

SPOT UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN TOPOĞRAFİK UYGULAMALAR

Mustafa ÖNDER
Yük.Müh.Bnb.

1. GİRİŞ

22 Şubat 1986'da Fransa Uzay Ajansı CNES tarafından uzaya fırlatılan SPOT-1 uydusu, kartografik amaçlı bir uzaktan algılama sistemidir. Yörüngesine oturtulmasından bu yana geçen üç yıl içerisinde yeryüzünün bir milyona yakın görüntüsü elde edilmiştir. Yüksek ayırma gücünde görüntü elde etmesinin yanında stereo gözleme yeteneği, uzaktan algılama amaçlı diğer uydular arasında kendine özel bir yer ayrılmasına neden olmuştur. Bu yeni ve yüksek performanslı çok bantlı algılayıcının kullanımları da gün geçtikçe artmakta ve araştırma ya da uygulama alanları buna bağlı olarak hızla genişlemektedir.

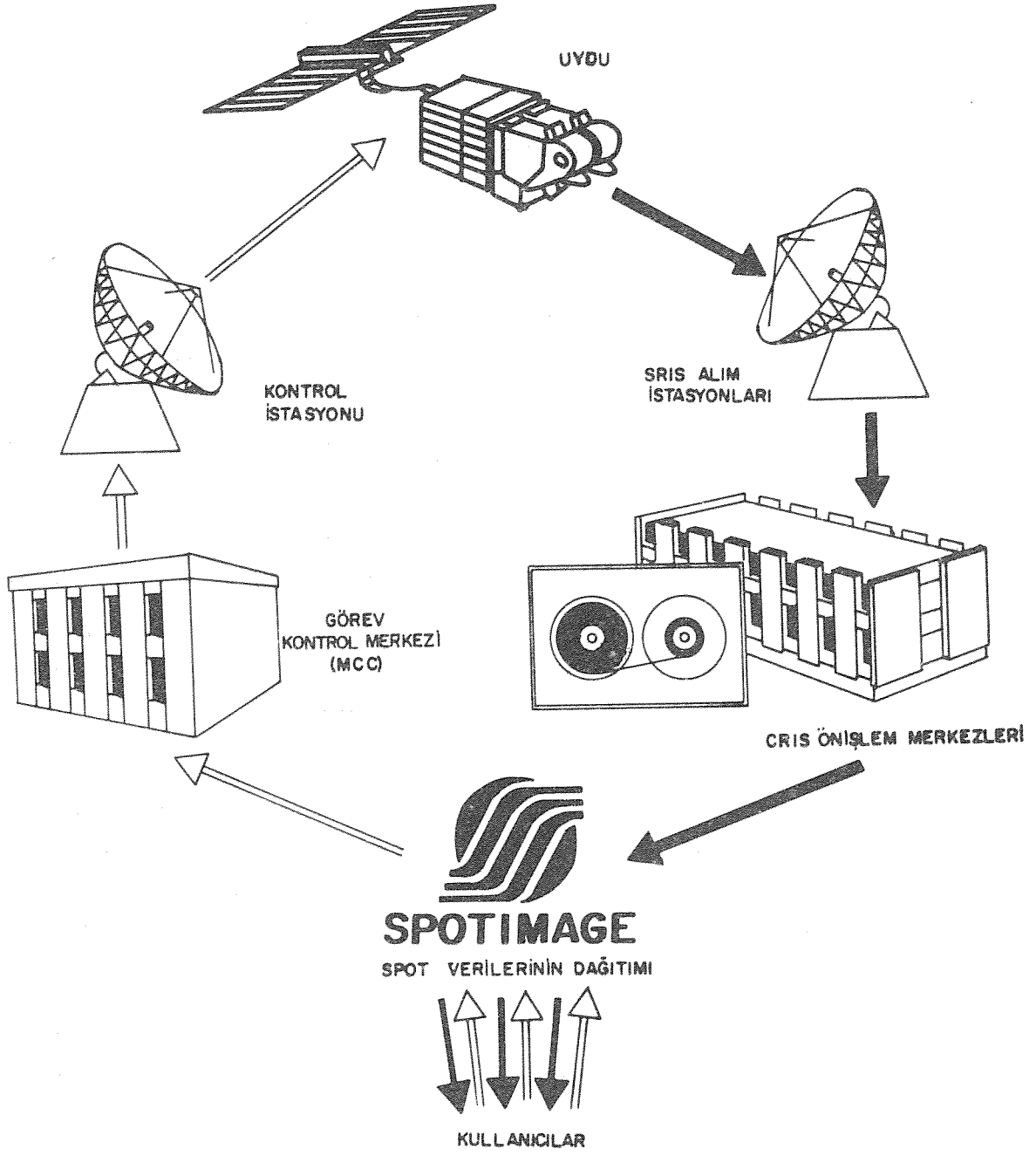
Gösterdiği yüksek performansın doğal bir sonucu olarak gözler şimdiden SPOT-2, 3 ve 4 projelerine çevrilmiştir. SPOT-1 in göreve devam durumunu bağlı olarak 1989 sonu ya da 1990 başlarında fırlatılacak olan SPOT-2 rampasında beklerken, SPOT-3 inşa halinde, SPOT-4 ise geliştirilme aşamasının sonlarına gelmiş bulunmaktadır.

SPOT ürünlerinden yararlanma oranı hızla artarken bu özel yetenekli uydudan yararlanmak isteyen ülkelerin sayısında da büyük bir yükselme gözlemlenmektedir. Bunun başlıca nedenlerinden biri, beklenen doğrulukta topoğrafik uygulamalara olanak sağlayan tek uydu olma özelliğini ısrarla koruyor olmasıdır.

Bu bildiride, SPOT uydusunun topoğrafik uygulamalara yönelik kullanımını sağlayan teknik özellikleri ele alınarak, bu çerçevede gerçekleştirilen kartografik çalışmalar ve bu alandaki yeni gelişmeler açıklanmıştır.

2. SPOT SİSTEMİ

SPOT Sistemi, yer alım istasyonlarına bağlı SPOT uyduları ile yeryüzünün gözlenmesini ve elde edilen görüntülerin işlenmesi, arşivlenmesi ve dağıtımını amaçlıyan bir sistemdir. Sistem, görüntü alma istasyonları, önışlem merkezleri, veri dağıtım birimleri, görev kontrol merkezi, kontrol istasyonu ve iki adet HRV (High Resolution Visible) algılayıcı ile donatılmış bir yörünge uydusundan oluşmaktadır (Şekil-1).



SPOT SİSTEMİNİN GENEL YAPISI

Burada topoğrafik uygulamalara esas teşkil eden sistem içi özellikler açıklanmaya çalışılacaktır.

2.1 YÖRÜNGE

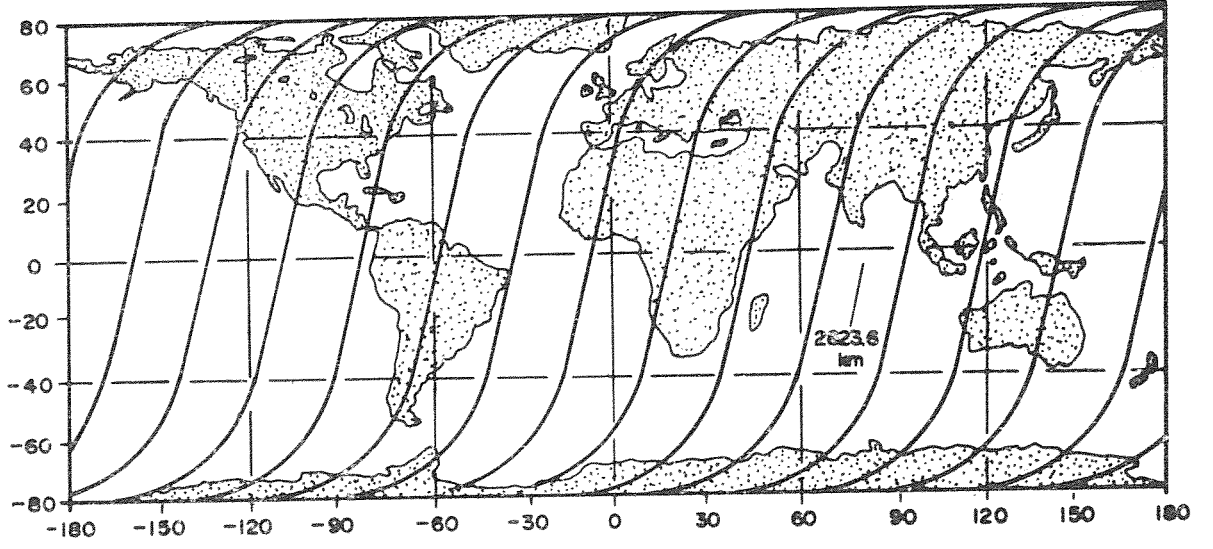
Bir uzaktan algılama uydusundan başlıca beklenti, değişik tarihlerde elde edilen görüntülerin kıyaslanmasına olanak tanınmasıdır. Bunun sağlanabilmesi için de uydu yörüngesinin düzenli ve eşyumlu görüntü alımını sağlayacak özellikte olması gerekir. Bu özelliklerin başında, görüntü alım noktasının tüm görüntüler için aynı nitelikleri taşıması, yani yeryüzü üzerinde sabit yükseklikli bir yörünge olması gerekmektedir. Diğer ise, kutuplara yakın geçen bir yörünge sayesinde yeryüzü üzerinde her alanın görüntülenebilmesidir.

Dünya etrafında dönen her uydu gibi SPOT yörüngesi de gravite yasaları ile sınırlandırılmıştır. Yeryüzünün tam bir küre kabul edildiği ve uydu üzerine yer çekimi etkisinin sözkonusu olmadığı varsayıldığında; yörünge, yerin merkezini odak noktalarından biri kabul eden bir elipstir. Yörüngeyi etkileyen temel etken "yer çekimi" olmakla birlikte, yeryüzünün şekli, diğer yeryüzü düzensizlikleri, ay ve güneş çekimi ve diğer güçlerin etkisini de gözardı etmemek gerekir.

Yeryüzünün kendine özgü kutuplarda basık, ekvator bölgesinde genişleyen yapısı nedeniyle uydu yüksekliği enleme bağlı bir yapı göstermesine karşın ortalama yükseklik 830 km.dir. Hergün yaklaşık olarak 14 kez dünya etrafında dönen SPOT uydusu 26 günde (369 dönüş sonrası) tüm yeryüzünü görüntüleme yeteneğine sahiptir.

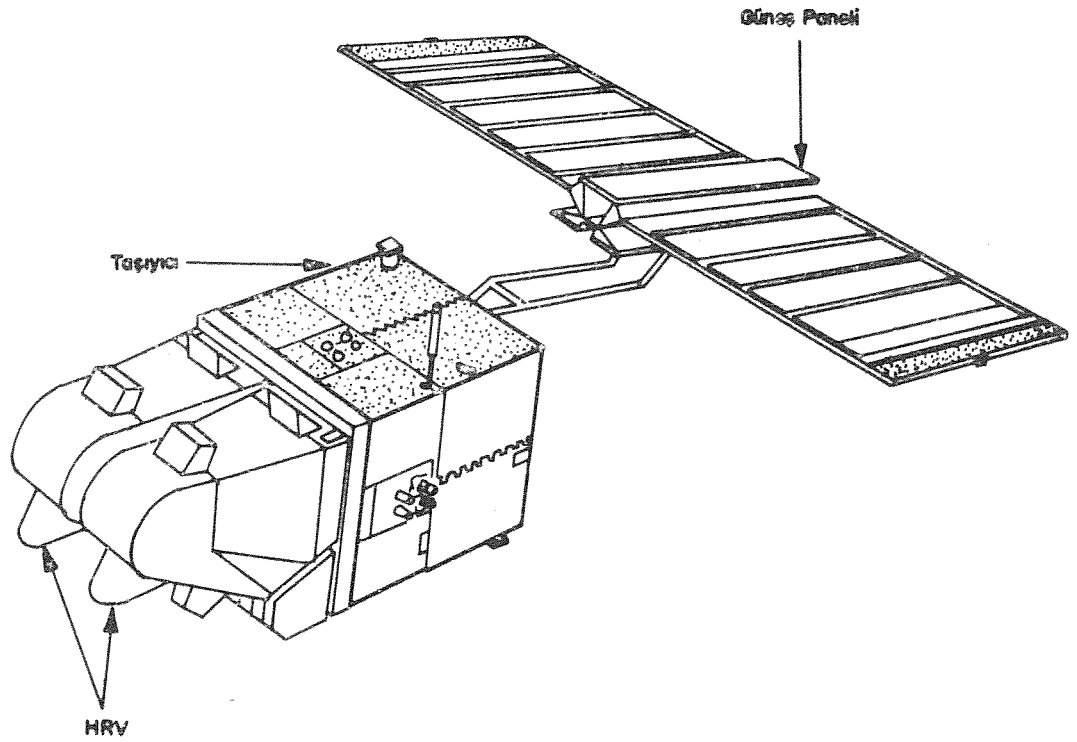
Elips yörünge düzlemi ile güneş arasındaki açı sabit olup uydu, ekvator düzlemini alçalma noktasında (descending node) daima aynı yerel saatte yani 10.39 da geçer. Dünyanın kendi eksenini etrafındaki dönüşü ile uydunun dünya etrafındaki dönüş hızının eş zamanlı olması sonucu yeryüzü üzerinde 369 yörünge izi oluşturularak görüntüleme işlemi gerçekleştirilir. Birbirine komşu yörünge izleri arasındaki uzunluk Ekvatorda 108,6 km , uydunun bir turu sırasında geçen süre ise 101,4 dakikadır. (Şekil-2)

Gravite etkisi, güneş radyasyon basıncı ve atmosferik sürtünme, yörünge yüksekliğinde günde ortalama 1 m.lik azalmaya neden olur. Yılda 5-10 kez yapılan yörünge düzeltmeleri ile 50-200 m. arası yükseklik düzeltmeleri getirilir. Yılda bir kez de eğim (inclination) düzeltme işlemi yapılır.



VERİLEN GÜNDE SPOT UYDUSUNUN KUZAY - GÜNEY GEÇİŞLERİ

Şekil-2



SPOT UYDUSUNUN GENEL GÖRÜNÜŞÜ

Şekil-3

Bu düzeltmeler ile yerel geçiş zamanının ± 15 dakika içinde kalması ve uydu geçişinin ± 5 km.lik doğruluk ile verilen iz üzerinde gerçekleştirilmesi sağlanır.

2.2. SPOT UYDUSU

Spot uydusunun başlıca amacı yer görüntülerini elde etmek ve bugünkü görüntüleri kayıt modunda veya doğrudan yer alım istasyonlarına iletmektir. Uydu; güneş paneli, taşıyıcı ve iki adet HRV algılayıcısından oluşur.

Uydunun toplam ağırlığı 1750 kg., taşıyıcı kısmın boyutları ise 2m x 2m x 3,5m.dir. Güneş panelinin uzunluğu 15,60m., her bir HRV aletinin ağırlığı 250 kg. ve uzunluğu 2,5m.dir. (Şekil-3)

SPOT'un zincirleme görüntü elde etme görevinin temel işlevleri;

- Görüntü oluşturma ve analiz
- Görüntü verilerini depolama ve gönderme

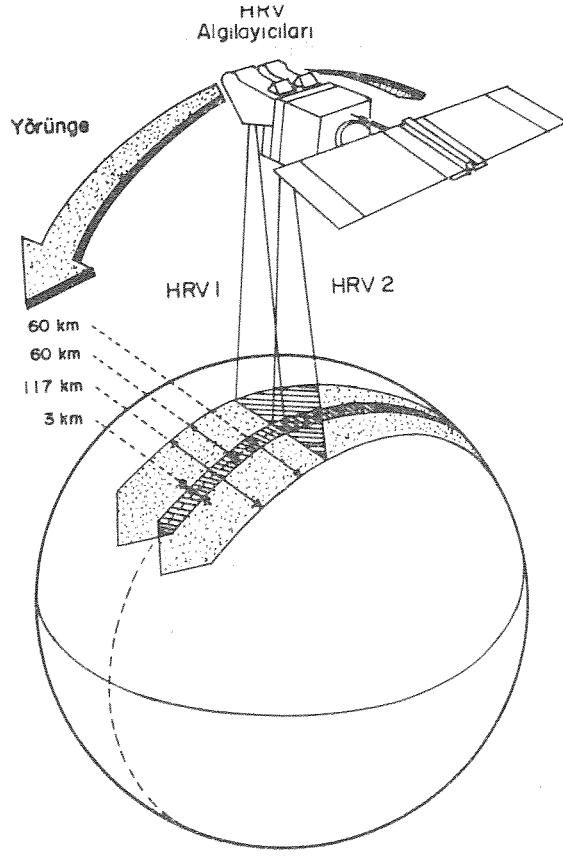
olarak özetlenebilir.

2.3 HRV ALETLERİ

SPOT uydusu üzerinde birbirinin tamamen aynı iki adet HRV aleti bulunmakta ve bunların her ikisi de pankromatik (P) ve multispektral(XS) modlarda algılama yapabilmektedirler. Aletin optik görüş alanı iki mod için de $4,13^{\circ}$, açıklık değeri ise $f/3,3$ tür. Asal uzaklığın 1082 mm. ye karşılık geldiği bir HRV'nin görüntüleme genişliği düşey görüş için 60 km.dir. İki aletin birlikte çalıştığı ve düşey görüntüleme durumunda toplam görüntüleme genişliği, görüntü kolonları arasındaki 3 km.lik enine bindirme ile birlikte 117 km.dir. (Şekil-4)

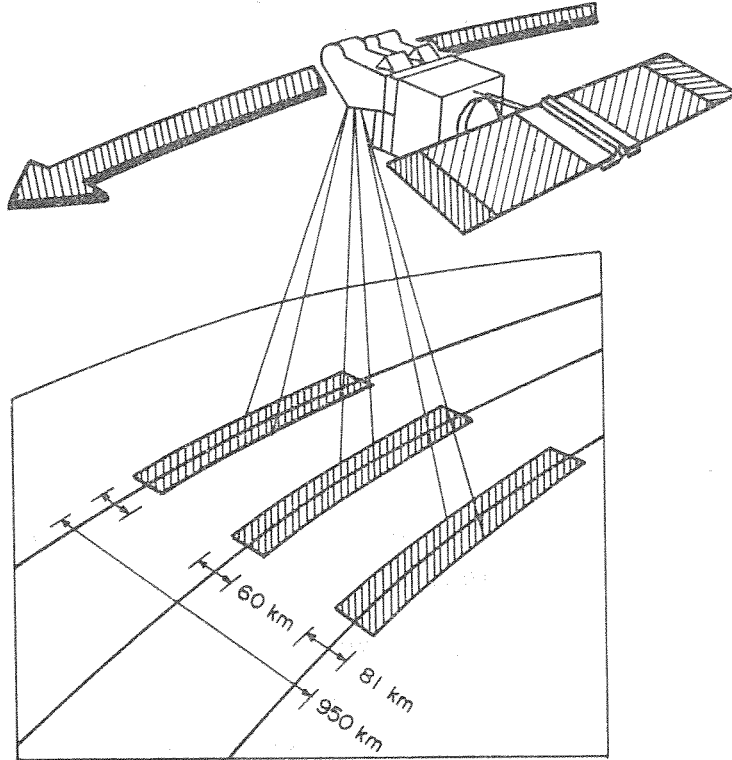
HRV aleti ile herhangi bir an için elde edilen görüntü, pankromatik modda uydunun yeryüzü üzerindeki izdüşüm noktasına göre 7,5 km önünde , multispektral modda ise 7,5 km. arkasındadır. HRV aletlerin görüş açısı $\pm 7,5^{\circ}$ arasında olduğunda düşey görüş yaptığı kabul edilir. Bundan büyük değerler ise eğik görüş olarak nitelendirilir ve her iki alet de eğik görüş yapma yeteneğine sahiptir.

$\pm 27^{\circ}$ lik görüş alanı içerisinde alet üzerinde bulunan "kolon seçme aynası"na yerden komut ile $0,6^{\circ}$ lik artımlar vermek suretiyle eğik görüş gerçekleştirilir. Eğik görüş, uydunun o anda izlediği yörünge üzerinde olmayan alanların görüntülerini elde etmek için kullanılır. Böylece uy-



İKİZ DÜŞEY GÖRÜŞTE GÖRÜNTÜLEME ALANI

Şekil-4



DÜŞEY VE EĞİK GÖRÜŞ KULLANILDIĞINDA ERİŞİLEBİLEN KOLON GENİŞLİKLERİ VE GÖZLENEBİLEN ALAN

Şekil-5

dunun sol ve sağındaki toplam 950 km.lik bir alanın görüntülenmesi mümkündür. (Şekil-5). Bu durumda eğik görüşün derecesine bağlı olarak görüntü genişliği 81 km.ye kadar değişebilir./1/.

Görüntüler, uydunun kuzeyden güneye alçalma geçişinde ve yörünge- nin gün ışığı ile kaplı bölümünde elde edilir. Bundan başka kuzey ve güneydeki yaz aylarında yüksek enlemlı bölgelerde güneyden kuzeye yükselme geçişinde de görüntü elde edilebilir.

Görüntü elde etmelere uydunun platformunda bulunan bilgisayar ile komuta edilir. Komutlar, Görüntü Kontrol Merkezinde oluşturularak uyduya gönderilir. Bellek yükleme adı verilen bu işlemler uydunun, kontrol istasyonu görüş alanı içerisinden geçişi sırasında yapılır.

2.4 SPOT GÖRÜNTÜSÜ

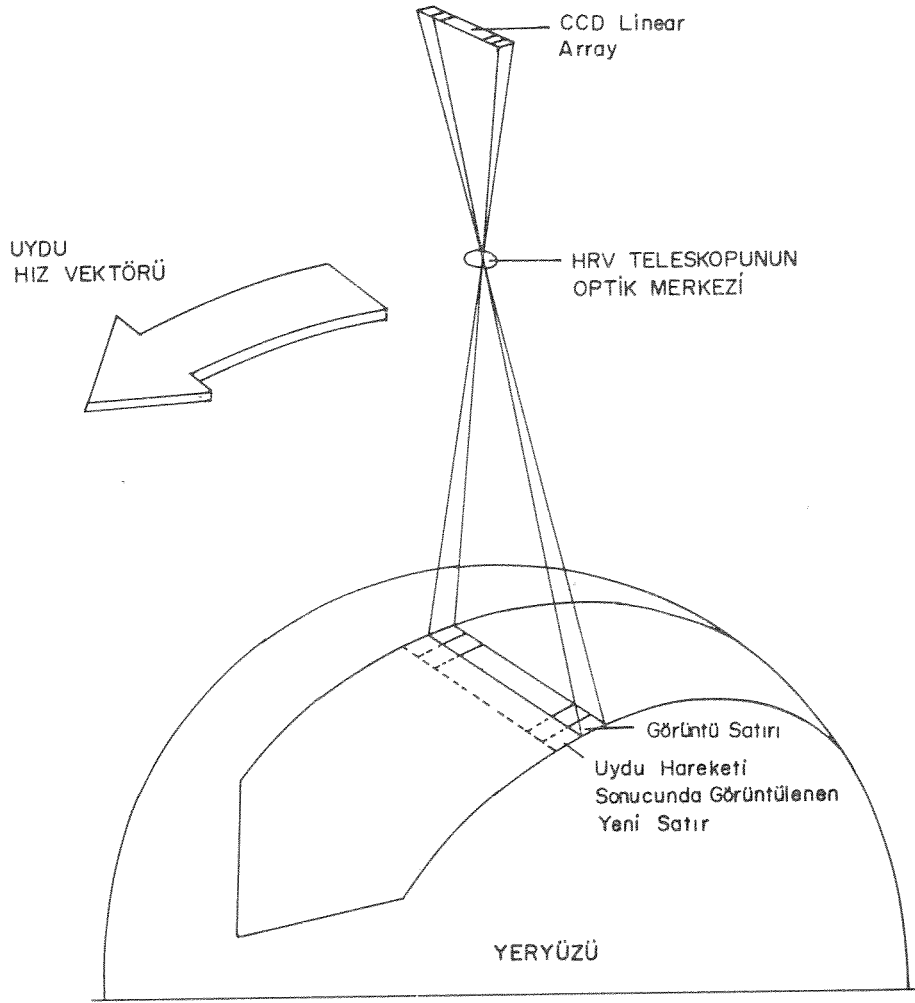
SPOT görüntüleri, piksel adı verilen nokta setlerinin birleşimi ile, yüksek ayırma gücünde renkli veya siyah-beyaz görüntüler/ ^{şeklinde} elde edilir. Her görüntü, yeryüzünden yansıyan ışığın ardaşık satırlar halinde taranması ve analizi ele oluşturulur.

Görüntü analizi, tek veya çeşitli spektral bandlarda görüntülenen cisimden yansıyan radyasyonun (görünen veya yakın kızılötesi) ölçümünü içerir. Analiz işlemi siyah-beyaz veya renkli görüntülerin her ikisinden de yapılabilir.

Siyah-beyaz analiz (pankromatik), görünen spektral band aralığında yani 0.51-0.73 mikron arasındaki dalga boylarında yapılır. Ayırma gücünün yüksek olması nedeniyle iyi geometrik tanımlama isteyen uygulamalarda kullanılır.

Renkli veya multispektral analiz ise üç ayrı spektral band için sözkonusudur. Bunlar; yeşil (0.5-0.59 mikron), kırmızı (0.61-0.68 mikron) ve yakın kızılötesi (0.79-0.89 mikron) dir.

Uydunun hareket yönünde pankromatik mod için 1,504 mikrosaniye (ms), multispektral mod için ise 3,008 ms aralıklarla satır satır tüm dedektörlerce anında kayıt yapılır. (Şekil-6). Her spektral band aralığı için bir satır (linear array) vardır. Pankromatik modu algılayan satırda her biri 13 mikron büyüklüğünde 6000 dedektör, multispektral modda da her band aralığındaki her satır için 26 mikron büyüklüğünde 3000 dedektör bulunur. Bu, multispektral modda 3000 ve pankromatik modda 6000 piksele sahip görüntünün bir satırına karşılık gelir. Görüntü; satır sayısı, sütun sayısına eşit olan ve uydu parametreleri pankromatik



"PUSH-BROOM" TARAMA ESASI

modda 10x10m. ve multispektral modda 20x20m.lik ayırma gücünü elde edecek şekilde belirlenir. Bilindiği gibi ayırma gücü bir piksele karşılık gelen yeryüzü parçasının boyutudur. /2/.

Sistemin bu türü "push-broom tarayıcı" olarak isimlendirilir ve görüntü 60x60 km.lik bir yeryüzü parçasına karşılık gelir.

SPOT düşey görüşten ayrı olarak kolon seçme aynası yardımı ile eğik görüş (nadir-dışı) yeteneğine de sahiptir. Böylece;

- Düşey görüşte aynı bölgenin 26 günde bir gerçekleşen görüntü kaydı 1-4 güne indirilebilir ve

- Nadir-dışı gözlem ile her alanın stereo görüntüleri elde edilebilir.

Uydunun sadece düşey görüş yeteneğine sahip olması durumunda 26 günde bir kez görüntüleyebilmesi, bulutluluğun yüksek derecede olduğu bölgeler için her geçişte görüntü alamama olasılığını da beraberinde getirir. Böylece, periyodik ve sık görüntü elde etmenin sorunlu olduğu uygulamaların gerçekleştirilmesi olanaksızlaşır.

Eğik görüş özelliği sayesinde hem yukarıda açıklanan olumsuzluk ortadan kaldırılır hem de komşu yörünge izleri üzerinde değişik açılı geçişlerle stereo görüntüler elde edilir. Gözlem bazı (iki uydu konumu arasındaki uzaklık) ve uydu yüksekliği arasındaki B/H oranı 1'e yakın bir değerde tutulduğunda, özellikle yüksek ayırma güçlü pankromatik görüntülerle topoğrafik uygulamalara büyük bir kolaylık getirilmiştir. (Şekil 7 ve 8).

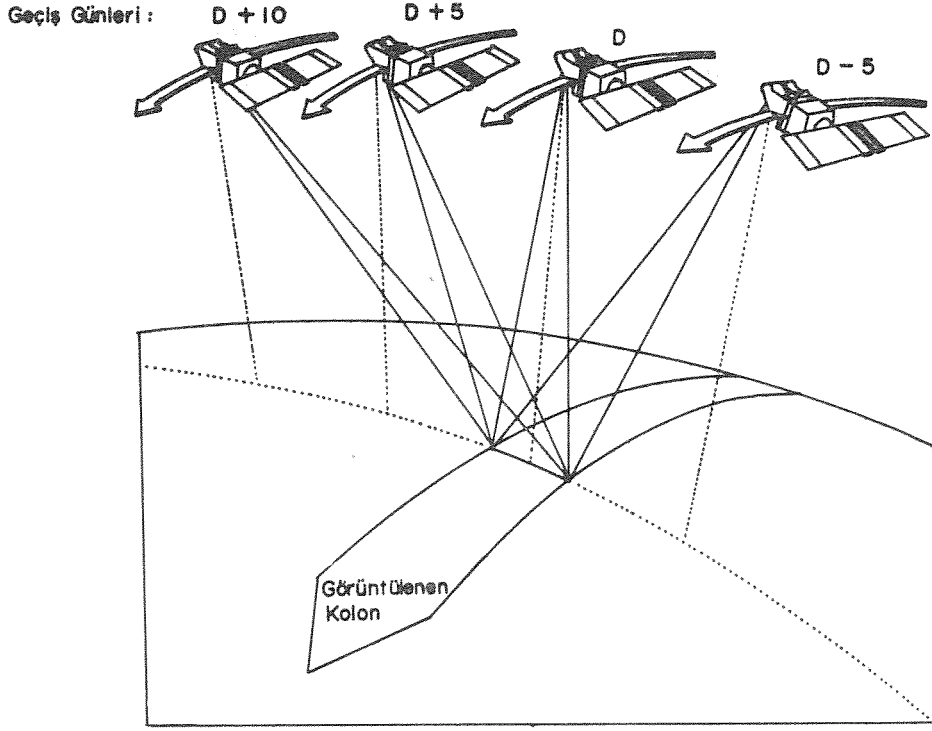
2.5 STANDART SPOT VERİLERİ

SPOT görüntülerinin çeşitli ön işlem düzeylerinden geçirilmiş sayısal ya da fotoğrafik ürün türleri vardır. Standart yapıdaki bu ürün türleri genellikle alım istasyonları tarafından gerçekleştirilir.

2.5.1 Ürünlerin İşlem Düzeyleri

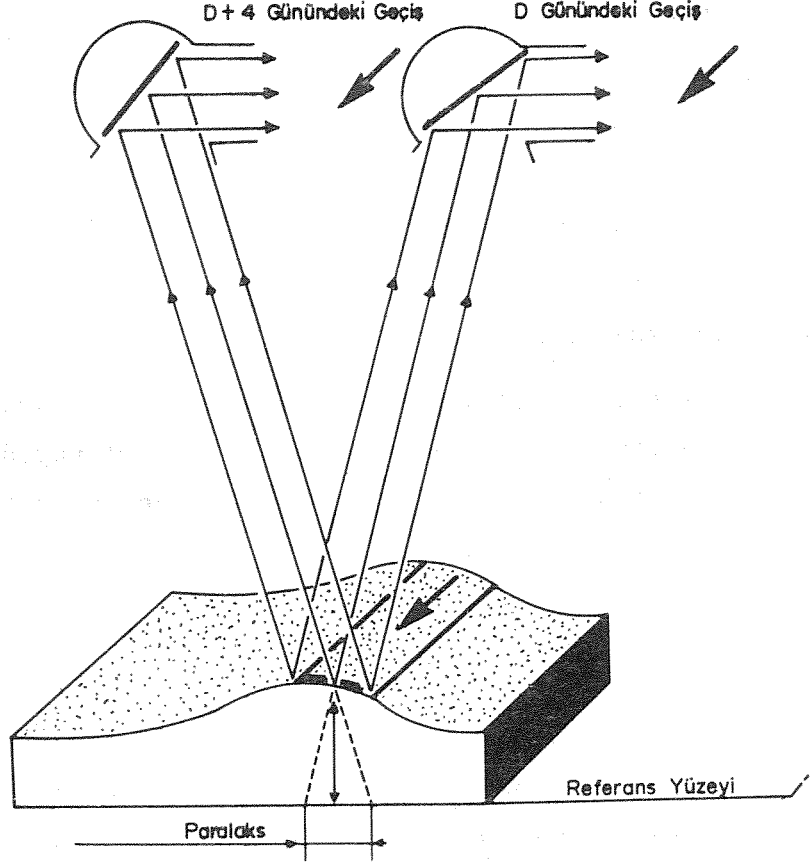
Ön işlemin az veya yüksek düzeyde olmasına göre ürünler aşağıdaki isimler altında tanınırlar.

Düzyey 1 A: Sadece basit radyometrik düzeltme uygulanmıştır. HRV aletindeki CCD (Couple Charged Device) elemanlarının her spektral bant için göreceli kalibrasyon faktörleri gözönüne alınarak basit bir biçimde eşit hale getirilmesini içerir.



SPOT ÜYDUSUNUN GÖRÜNTÜ YİNELEME OLANAĞI

Şekil-7



STEREOSKOPIK GÖRÜŞ

Şekil-8

Düzev 1 B: Tam radyometrik düzeltme ve sistem geometrik düzeltmesi uygulanmıştır. Düzev 1 A'ya ek olarak dünyanın dönüşü ve yuvarlaklığı ile görüş açısı için geometrik düzeltme ve uydu hareketini de gözönünde tutan radyometrik düzeltmeyi içerir.

Düzev 2 ve S: Tam radyometrik düzeltme ve bir harita projeksiyon sistemine veya başka bir görüntüye göre geometrik düzeltme uygulanmıştır. Haritalar üzerine görüntüleri çakıştırmada kullanılır. Coğrafi koordinatları doğru olarak bilinen yer kontrol noktalarının sayısını ve görüntü üzerindeki dağılımını esas olan iki boyutlu bir düzeltme işlemidir. Burada arazinin topoğrafik (rölyef) etkisi göz önüne alınmaz.

Düzev 3: Düzev 2'ye benzemekle birlikte sözkonusu haritaların tam çakışabilmesi için rölyef etkisini de hesaba katan bir işlemi içerir. Topoğrafik yapının aşırı yükseklik farkı sergilediği görüntüler için kullanılır.

Düzev 4: Stereo çiftlerden yararlanılarak analitik aletlerde DTM (Digital Terrain Model) oluşturulmuş görüntülerdir. Otomatik korelasyon ile DTM oluşturma çalışmaları devam etmektedir.

Düzev P: Analitik aletlerde değerlendirme çalışmalarına bir kolaylık getirilmek üzere pankromatik film görüntülerin 23x23 cm. formatına getirildiği 1/266.666 ölçeğindeki görüntülerdir.

2.5.2 Sayısal Ürünler

SPOT görüntülerinin CCT (Computer Compatible Tapes)'ler üzerine kayıt edilmiş şeklidir. Her bandın herbir pikseli 0 ve 255 arasında bir değere sahip olup bir byte üzerine kodlanmıştır. Görüntü, bir bantta her byte bir piksele karşılık gelecek şekilde satır satır kayıt edilir. CCT'ler 6250 bpi veya 1600 bpi sıklığında kayıt edilebilir. Bütünüyle önışlemeden geçirilmiş bir SPOT görüntüsü, 1600 bpi de kayıt edildiğinde, iki veya üç CCT'yi kapsayan 27 ve 100 Mbyte arasında bir veri hacmine sahiptir.

Multispektral moda üç spektral banda karşılık gelen kayıtların gö-reli fiziksel konumu kullanıcı isteğine göre satır sıralı (BIL=Band-Interleaved by line) veya band sıralı (BSQ= Band-Sequential) biçimindedir./4/

Özellikle topoğrafik uygulamalar için büyük önem arz eden görüntüdeki satır ve sütun sayısı, görüntüleme zamanı, azimut ve yükseklik açı-

ları, görüntü merkezi koordinatları, efemeris ve durum verileri gibi birçok yardımcı bilgi CCT'de özel bir kütüğe kayıt edilmiştir.

2.5.3 Fotoğrafik Ürünler

SPOT görüntüleri çeşitli ölçek ve önışlem düzeylerinde, kart veya diapozitifler üzerine fotoğrafik ürünler şeklinde de kullanıma sunulmuştur. Multispektral görüntülerden yararlanılarak değişik renk (false-colour) kompozitleri elde edilebilir.

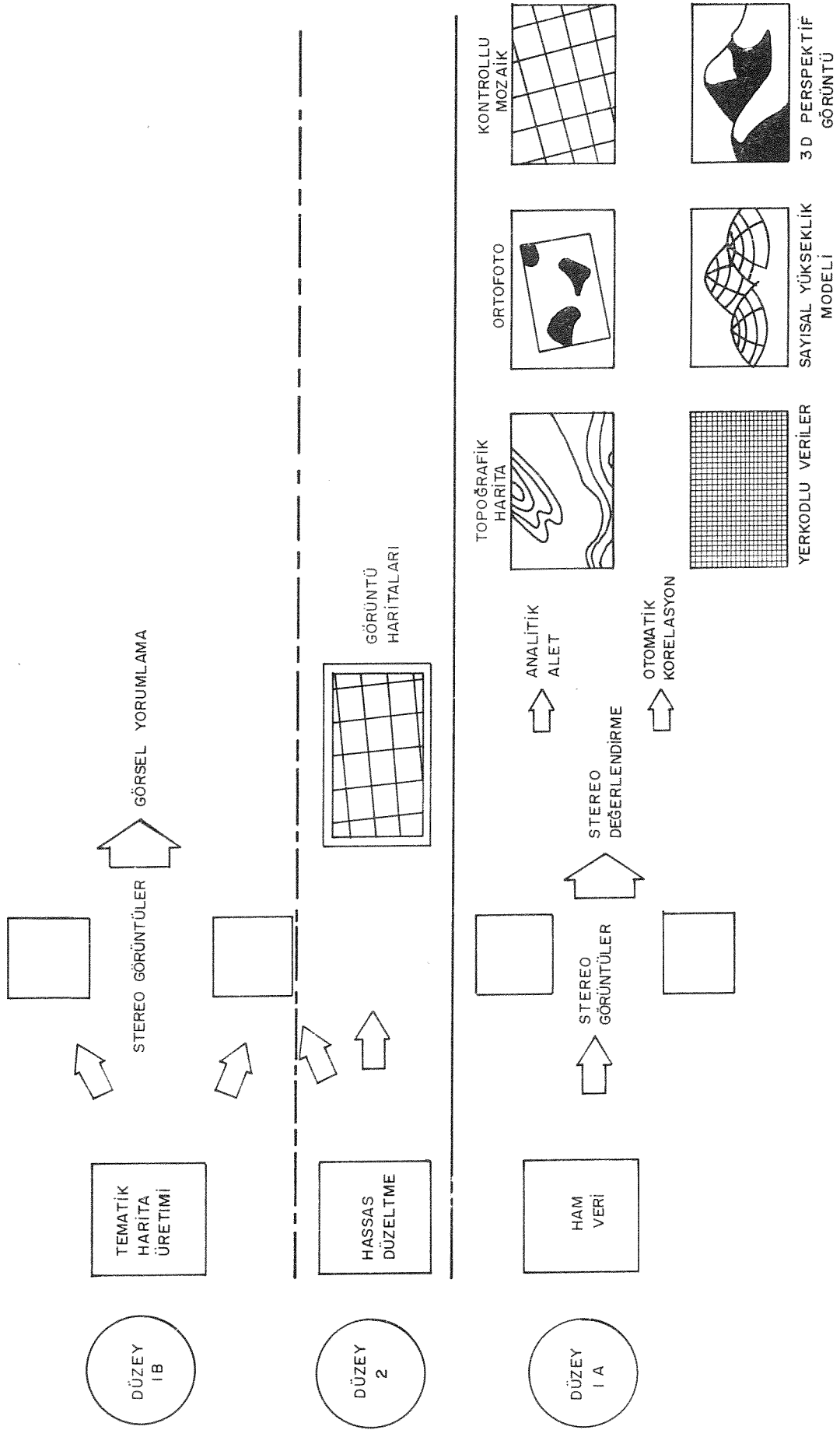
Standart fotoğrafik ürünlerin ölçekleri genellikle 1/400 000, 1/200 000 veya 1/100 000 dir. İşlem düzeyi 1A, 1B, 2 veya 3 olabilir. 2 ve 3, düzeyindeki görüntüler haritalar üzerine süperimpose edilerek iyi bir geometrik kalite ile doğrudan görsel yorumlama için kullanılır. Analitik aletler kullanılarak topoğrafik harita üretimi için en uygun görüntü şekli 1A düzeyindeki pankromatik diapozitiflerdir. Stereokoplar da ise çoğu kez 1B düzeyindeki diapozitifler kullanılır.

3. TOPOĞRAFİK UYGULAMALAR

SPOT görüntüleri daha öncede açıklandığı üzere birçok biçimde (örneğin; pankromatik veya multispektral, sayısal veya fotoğrafik, geometrik düzeltilmesi olan veya olmayan vs.) bulunabilir. Kullanılan görüntü işleme aletleri ve arzu edilen bilgi düzeyine bağlı olarak bunlardan biri seçilir. Kullanılan sistemler, basit görsel yorumlamaya olanak tanıyan stereoskoplardan bilgisayar destekli sayısal görüntü işleme sistemleri ya da analitik aletlere kadar uzanan geniş bir alana yayılmaktadır. SPOT görüntüsü, kullanımda geçerli standartlar ile uyumlu görüntü haritaları, sayısal yükseklik modeli, ortofoto ve çizgi harita üretimi için yeterlidir. Topoğrafik uygulamalar çatısı altında ele alacağımız kullanım alanlarına ilişkin basit bir gösterim Şekil-9 da sunulmuştur. Yapılacak açıklamalar bu şekil çerçevesinde sürdürülecektir. Şekilden de görüleceği üzere kullanım alanları içerisinde stereo görüntüler önemli bir yer tutmaktadır. Sözkonusu açıklamalara geçmeden önce SPOT görüntülerinin özelliklerine yönelik bazı bilgiler vermenin yararlı olacağı düşünülmüştür.

3.1 SPOT GÖRÜNTÜLERİN ÖZELLİKLERİ

SPOT görüntülerinin topoğrafik uygulama amaçlı kullanımlarda sağladığı olanakların başında stereo görüş yeteneği gelmektedir. Bundan başka;



SPOT GÖRÜNTÜLERİNİN KULLANIM ALANLARI

Şekil-9

- Veri elde etme esnekliği,
- Geniş bir alanı görüntüleyebilmesi,
- Yüksek ayırma gücü,
- İyi bir geometrik performans

diğer olanaklar olarak sıralanabilir.

Stereo görüntü, aynı ya da farklı HRV aleti ile, istenen alan üzerinden en az bir günlük değişik geçişler ile elde edilen iki ayrı görüntüyü içerir. Stereo görüntüyü oluşturan çiftlerin seçiminde 4 ana etmen gözönünde bulundurulur. Bunlar;

- B/H oranı
- İki gözleme tarihi arasındaki fark
- Her görüntü için bulutluluk oranı
- İki görüntü arasındaki bindirme değeri

B/H oranı geliş açısı (α)'nın değerine bağlıdır. (Şekil-10). Stereo çifti oluşturan sol ve sağ görüntülerin model düzlemine göre yerleri ve bindirme miktarına ilişkin şematik bir gösterim ise Şekil-11 de sunulmuştur./1/

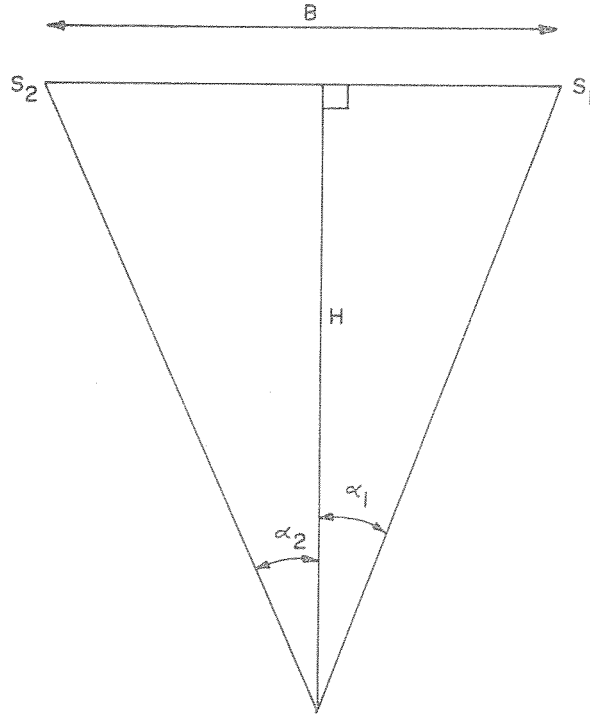
Yukarda açıklanan özelliklerdeki stereo görüntüler arşiv kataloglarının incelenmesi suretiyle bulunur. İstemleri karşılanmayan ya da mevcudu olmayan stereo görüntülerin eldesi için sipariş verilmesi gerekir.

SPOT görüntüsünü normal bir hava fotoğrafından ayıran en önemli özellik kullanılan donanım ve teknikten ayrı olarak çok geniş bir alanı kapsamasıdır. Ancak görüntü tarihlerindeki farklılık bitki örtüsü ile kaplı alanların üçboyutlu gözlenmesinde sorun yaratabilmektedir. Ayrıca güneş açılarındaki değişimler ve bulutluluk ek sorunlar olarak önemini korumaktadır.

3.2 GÖRSEL YORUMLAMA

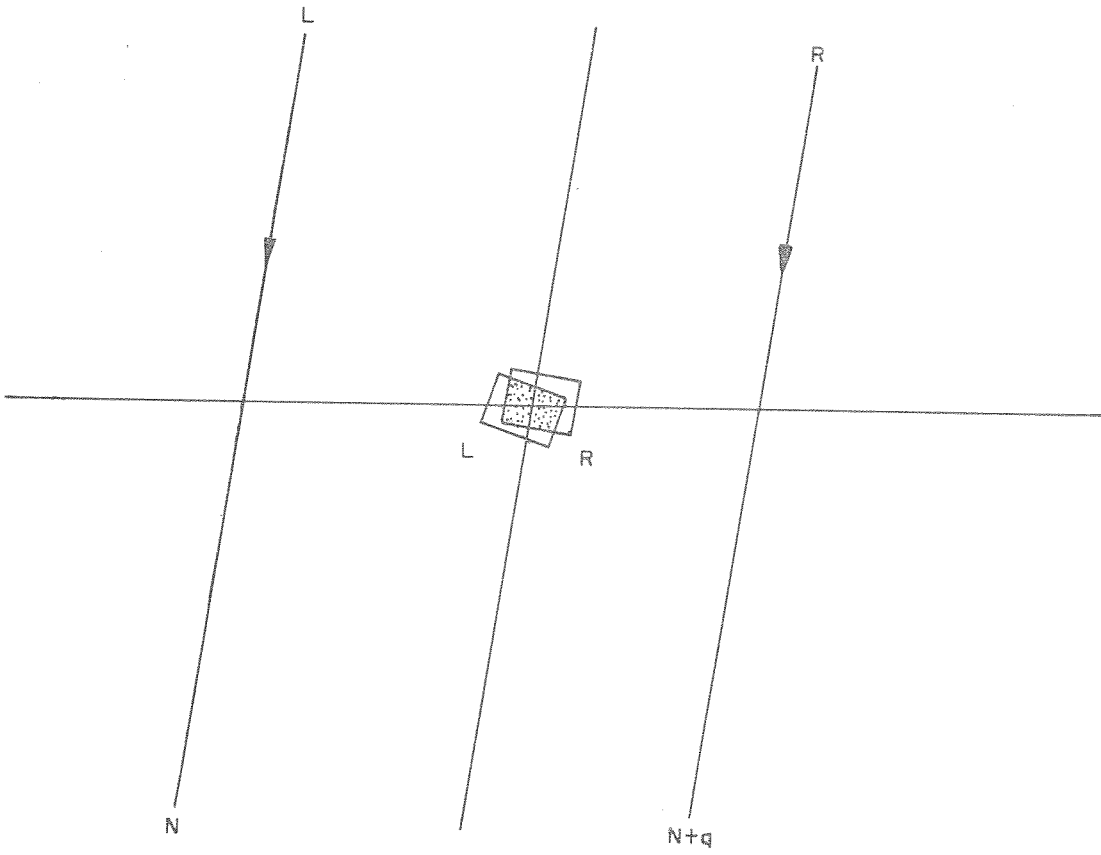
Görsel yorumlama mono ya da stereo görüntüler, üzerinde yapılabildiği gibi fotoğrafik ve sayısal görüntülerin her ikisinin de kullanımını ile gerçekleştirilebilmektedir.

Diyapozitif veya kart baskı görüntülerin gözle yorumlanması en ucuz yöntemdir. İnsan gözü bilgisayarca modellenemiyen birçok durumlarda üstün fiziksel yapısı gereği yorumlama yapabilmekte ve bu nedenle çoğu detaylar sadece gözle analiz sonucu ortaya çıkarılabilmektedir.



STEREOÇİFTİN GÖRÜŞ GEOMETRİSİ

Şekil-10



STEREOÇİFT ELDE ETMEDE KULLANILAN GEÇİŞLERİN YERİ

Şekil-11

Gözle analizde zengin kontrastlık taşıyan ve yüksek kaliteli fotoğrafların kullanılması büyük önem taşır. Bu nedenle fotoğrafik işlemler çok önemli olup, çalışılan işle uyumlu ürünlerin elde edilmesi için fotoğrafik görüntüyü üretenler ile bunları kullananlar arasında çok iyi bir işbirliği olmalıdır.

SPOT görüntülerinin dağıtımını yapanlar doğrudan veya büyütülerek kullanılacak şekilde standart fotoğrafik ürün sağlamaktadırlar. Bununla beraber görüntü işleme sistemi ve foto-laboratuvar olanakları mevcut ise CCT'ler alınarak, analiz edilecek bilgilerin elde edilmesine yönelik sayısal zenginleştirme yapmak ve bunların grafik çıktı-larını almak daha uygun olmaktadır. Ayrıca görüntüleri kolay boyut de-ğiştirmiyen film altlıklar üzerinde muhafaza etmek kadar, onları iyi renk ve geometrik kalitede elde etmek de o denli önemlidir.

Kullanılan görüntülerin multispektral veya pankromatik modda olma-sı konusunda kesin bir kural bulunmamaktadır. Ancak günümüzde etkili sayısal görüntü analiz yöntemleri multispektral görüntüler için gelişt-irilmiştir. Bununla beraber ayırma gücünün yüksek olmasından dolayı pankromatik görüntüler kartografik uygulamalar için daha uygundur. Böl-gesel detayların sınırlarının belirlenmesi pankromatik görüntülerden de yapılmasına karşın bu detayların tanımlanması (farklı türde ürünler, toprak, bitki, arazi kullanımı) multispektral görüntülerde daha kolay-dır./4/

Gözle yorumlamada kullanılan görüntü-düzeyi çoğu kez 1B dir. 1A düzeyindeki stereo görüntülerin herhangi bir stereoskopla gözlenmesi de mümkün olup, harita üzerine detay aktarımı yapılabilmektedir. Diğer bir yaklaşım da, resim çiftlerinden birini yaklaşık düzey ve geometrik düzeltme yapılmış olanlardan (1B veya 2), diğerini ise sa-dece stereo gözlemeye olanak verecek şekilde nadir dışı bir görüntüden seçmektir.

Görsel yorumlamanın salt fotoğrafik görüntülerden yapılmadığı bu amaçla sayısal görüntülerden de yararlandığı belirtilmişti. Gerçekte SPOT verileri başlangıçta sayısal yapıda olduğundan bunların film veya fotoğrafik yapıya dönüştürülmesinde radyometrik ve geometrik kalite kaybı söz konusu olabilmektedir. Bundan başka coğrafi bilgiler sayısal formda daha fazla depolanabilmektedir.

Sayısal yöntem ile görsel analizde görüntü monitöre getirilmekte

ve operatör tarafından yorumlama burada yapılmaktadır. Cursor yardımı ile tanımlanan detay, yorumlama sonucu vektör formunda kaydedilmektedir. Zoom, zenginleştirme, menü seçimi gibi olanaklar yazılıma bağlı olup aşağıda sıralanan özelliklerinden dolayı yaygın kullanım alanı bulmaktadır:

- Grafik çıktı üretmeye gerek olmadığından zaman ve para tasarrufu sağlar. Ayrıca karmaşık görüntü üretim sistemlerine gereksinim yoktur.

- Sonuçlar sayısal olduğundan, doğrudan veri tabanına veya GIS (Geographic Information Systems)'e aktarılabilir.

- Sonuç bilgileri, sayısal görüntünün geometrik kalitesi ile aynıdır.

- Yorumlamada operatör etkileşimli zenginleştirme uygulayarak kendine kolaylık sağlar.

- Yazılımlar karmaşık olmayıp ucuzdur. Ayrıca işlem kapasiteli sistemlere gereksinim duyulmamakta, mikrobilgisayarlar gözle yorumlama için yeterli olmaktadır.

3.3 GÖRÜNTÜ HARİTALARI

Planimetrik bilgi üretmek amacıyla, normal pafta boyutlarında görüntü haritaları her tür kartografik izdüşüm için elde edilebilir. Bunlar mevcut haritalardan alınan ya da örneğin GPS ile elde edilmiş yer kontrol noktaları kullanılarak Düzey 2 hassasiyetinde işlenmiş verilerden üretilebilir. RMS konum hatası düşey ve yükseklik farkı 1200 m.yi aşmayan görüntülerde yaklaşık 40 m.dir. Daha düz arazilerde bu hata 20 m.den de küçük olmaktadır. Gerçekte söz konusu hata, kullanılan teknikte paralaks etkilerinin gözönüne alınmamasından kaynaklanmaktadır. Kontrol noktası mevcut olmadığında, üründe çok iyi bir görece doğrulukta verilen izdüşüme erişilebilmektedir./7/

3.4 TOPOĞRAFİK HARİTA ÜRETİMİ

SPOT stereo görüntülerinin geometrik yapısı, normal hava fotoğraflarından son derece farklı olduğundan klasik analog aletlerle kıymetlendirilmek topoğrafik harita üretimini gerçekleştirmei olanaksız kılmıştır. 1981 yılında Chervel tarafından tanımlanan SPOT geometrisi, 1985 yılında Dowman ve Gagan, 1986-87'de Konecny, 1988'de Kratky, Priebbenow ve Clerici tarafından geliştirilmiştir. Model belirlemede 10 m. presizyonu bulunan pankromatik 1A düzeyi ele alınmıştır. Geliştirilen değişik

yaklaşımli matematiksel modellerle, bugün için üretimde bulunan Zeiss Planicomp, Matra Traster 77, Wild Aviolyt ve Intergraph IMA gibi analitik aletler kullanılarak SPOT görüntülerinden 1/50 000 ve 1/100000 ölçekli topoğrafik haritalar üretmek mümkün olabilmektedir./6/

Zeiss Planicomp yazılımında , SPOT geometrisi kesin bir yaklaşım yerine, hava fotoğraflarından alan farklılıklar ek parametrelerle modellenmiştir. Bu ise ek parametrelili ışın demetleri ile blok dengeleme yönteminin genişletilmiş şekline başka bir şey değildir. Buradan elde edilen distorsiyonlar üç boyutlu düzeltme matrisi olarak bilgisayara yüklenmekte ve ek loop programı ile giderilmektedir. Bu yöntemin sakıncası, yaklaşımın kesin olmaması nedeniyle fazla sayıda kontrol noktası gereksinimini ortaya çıkarmasıdır. Buradaki enterpolasyon grid yaklaşımı, Matra Traster, Wild Aviolyt ve Intergraph IMA' de de kullanılmaktadır. Matra ve Wild Aviosoft yazılımları, dinamik uzay geriden kestirme ile dış yöneltme elemanlarına belirlemektedir. Kern'de ise University College London tarafından geliştirilen dinamik uzay geriden kestirme yaklaşımı kullanılmakta ve görüntü-model ilişkisini daha iyi kabarmak için geliştirilen yeni bir loop yazılımından yararlanılmaktadır. Fakat iteratif işlemde yeni loop yavaş çalışmakta olup, daha iyi bir programlama ve daha hızlı prosesör kullanılmasıyla bu sorunun çözümlenebileceği tahmin edilmektedir.

SPOT görüntülerinin analitik aletlerde kıymetlendirilmesinde operatör açısından fazla bir eğitime gerek duyulmamaktadır. Klasik stereo kıymetlendirme aletlerini bilen operatörler kendilerini kısa sürede analitik aletlere uyumlandırabilmekte ve aynı bilgi ve deneyimlerinden yararlanabilmektedirler.

Geometrik açıdan planimetri ve yükseklikte 10 m.nin altında elde edilen doğruluk son derece yeterli olmaktadır. Detayların tanımlanması güncel analiz ve stereo yorumlamaya da andığından yol ağı, bitki örtüsü sınırları, yerleşim alanları, kıyı geridi, akarsu ve eşyüksekti eğrisi gibi bilgiler son derece güvenli elde edilebilmektedir. Diğer taraftan; sayısal görüntüler elde edildiği için görüntüde kalite ve doğruluk kay-
kacınılmaz
bının/olması kabul edilen diyo pozitif filmlere gereksinim duyması, otomatik yöntemlerle karşılaştırıldığında insan yeteneğine bağlı kalması sonucu hızının yavaşlığı gibi sakıncaları da beraberinde taşımaktadır.

Kıymetlendirilen ölçekteki haritanın lejandında bulunan tüm detay-

ların 1/400 000 ölçeğindeki görüntülerden tanımlanamıyacağı açıktır. Haritanın kıymetlendirme işlemi operatörün yeteneği ve deneyimi ile araziye tanınmasına bağlı olmaktadır. Meskun alanlardaki detay yoğunluğu, yol ve binaların kesin bir şekilde birbirinden ayrılmasını zorlaştırmakta ve küçük yol, kanal gibi detayların tanımlanması çoğu kez mümkün olmamaktadır. Görüntü kalitesi ve detaylar arası kontrastlık detay teşhisinde diğer önemli etkenler olarak kendini göstermektedir.

SPOT görüntülerinden topoğrafik harita üretimine geometrik doğruluk açısından bakıldığında, yapılan testler sonucunda yaklaşık olarak aşağıdaki değerler bulunmuştur. Ortalama 6-8 kontrol noktası ile yapılan test çalışmaları ile;

Yükseklik doğruluğu : B/H= 1 için, $\pm 3,5$ m.

B/H= 0,5 için, ± 7 m.

Planimetrik doğruluk: B/H= 1 ve 0,5 için ± 6 m.

Detay tanımlanmasındaki birtakım zorluklara karşın SPOT görüntülerinden topoğrafik harita üretimi özellikle yükseklik verilerinin eldesi ve doğruluk yönünden son derece başarılı bir uygulama alanı olarak kendini göstermektedir. Harita Genel Komutanlığında da 1989 yılı başından itibaren uygulanan deneme üretimlerinden oldukça olumlu sonuçlar alınmış ve çalışmaların bir üretim planı doğrultusunda ele alınmasına karar verilmiştir.

Analitik aletlerde uydu görüntülerinden ortofoto üretimi, diğer topoğrafik uygulama alanlarından da Buna örnek olarak Zeiss Orthocomp analitik ortofoto sisteminde kullanılan yazılım verilebilir. Ancak son yıllardaki gelişim digital ortofoto yönünde olup otomatik korelasyonlu sistemleri ön plana çıkartmaktadır. Böylece klasik ortofoto üretiminin temel sorunları arasında yer alan mozaikleme, digital ortofoto tekniği ile tamamen ortadan kalkmaktadır.

3.5 SPOT GÖRÜNTÜLERİNDE OTOMATİK KORELASYON

SPOT stereo görüntülerinin getirdiği en önemli yeniliklerden biri de otomatik harita üretimidir. Sayısal yükseklik bileşilerinin (DEM) otomatik korelasyon tekniği kullanılarak stereo çiftlerden eldesi yönündeki çalışmalara son yıllarda büyük bir hız verilmiştir. Paralaks farklarını belirleyerek sayısal yükseklik modelini elde etme şeklinde kul-

lanılan teknik, görüntü çiftlerinin karşılaştırılmasını gerekli kılmaktadır. Söz konusu geometrik model, yörünge bilgileri ve yer kontrol noktalarının eklenmesiyle tamamlanmaktadır. Görüntü korelasyonu epipolar hatlar boyunca oluşturulan kenar veya detay (feature) noktaları esas alır./7/

Şu anda Fransa'da IGN ve SEP, Kanada'da MDA ve DIGIM, İngiltere'de University College London, İsveç'te SATIMAGE, A.B.D.'de Geospectra ve Welch otomatik korelasyon teknikleri ile DEM üretmektedirler.

Otomatik korelasyon tekniği üç tür karşılaştırma(matching) algoritması kullanılmaktadır. Birinci teknik, görüntüde detayları seçecek operatörü ilgilendirmektedir. Görüntüde belli başlı noktaları tanımlamak için istatistiksel yöntemler kullanılmakta ve özellikle kolay tanımlanabilen sınırlar ile homojen yüzeyli görüntülerde başarılı olmaktadır. Bu teknik ile SPOT görüntülerinin en daha çok LANDSAT görüntülerinde başarı sağlanmıştır.

İkincisi, görüntüdeki kenarları tanımlayan kenar bazlı karşılaştırmadır ve stereoskopik çiftlerde bunları ilişkilendirir. Üçüncü teknik ise iki görüntüde birbirine karşılık gelen parçaları karşılaştırmak için en küçük kareler yöntemini kullanan alan bazlı karşılaştırma işlemidir. Bu teknik ile özellikle SPOT görüntüleri üzerinde başarı sağlanmıştır. Karşılaştırmanın bu üç türü de çoğu kez birlikte kullanılır./3/

Değişik günlerde, farklı ışık ve iklim koşullarında alınmış stereo görüntülerdeki doku (texture) oldukça aykırı görünüşler sergilediğinden, uygulanacak her korelasyon tekniği için sorun yaratacaktır. Ayrıca bulut ve buğda diğer sorunlar arasında yer alır. Her karşılaştırma tekniği iyi bir başlangıç yöneltmesine gereksinim duyar. Efemeris ve durum bilgileri bu yöneltmeye yardımcı olmakla birlikte kontrol noktalarına yöneltme, karşılaştırmanın başlangıç kestirimini daha iyi verir. Yüksek enlemlerdeki SPOT görüntüleri arasındaki büyük dönüklükler de sorunlara neden olmaktadır.

Kısmen tekniğinin yeni oluşu, kısmen de ticari kuruluşlar arasındaki varış nedeniyle SPOT verilerinin karşılaştırma yöntemleri ile ilgili kapsamlı/bir yayın bulunmaktadır. Bu arada bazı toplantı, konferans veya seminerlerde, konu ile uğraşan kuruluşların yaptığı araştırmalara ilişkin yayınladıkları bilgilerden, çok olumlu sonuçlar elde edildiği ve mevcut

sorunları giderici yöndeki çalışmalarında umut verici olduğu öğrenilmektedir. Ayrıca uydu görüntülerinin sayısal yükseklik modelleri ile birlikte kullanılması ile türetilen 3D (üç boyutlu) perspektif görüntüler de sayısal görüntü işleme sistemlerinin güncel çalışmaları arasında yer almaktadır.

4. SONUÇLAR

SPOT-1 uydusu, gerek stereo görüş yeteneği gerekse elde ettiği görüntülerdeki yüksek ayırma gücü nedeniyle pratik algılama amaçlı uydular arasında topoğrafik çalışmalara yönelik en uygun uydu olma özelliğini hala korumaktadır. Özellikle yeryüzünün büyük ölçüde gereksinim duyduğu 1/50 000 ve 1/100 000 gibi orta ölçekli topoğrafik harita üretimi ve bunların güncelleştirilmesine tartışılmaz bir kolaylık getirmiştir. Topoğrafik harita üretimi dışında, ortofoto, kontrollü mozaik gibi diğer kartografik ürünler elde ediminde de söz konusu ölçek için beklenen doğruluğu, gerekli kontrol noktası sayısı ve kalitesine bağlı olarak vermesi, bu alandaki üstünlüğünü uzun süre koruyacağına tipik göstergesidir.

SPOT-1'in ardından gelen SPOT-2, 3, 4 ve 5 projeleri de aynı özellikleri tasımanın yanında; ayırma gücünü artırıcı, gerekli kontrol noktası sayısını azaltıcı ve multispektral görüntülerde band sayısını çoğaltan bir takım yenilikleri de beraberinde getirmektedir. Doğal olarak bu projelerin en büyük destekçisi, kullanıcı ve kullanım alanlarındaki hızlı artıştır. Bu yaygınlaşmada önemli etkenlerin başında ise kullanıcı kurumların elindeki analitik aletlerin SPOT ürünlerini kullanmaya yatkın olması gelmektedir.

Ülkelerin kendi ulusal standartlarına bağlı olarak topoğrafik harita üretiminde, SPOT görüntülerini kullanmaları durumunda bazı detayların tanımlanmasında sorunlar olmakla birlikte, önceden bölge hakkında bilgi sahibi olunması, bu dar boğazın bir ölçüde asılmasını sağlamaktadır. Diğer taraftan analitikten digitale doğru gelişim yeni donanım ve yazılım gereksinimlerini ortaya çıkartırken, sağladığı olanaklar doğacak sorunlara katlanmaya değer nitelik arz etmektedir.

Son olarak, otomatik sistemler aracılığıyla görüntü korelasyonu teknikleri kullanılarak stereo görüntülerden çok kısa sürede elde edilen sayısal yükseklik modelleri, en az yer kontrol noktası ile çok geniş alanların topoğrafyasını ortaya koymada büyük bir atılım olarak

kendini göstermiştir. Böylece sayısal görüntü ve sayısal arazi modelinin birleşimi sonucu, arazinin perspektif görüntülerini üretme ve düşük maliyetli yeni ürünler elde etme olanağına kavuşulmuş olmaktadır.

Tüm bunların yanında atmosferik koşulların ve bulutluluğun görüntülerle yapılacak her tür uygulamayı sınırlayıcı en önemli etken olduğu gerçeği gözardı edilmemelidir.

KAYNAKÇA

- /1/ CNES, SPOT IMAGE SPOT User's Handbook, Vol:1 Reference Manual, Vol:2 SPOT Handbook, 1988
- /2/ DOWMAN, I.J. "Equipment for Map Production from SPOT Data" The SPOT System and Its Cartographic Applications, 1988
- /3/ DOWMAN, I.J. "Automatic Correlation Applied to SPOT" The SPOT System and Its Cartographic Applications, 1988
- /4/ GALTIER, Bertrand "Topographic Applications of SPOT" IGN France International, Asian Institute of Technology, 1988
- /5/ GUGAN, D.J.-DOWMAN, I.J. "Accuracy and Completeness of Topographic Mapping from SPOT Imagery" The SPOT System and Its Cartographic Applications, 1988
- /6/ KONECNY, G. "Geometric Evaluation of SPOT Imagery" The SPOT System and Its Cartographic Applications, 1988
- /7/ RIVEREAU, J.C.-POUSSE, M. "SPOT After Two Years in Operation, an Appraisal of Results and Review of Selected Applications" The SPOT System and Its Cartographic Applications, 1988
- /8/ WESTIN, T. "Production of Satellite Image Maps on Based on SPOT Data" The SPOT System and Its Cartographic Applications, 1988