telemetre sisteminin kalibrasyon faktörlerini dikkate alan düzeltmeler
- Geometrik düzeltmeler: Yönelme açısı, yerin dönmesi, projeksiyon gibi durumları göz önüne alan düzeltmeler.

Fransa Ulusal Coğrafya Enstitüsü (IGN) ve Uzay Araştırmaları Ulusal Merkezi (CNES) ortaklaşa bir merkez oluşturmuşlardır. Bu merkez (CRIS)'de, bir yandan orijinal SPOT verileri arşivlenirken, bir yandan da standart görüntü veri işlemleri yapılmaktadır.

Görüntüler şu düzeylerde elde edilmektedir: 1A, 1B, 2 ve S.

1A Düzeyi, temel olarak işlenmemiş -ham- veri düzeyidir. Yalnız algılama sisteminin elemanlarının duyarlıklarının birbirlerine eşit olabilmesi için gerekli radyometrik düzeltmeler yapılır. Herhangi bir geometrik düzeltme söz konusu değildir. Bir başlangıç noktası, uydu yörüngesi ile çakışık bir "p" ve buna dik olan bir "q" eksenlerine göre bir

grid oluşturulur. Pankromatik modda ∓ 3000 değerleri ile bir çerçeve oluşturulur. "p" koordinatı "k.t" ile bulunur. Burada t, başlangıç noktasından itibaren geçen süreyi, k ise uydunun yerdeki izinin tersini gösterir. "q" değeri de dedektör konumundan başka bir şey değildir.

1B Düzeyi, geometrik düzeltmeleri de içine alır. Stereoskopik görüntüler bu düzeyde oluşturulur. Bir başlangıç noktası, bu noktadan geçen tarama çizgisi ile çakışan bir x eksenini ile buna dik bir y eksenini alınır. Öncelikle yerin dönmesi sonucu, ayrıca fotogrametrideki kappaya karşılık gelen dönüklük nedeni ile, ye eksenini daha sonraki çerçevenin merkezinden geçmez. Aradaki açı ekvatorunda 4° , kutuplarda 0° dir. Bu düzeydeki görüntü, başlangıç noktasına göre konform projeksiyonda oluşturulur.

2 Düzeyi, duyarlı işlemler düzeyidir. Her çerçevede 6-9 kontrol noktası kullanılarak konum koordinatlarına düzeltmeler getirilir. Konform Lambert, Transvers Merkator, eğik ekvatoryal, kutupsal stereografik ya da polikonik projeksiyon sistemine göre görüntüler oluşturulur. Bu düzeyde yükseklikten ileri gelen öteleme dikkate alınmaz. Bu nedenle çerçevenin ortası kenarlara göre daha doğru sonuç verir. Film olarak çoğaltılan görüntülerin çerçeveleri coğrafi eksenlere paralel değildir.

S Düzeyi'ndeki ön işlemler de yer kontrol noktalarına dayanır. Komşu çerçeveler ile de ilişkiler sağlandığı için mutlak konuk doğruluğu çok yüksektir.

ÜRÜN TÜRLERİ VE FORMATLARI

SPOT ürünleri nadir dolayı ve nadirötesi tam bir çerçeve, stereo çerçeveler biçiminde olabilmektedir. Daha küçük boyutlu alt çerçeveler de oluşturulmaktadır. Bu görüntüler film, ya da kağıt baskı, ya da bilgisayar uyumlu bant (CCT) biçimindedir. CCT bantları 6250 bpi, ya da 1600 bpi'tir. Bir görüntü çerçevesi 32 Mbyte'lık bantlardan birinci durumda bir, ikinci durumda iki ya da üç banttır.

1B, 2 ve S düzeyinde film üzerinde oluşturulan görüntüler siyah/beyaz ya da renkli olabilmektedir. 1B ve 2 düzeylerinde üretilen SPOT görüntüleri Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2- Standart SPOT ürünleri

Düzyey	Film Formatı	Ölçek	İçerik
1B	24x24 cm	1/400 000	60x60 km tam çerçeve
	24x24	1/200 000	1/4 çerçeve
	50x50	1/200 000	tam çerçeve
	50x50	1/100 000	1/4 çerçeve

2	35x35 cm	1/400 000	Kuzeye yönlendirilmiş tam çerçeve
	35x35	1/200 000	" " 1/4 çerçeve
	70x70	1/200 000	" " tam çerçeve
	70x70	1/100 000	" " 1/4 çerçeve

GÖRÜNTÜLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Görüntülerin değerlendirilmesine ilişkin şu olanaklar sayılabilir:⁷

Çerçeve rödresmanı: SAM (Sayısal Arazi Modelleri) verileri kullanılarak yükseklikleri bilinen grid noktalarının koordinatları (p, q) bulunur. Uygun bir enterpolasyonla rödre edilmiş çerçeve elde edilir.

Stereoskopik çizim: Uygun B/H oranlı çerçeve çiftlerinden klasik fotogrametride olduğu gibi ortak alanda ayrıntıların yükseklikleri algılanabilir. Yeteri kadar kontrol noktası varsa nümerik ya da analog olarak modelin ve çerçevelerin yöneltme elemanları belirlenebilir. Böylece istenilen ayrıntılar haritaya aktarılabilir.

Analitik aletlerde değerlendirme: Model parametreleri aletin bilgisayarında otomatik olarak elde edilir. Çizim klasik fotogrametride olduğu gibi yapılabilir. Doğrudan harita elde edilebileceği gibi eşyükselti eğrileri de üretilebilir. Bu bilgilerden tek bir çerçevenin rödresmanı yapılabileceği gibi iki görüntüden ortofotoğraflar da elde edilebilir.

Otomatik korelasyon: Homolog çizimlerin karşılaştırılması ile, çizgi çizgi sayısal korelasyon sağlanarak doğrudan doğruya sayısal arazi modelleri elde edilebilir.

Uzay triyagülasyonu: HRV algılayıcı sistemi tek tek çerçeve kaydı yerine sürekli bir şerit görüntüleme yapmaktadır. Bu durum teknik ve ekonomik bazı olanaklar sağlamaktadır. Söz gelimi daha az sayıda yer kontrol noktası kullanılmaktadır. Özellikle jeodezik verilerin yetersiz olduğu alanlarda bölgenin kuzey ve güneyindeki çok az sayıda kontrol noktası ile çerçeveler ve modeller oluşturulabilmektedir.

GEOMETRİK NİTELİK SORUNU

SPOT görüntüleri ile elde edilen ürünlerin kartoğrafik niteliği, istenen doğruluğun ne ölçüde sağlanabildiği anlamına gelir. Genel olarak kartoğrafik ürünlerden beklentiler mevcut standartlara karşılık gelir. Bu standartlar da genellikle ölçeğe ve ürünle ilgili diğer spesifikasyonlara bağlıdır.

Doğrulukla ilgili şu iki noktayı birbirinden ayırmak gerekir:

- Hava fotogrametrisindeki ayırma gücü, uzaktan algılamada da görüntünün piksel boyutlarından kaynaklanan doğruluk,
- Geometrik doğruluk, ya da konum doğruluğu.

Birinci açıdan doğruluk sözcüğü yeryüzü ayrıntılarının tanınabilmesi ve saptanabilmesi ile ilgilidir. Bu da standart sorunundan çok bir ekonomi sorunudur. Örneğin hava

fotogrametrisinde ayırma gücünü artırmak için fotoğraf ölçeğini büyötmek gerekir ki bu da bir ekonomi sorunudur.

Geometrik doğruluğu tanımlamak daha kolaydır. Söz gelimi, bütün harita üreten ya da harita yaptıran kurumlar konum doğruluğu olarak 0.2 mm'lik bir çizim doğruluğunu ve buna bağlı bir yükseklik doğruluğu kabul etmişlerdir. 1/50 000 ölçekli haritalar için bu değerler konum koordinatlarında 10 m, yükseklikte de 5 m'dir.

Bu iki açıdan bakılınca, SPOT görüntülerinin 1/50 000 ölçekli haritaların standartları ile karşılaştırılmalarının anlamlı olacağı, daha büyük ölçekli haritalar için bu görüntülerin ancak belirli bir kartoğrafik doğruluk isteyen tematik uygulamalar için kaynak oluşturabileceği düşünölebilir.

SPOT sisteminin bir harita yapımı aracı olarak üstünlükleri şu şekilde sıralanmaktadır:⁵

- Diğer bütün uzaktan algılama uydularında olduğu gibi, hava fotogrametrisindeki uçuş çizgilerinin değişkenliğine karşılık kararlı bir yörünge söz konusudur.
- Tarayıcı türünden bir algılayıcı sistem taşıyan bir uçağa göre karşılaştırılmaz ölçüde bir durum kararlılığı bulunmaktadır.
- Konum verilerinin kaydedilebilmesi doğruluğun önemli ölçüde artmasını sağlamaktadır.
- 10 m'lik bir piksel boyutuna ulaşmış olması.

DİğER SPOT TASARIMLARI

SPOT 1 uydusuna eşdeğer SPOT 2 için çalışmaların sürdüröldüğü, 1987 yılı ortalarında yörünnesine yerleştirileceği bildirilmektedir. SPOT 1 görüntü göndermeyi bu yıl da başarı ile sürdürebilirse SPOT 2 1988'e ertelenecektir.

1990'lı yıllarda yörüngelerine yerleştirilecek SPOT 3 ve 4 tasarımları, SPOT 1 ve 2'nin özelliklerini taşımakla birlikte performansını artırıcı yönde ve pazar isteklerini karşılayıcı doğrultuda aşağıda belirtilen değişiklikleri içerecektir:⁶

- Yaşam süresi iki yıl yerine, ilk ikisinden farklı olarak dört yıl olacaktır.
- Pankromatik mod kullanılmayacak. Onun yerine çok bantlı modun 0.61-0.68 mikron dalga boyu aralığında 10 m'lik örnekleme boyutu ile çalışılacak. Bundan da yararlanılarak yine 20 m'lik çok bantlı görüntü kaydedilecek.
- VEGETATION adlı yeni bir algılama sistemi eklenecek. Dizi biçimindeki detektörler yerine, bu yeni sistem, alan biçiminde dizilmiş detektörlerden oluşacaktır. Geniş açılı ve aynı modlarla çalışan bu algılayıcı sistem ile daha global kayıtlar yapılabilecek. Normal modda, nadir dolayındaki piksel boyutları 1 km, global moda ise 4 km olacaktır.

KAYNAKÇA

1. DOYLE, F.J.: Surveying and mapping with space data. ITC Journal 1984-4, s.: 314-321.
2. HEMPENIUS, S.A. vd.: Characteristics of the second generation earth observation satellites. ITC Journal 1983-1, s. 21-33.

3. WELCH, R.-MARKO, W.: Cartographic potential of a spacecraft line-array camera system - STEREOSAT. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Cilt 47, No. 8, 1981, s.: 1173-1185.
4. CHEVREL, M. vd.: The SPOT satellite remote sensing mission. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Cilt 47, No. 8, 1981, s.: 1163-1171.
5. CNES: SPOT Satellite-Based Remote Sensing System. 1984.
6. BRACHET, G.: SPOT IMAGE and commercialisation of remote sensing data. SPACE-COMMERCE '86 Montreu, 16-20 Haziran 1986.
7. GUICHARD, H.: Geometric rectification and photogrammetric plotting of SPOT images. SPOT IMAGE 1986.
8. GUICHARD, H.: Mathematical analysis of mapping qualities of SPOT cartographic products. SPOT IMAGE 1986.
9. PETRIE, G.: Some considerations regarding mapping from earth satellites. Photogrammetric Record, 6(36), 1970, s.: 590-624.

UYDU YÖRÜNGELERİNE İLİŞKİN TEKNİK BİLGİLER

Kaynakça listesinde verilen (9)'dan yararlanılarak uydu yörüngelerine ilişkin teknik bilgiler aşağıda özetlenmiştir.

YÖRÜNGE BİÇİMİ, YÜKSEKLİĞİ, HIZI VE PERİYODU

Uydu hareketleri genel olarak Kepler yasalarına göre yönetilir. Uydunun uzaya fırlatılma hızı 29 bin km/saat, ya da 8 m/s dolayındadır. Bu basamaktan bir hızla fırlatılan bir uydu, Kepler'in Birinci Yasası'na göre, odaklardan biri yerin ağırlık merkezi olan bir eliptik yörüngeye oturur. Bu elipsin büyük eksenini (a), yerküresi merkezinden en uzak ve en yakın noktalara olan uzaklıkların toplamının yarısıdır.

$$a = 1/2 (h_a + h_p)$$

Uydunun hızı Üçüncü Kepler Yasası'na göre değişir. Buna göre bir tam devir için geçecek sürenin karesi yerin merkezinden itibaren uydunun uzaklığının küpü ile orantılıdır. Örneğin 160 km yükseklikteki bir uydunun periyodu 88 dakika ise 800 km yükseklikteki bir uydunun periyodu da P ile gösterilirse

$$P^2/88^2 = (6370 + 800)^3 / (6370 + 1600)^3$$

orantısı yazılabilir. Buradan P = 100 dakika bulunur.

Yörünge boyunca uydunun hızı da İkinci Kepler Yasası'na göre değişir. Buna göre, uyduyu yerin merkezine birleştiren doğru eşit zaman aralıklarında eşit alanlar süpürür. Buradan uydunun yere yakın olduğu noktada en büyük hıza ulaşacağı anlaşılır.

Atmosferik sürüklenme nedeni ile uydu, ardarda iki yörüngede en uzak noktaya- yeröte (apogee) noktasına- yeniden ulaşamaz. Böylece giderek dairesel bir yörüngeye dönüşür. Daha sonra da artan hava sürtünmesi ile atmosfere girerek yanar.

YÖRÜNGE EĞİMİ

Uydu yörüngesi ekvator düzlemini iki noktada keser: İniş ve yükseliş noktaları (Descending, ascending nodes). Yükseliş noktasında, saat ibresinin tersi yönünde ölçülen, ekvator ve yörünge düzlemleri arasındaki "i" açısına yörüngenin eğim açısı denir. Bu açı 90°'den küçükse, yörünge hızının bileşkesi yerin dönme yönü ile aynı yöndedir. Bu duruma "Prograde" eğim, 90°'den büyük olmasına da "Retrograde" eğim adı verilir.

Uydu, yörüngesinde kuzeye doğru hareket ederken ekvator düzlemini kestiği nokta yükseliş noktasıdır. Yükseliş noktası, astronomide olduğu gibi rektasenzasyon açısı ile, ya da yer koordinatları sisteminde boylam değeri ile tanımlanır. Her iki tanımlama da yükseliş zamanının Greenwich'teki yıldız zamanı ile ilgilidir.

Uydunun fırlatılmasından sonra ilk yükseliş noktasından geçişi 0, daha sonraki geçişler de sıra ile 1, 2, 3 sayıları ile numaralanır.

Yapay uyduların eğimlerinin özel bir önemi vardır. $i = 60^\circ$ olan bir uydunun, yer üzerindeki izi maksimum ve minimum 60° kuzey ve güney enlemlerinden geçer. $i = 90^\circ$ ya da bu değere yakın olması yeryüzünün tüm olarak taranabilmesi olanağını sağlar.

YERİN DÖNMESİNİN ETKİSİ

$i \neq 0^\circ$ olan bir uydunun ardışık iki yörüngesinin yer üzerindeki izi, yerin dönmesi nedeni ile aynı değildir. Ardışık yörüngelerdeki iki yükseliş noktası arasında yörünge periyodu olan P dakika kadar bir boylam farkı oluşur. Boylam farkı ile periyod arasında

$$\Delta \lambda^\circ = \frac{P(\text{dakika})}{1440} \cdot 360^\circ$$

bağıntısı yazılabilir. Söz gelimi, 90 dakikalık bir yörünge periyodu $22^\circ.5$ 'lik bir boylam farkına neden olur. Bu değer, ekvator üzerinde 2500 km'lik bir ötelemeye karşılık gelir. Bir sonraki yükseliş noktası 2500 km batıya ötelenir.

$i = 0^\circ$ olan ve yörünge periyodu 24 saat olan, doğuya doğru hareket eden bir uydunun, yerdeki bir gözlemciye göre hareketsiz imiş gibi görünür. Bu durumda yörünge yüksekliği 35800 km'dir. Bu tür yörüngeler ve uydular için "Yer ile eşzamanlı" (Geosynchronous) terimi kullanılır.

UYDU YÖRÜNGESİNİN YER EKSENİ ÇEVRESİNDEKİ PRESESYONU

Yer küresinin basıncılığı nedeni ile uydunun yörüngesinde yerin dönme eksenini çevresinde bir presesyon hareketi oluşur. Bu yüzden iniş ve yükseliş noktalarının, yerin dönme ekseninden ileri gelen değişikliğe ek olarak küçük değişimler ortaya çıkar. $i > 90^\circ$ ise yükseliş noktası doğuya doğru, $i < 90^\circ$ ise batıya doğru bir miktar yer değiştirir. Bu yer değiştirmenin miktarı

$$(9.97 (R/a)^{3.5} \cos i)^\circ$$

ile ifade edilir.

DÜNYANIN GÜNEŞ ÇEVRESİNDE DÖNÜŞÜNÜN ETKİSİ VE GÜNEŞLE EŞZAMANLI YÖRÜNGE KAVRAMI

Bir yıldız günü ortalama güneş gününe göre 4 dakika daha kısa olduğundan yörünge ekvator düzlemini kestiği noktalarda boylam cinsinden 4 dakikalık, ya da $360^\circ/365.25 = 0^\circ.9856$ 'lık bir değişim olur. Yörünge presesyonu olmayan $i = 90^\circ$ olan bir uydunun, söz gelimi altı ay sonra yükseliş noktası 12 saat, üç ay sonraki yükseliş noktası da 6 saat, başlangıcındaki değerinden farklı olacaktır.

Fotoğrafik sistemler gibi görünen ışık ile çalışan algılama sistemlerinin kullanıldığı durumlarda uydunun her zaman aynı yerden aynı yerel güneş zamanında geçebilmesi önem kazanır. Bunun için, yukarıda sözü edilen fark ve presesyon dikkate alınarak yörünge eğimi (i) ve yerin merkezinden itibaren yörünge yüksekliği (a) arasında

$$(9.97 (R/a)^{3.5} \cos i)^\circ = -0^\circ.9856$$

bağıntısından yararlanır. Yörünge yüksekliği ve eğimi bu eşitliği sağlayacak biçimde seçilmişse bu uydulara "Güneş ile eşzamanlı" (Sun-synchronous) uydular denir.

Güneşle eşzamanlı çalışan bir uydu, enlemleri aynı olan noktalardan, yerel güneş zamanları ile aynı saatte geçer.