T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SPOT 5 STEREO UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN KONUMLANDIRMA DOĞRULUĞUNUN VE 1/25.000 ÖLÇEKLİ TOPOĞRAFİK HARİTA ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Altan YILMAZ

DOKTORA TEZİ
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Konya, 2008

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SPOT 5 STEREO UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN KONUMLANDIRMA DOĞRULUĞUNUN VE 1/25.000 ÖLÇEKLİ TOPOĞRAFİK HARİTA ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Altan YILMAZ
Yük.Müh.

DOKTORA TEZİ
JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu Tez ..../..../2008 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Oybirliği/Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Ferruh YILDIZ Prof.Dr. (Danışman)	Sıtkı KÜLÜR Prof.Dr. (Üye)	Gönül TOZ Prof.Dr. (Üye)
İ.Öztuğ BİLDİRİCİ Doç.Dr. (Üye)	Murat YAKAR Yrd.Doç.Dr. (Üye)	

ÖZET

Doktora Tezi

SPOT 5 STEREO UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN KONUMLANDIRMA DOĞRULUĞUNUN VE 1/25.000 ÖLÇEKLİ TOPOĞRAFİK HARİTA ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Altan YILMAZ

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği

Danışman: Prof.Dr. Ferruh YILDIZ

2008, 92 Sayfa

Jüri: Prof.Dr. Ferruh YILDIZ

Prof .Dr. Sıtkı KÜLÜR

Prof.Dr. Gönül TOZ

Doç.Dr. İ.Öztuğ BİLDİRİCİ

Yrd.Doç.Dr. Murat YAKAR

Yüksek çözünürlüklü uyduların gelişimine bağlı olarak, bu uyduları kullanarak topoğrafik harita üretimi mümkün görülmektedir. SPOT 5 görüntüleri topoğrafik Harita üretimi için ideal kaynaklar olarak düşünüldüklerinden, minimum sayıdaki Yer Kontrol Noktası (YKN) ile yeterince geometrik doğruluğu sağlamak önemlidir. SPOT 5 stereo çiftinin konumlandırma doğruluğunu test etmek amacıyla 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalar ve 1:35.000 ölçekli fotoğrafları ihtiva eden fotogrametrik blok YKN kaynağı olarak kullanılmıştır. 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalar ile yaklaşık ±7 m. ve fotogrametrik blok ile ±3 m. yatay doğruluk elde edilmiştir. 2.5 m. çözünürlük stereo SPOT 5 görüntüleri detay değerlendirme yeteneklerini ölçmek amacıyla 1:35.000 ölçekli stereo hava fotoğrafları ile karşılaştırılmıştır. Stereo SPOT 5 görüntüleri ile test alanının %68'inin değerlendirilebildiği, %32'sinin ise arazi bütünlemesine ihtiyaç duyduğu sonucuna varılmıştır. Değerlendirme sonucunda, sadece SPOT 5 uydu görüntüleri kullanılarak 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritanın değerlendirme gereksinimlerinin karşılanamayacağı düşünülmektedir. 1:50.000 ölçekli haritalar, 1:25.000 ölçekli haritalara göre daha az yoğunlukta detay içerdiklerinden, stereo SPOT 5 görüntülerin 1:50.000 ölçekli haritaların değerlendirme ihtiyaçlarını karşılayabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: SPOT 5 görüntüsü, topoğrafik harita, konumlandırma, değerlendirme.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

EVALUATION OF GEOPOSITIONING ACCURACY AND USAGE IN THE PRODUCTION OF 1/25.000 SCALE TOPOGRAPHIC MAPS OF SPOT 5 STEREO IMAGERY

Altan YILMAZ

Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geodesy and Photogrammetry Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

2008, 92 Pages

Jury : Prof. Dr. Ferruh YILDIZ

Prof.Dr. Sıtkı KÜLÜR

Prof.Dr. Gönül TOZ

Assoc.Prof.Dr. İ.Öztuğ BİLDİRİCİ

Dr. Murat YAKAR

Due to rapid improvement of high resolution satellites, it is thought that topographic mapping is possible by using these satellites. Because SPOT 5 imagery is thought to be one of the ideal sources for topographic map production, it is important to provide enough geometric accuracy with minimum number of Ground Control Points (GCP). In order to test the geolocation accuracy of the SPOT 5 stereo pair, 1:25.000 scale topographic maps and a photogrammetric block containing 1:35.000 scale aerial photos were used as GCP source. By using 1:25.000 scale topographic maps, nearly ±7 m. and by using photogrammetric block ±3 m. horizontal accuracy could be achieved. In order to evaluate the feature extraction capabilities of 2.5 m. resolution stereo SPOT 5 imagery, it was compared with 1:35.000 scale stereo aerial photos. It was concluded that with stereo SPOT 5 imagery it was possible compile % 68 of the test area and % 32 were left for field compilation. It can be inferred from the compilation that by using 2.5 m. resolution SPOT 5 stereo imagery it is not very suitable to use SPOT 5 imagery alone to comply with the compilation needs of 1:25.000 scale topographic maps. Because 1:50.000 scale topographic maps need less detail than 1:25.000 scale maps, it may be feasible to use stereo SPOT 5 imagery for compilation of 1:50.000 scale topographic maps.

Keywords: SPOT 5 imagery, topographic map, geolocation, compilation.

ÖNSÖZ

SPOT 5 stereo uydu görüntülerinin konumlandırma doğruluğu ve topoğrafik harita üretimindeki değerlendirme yeteneklerinin test edildiği bu çalışmada, tez danışmanlığımı üstlenen ve çalışmanın her aşamasında bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, her türlü konuda yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen sayın hocam Prof.Dr. Ferruh YILDIZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması sırasında değerli bilgileri ile beni yönlendiren Tez İzleme Komitesindeki hocalarım sayın Prof.Dr. Sıtkı KÜLÜR ve Doç.Dr. Öztuğ BİLDİRİCİ'ye, çalışmamda kullandığım veri ve bilgisayar sistemlerinin bulunduğu Harita Genel Komutanlığı'na ve yorumları ile beni yönlendiren Müh.Yb.Ö.Tuncer ÖZERBİL ve Dr.Müh.Yzb.Mustafa ERDOĞAN'a ve uygulamalarımda çok büyük yardımını gördüğüm Astsb.Bçvş.Atilla GÜRDAL'a teşekkür ederim.

Tezimi, doktora çalışmalarım süresince büyük bir sabırla beni destekleyen ve her konuda olduğu gibi çalışmalarım sırasında da yardımlarını esirgemeyen sevgili eşim Demet'e ve oğlum Aykan'a ithaf ediyorum.

Mart 2008 Altan YILMAZ

İÇİNDEKİLER

ÖZET…… . ii
ABSTRACT…….. iii
ÖNSÖZ……..... iv
İÇİNDEKİLER……..... . v
ŞEKİL LİSTESİ……vii
ÇİZELGE LİSTESİ…….. ix
SİMGELER……..... x

1. GİRİŞ……...1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI……...5
2.1. Geometrik Doğruluk Konusunda Yapılan Çalışmalar……..5
2.2. Detay Teşhisi Konusunda Yapılan Çalışmalar……...5
3. TEORİK ESASLAR……...13
3.1. SPOT 5 Uydusu Teknik Özellikleri…….....13
3.1.1. Yörünge……...13
3.1.2. Tekrar görüntüleme yeteneği……..15
3.1.3. Stereo görüntüleme……15
3.1.4. SPOT ailesi içinde SPOT 5'in yeri……16
3.1.5 SPOT 5 önemli yenilikler……...16
3.1.6. SPOT 5 yükü……...16
3.1.7. HRG aletleri……17
3.1.8. HRS stereo görüntüleme aleti……18
3.1.9. Gelişmiş yük telemetre işleme……18
3.1.10. Hızlı veri iletimi……..19
3.1.11. VEGETATION (bitki örtüsü) aleti……19
3.1.12. Taşıyıcı……19
3.2. SPOT 5 Uydu Görüntülerinin Topoğrafik Harita Üretiminde Kullanımı…...20
3.2.1. SPOT 5 doğruluğu…….. 23
3.2.2. Spot Image Reference3D ürünü……..24
3.2.3. Çizgisel harita güncelleme ve doğruluk gereksinimleri……..26
3.2.4. Koordinatlı bir görüntünün doğruluğu……27
3.3. Uydu Görüntülerindeki Geometrik Bozulmalar ve Modeller……32
3.3.1 Bozulmaların kaynakları…….32
3.3.2. Bozulmaların geometrik modellenmesi…….36
3.3.2.1. Rasyonel fonksiyonlar…… 36
3.3.2.2. Polinom fonksiyonlar……37
3.3.2.3. Rasyonel Fonksiyon Modeli (RFM) iyileştirme yöntemleri …… 38
3.3.3. Geometrik düzeltmede işlem adımları……39

3.4. Uydu Fotogrametrisi……... 41
3.4.1 Spot iç yöneltmesi……...43
3.4.2. Spot dış yöneltmesi……44
3.4.3. Kolinearite eşitlikleri ve uydu blok dengelemesi……48
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA……. 50
4.1. Farklı Kaynaklardan Değişik Sayı ve Dağılımlarda Seçilen YKN'ler ile SPOT 5 Stereo Uydu Görüntülerinin Geometrik Doğruluk Kontrolü…… 50
4.1.1. Çalışma bölgesi, çalışmada kullanılan hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri50
4.1.2. Çalışmada kullanılan yazılımların kısa tanıtımı……. 51
4.1.2.1. PHODIS AT yazılımı……..51
4.1.2.2. PATB-GPS yazılımı……... 52
4.1.2.3. SOFTPLOTTER 3.0 yazılımı……52
4.1.2.4. Leica Photogrammetry Suite (LPS) 9.1 yazılımı……53
4.1.3. Hava fotoğraflarının blok dengelemesi ve bloktan nokta seçimi……54
4.1.4. Uydu görüntülerinin blok dengelemesi ve bloktan nokta seçimi……55
4.1.5. Doğruluk araştırması çalışmasında izlenen yöntem……... 56
4.1.6. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi……57
4.2. Stereo 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafları ve 2.5 m. çözünürlüklü stereo SPOT 5 uydu görüntülerinden değerlendirilen detayların karşılaştırılması. 60
4.2.1. Değerlendirmelerin yapılması…….. 60
4.2.2. Değerlendirilen detayların karşılaştırılması…….. 60
4.2.2.1. Ulaşım detay sınıfı……..61
4.2.2.2. Binalar ve yerleşim yerleri detay sınıfı……...64
4.2.2.3. Bitki örtüsü ve arazi kullanımı……65
4.2.2.4. Su kaynakları…….. 67
4.2.2.5. Sınırlar……69
4.2.2.6. Arazi yapısı ve diğer detaylar……..……... 71
4.2.3. Değerlendirme sonuçlarının irdelenmesi…….... 73
4.2.4. Değerlendirmenin nicelik olarak karşılaştırılması…..…….... 76
4.3. 1:25.000 Ölçekli Topoğrafik Harita Üretimi Maliyet Analizi……... 77
4.3.1. Nirengi noktası maliyet analizi……... 77
4.3.2. Hava fotoğrafları ve uydu görüntüsü maliyet analizi……. 78
4.3.3. 1:25.000 ölçekli pafta değerlendirme maliyeti……... 80
4.3.4. Arazi bütünleme maliyeti……82
4.3.5. Toplam maliyet…..…….. 82
4.4. Tartışma…….. 83
5. SONUÇ VE ÖNERİLER……87

KAYNAKLAR…….90

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	1:25.000 ölçekli topoğrafik harita alanında SPOT 5 uydu görüntülerinden tespit ve teşhis sonuçları……..	12
Şekil 3.1	SPOT yer istasyonları ve 24 saatlik izleri……..	14
Şekil 3.2	HRG aletleri……...	14
Şekil 3.3	HRS Aleti ile Stereo Çift Alımı…….	15
Şekil 3.4	Süper Mod görüntü oluşturma yöntemi…….	17
Şekil 3.5	Referans harita olmadığı (B ülkesi) zamanlarda uzay-dengelemesi yapılan SPOT görüntüleri bloğu……	22
Şekil 3.6	Reference3D kullanılarak ortorektifiye edilmiş bir SPOT 5 HRG görüntüsü (THX) ve Sırp kadastral haritası……...	25
Şekil 3.7	Dünya etrafındaki yörüngede dönen bir uydu tarayıcının görüntüleme geometrisi……...	32
Şekil 3.8	Bir elips ile uydu yörüngesi ve onun temsilinin tanımı…….	33
Şekil 3.9	Geometrik düzeltme ve işlem adımları……..	40
Şekil 3.10	SPOT tarama satırlarının perspektif merkezleri…….	42
Şekil 3.11	Görüntü koordinat sistemi……..	43
Şekil 3.12	SPOT iç yöneltmesi……	44
Şekil 3.13	Stereo uydu görüntüsünde eğim açısı gösterimi……	46
Şekil 3.14	Mono görüntünün hız vektörü ve yöneltme açısı……...	47
Şekil 3.15	Bir uydu görüntüsünün yöneltmesi için ideal nokta dağılımı……	49
Şekil 4.1	Uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarının ortak alanları……	51
Şekil 4.2	1/35.000 Ölçekli hava fotoğrafları blok yapısı……...	54
Şekil 4.3	Uydu görüntüleri bloğu……..	56
Şekil 4.4	1/25.000 ölçekli raster paftalardan seçilen YKN'lere göre yatay ve düşey BKN hataları……	59
Şekil 4.5	Fotogrametrik bloktan seçilen YKN'lere göre yatay ve düşey BKN hataları……	59
Şekil 4.6	1/35.000 Ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) asfalt kaplama 25 m. genişlikli yol……	61
Şekil 4.7	1/35.000 Ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) tek şeritli stabilize yol……	62
Şekil 4.8	1/35.000 Ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) stabilize yol üzerinde köprü……...	62
Şekil 4.9	1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda)a alan ve nokta binalar……	64
Şekil 4.10	1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) mezarlık alanı……	64
Şekil 4.11	1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) ekili ve meyvelik alan……	66
Şekil 4.12	1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) tek ağaç……..	66

Şekil 4.13 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) pınar……... 68
Şekil 4.14 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) ark ve kanaletler…… 68
Şekil 4.15 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) tel çit…….. 70
Şekil 4.16 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) yarma ve dolmalar……. 71
Şekil 4.17 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) elektrik hattı (34.5 kv)……... 72
Şekil 4.18 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları için nirengi dağılımı ……..... 78
Şekil 4.19 SPOT uydu görüntüsü fiyatları…….. 80

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 PASCO değerlendirme sonuçları…… 10
Çizelge 3.1 SPOT 5 orto görüntülerin kullanılan referans veri tipine göre doğruluğu…… 24
Çizelge 3.2 Reference3D doğruluk seviyeleri…… 25
Çizelge 3.3 FÖMI tarafından verilen Reference 3D doğruluk bulguları…… 26
Çizelge 3.4 Çeşitli ölçeklere göre topoğrafik harita doğruluk gereksinimleri….. 27
Çizelge 3.5 SPOT 5 görüntüleri kullanılarak ulaşılabilecek doğruluk miktarları.. 28
Çizelge 3.6 Minimum nesne çözünürlüğü ve karşılık gelen fotoğraf ölçeği…….. 30
Çizelge 3.7 Ulaşım katmanı detaylarının yorumlanabilirlik seviyeleri…….. 30
Çizelge 3.8 Hidroloji katmanı detaylarının yorumlanabilirlik seviyeleri……... 31
Çizelge 3.9 Diğer detaylar katmanı detaylarının yorumlanabilirlik seviyeleri….. 31
Çizelge 3.10 Yerleşim yerleri katmanı detaylarının yorumlanabilirlik seviyeleri... 31
Çizelge 3.11 Bitki ve arazi örtüsü katmanı detaylarının yorumlanabilirlik seviyeleri…… 31
Çizelge 3.12 İki alt sınıf, Gözlemci ve Gözlemlenen ve farklı alt sınıflar için hata kaynaklarının tanımı…… 34
Çizelge 4.1 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafları blok dengeleme sonuçları……. 55
Çizelge 4.2 YKN ve BKN Karesel Ortalama Hataları……... 58
Çizelge 4.3 Ulaşım detay sınıfına ilişkin değerlendirme sonuçları…… 63
Çizelge 4.4 Binalar ve yerleşim yerleri detay sınıfına ilişkin değerlendirme sonuçları…….. 64
Çizelge 4.5 Bitki örtüsü ve arazi kullanımı detay sınıfına ilişkin değerlendirme sonuçları…….. 67
Çizelge 4.6 Su Kaynakları detay sınıfına ilişkin değerlendirme sonuçları…… 69
Çizelge 4.7 Sınırlar detay sınıfına ilişkin değerlendirme sonuçları……... 70
Çizelge 4.8 Arazi yapısı ve diğer detaylar sınıfına ilişkin değerlendirme sonuçları…….. 72
Çizelge 4.9 Değerlendirilen detayların araziyi temsil oranı……... 74
Çizelge 4.10 Eşlenik çiftlerin istatistikleri…….. 75
Çizelge 4.11 Eşlenik çiftlerin testi…… 75
Çizelge 4.12 Değerlendirmenin nicelik olarak karşılaştırılması ..……... 76
Çizelge 4.13 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritanın üretim maliyetleri…… 83

SİMGELER

Kısaltmalar

B/H	Baz Yükseklik Oranı
BKN	Bağımsız Kontrol Noktası
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CCD	Charge Coupled Device
HRG	High Resolution Geometric (Yüksek Çözünürlüklü Geometrik)
HRS	High Resolution Stereoscopic (Yüksek Çözünürlüklü Stereoskopik)
KOH	Karesel Ortalama Hata
LFC	Large Format Camera (Büyük Formatlı Kamera)
RFM	Rasyonel Fonksiyon Modeli
RPC	Rational Polynomial Coefficients (Rasyonel Polinom Katsayıları)
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
YKN	Yer Kontrol Noktası

1. GİRİŞ

Çok hızlı teknolojik değişim gösteren bir çağda yaşamaktayız. Fotogrametri de bu hızlı değişimden payını almıştır. Fotogrametri konusundaki bu gelişme, temelde son zamanlarda patlama yapan bilgi teknolojisinin bir sonucu olup, bilim ve mühendisliğin genel gelişimiyle yakından ilişkilidir. Fotogrametri ile ilgili olarak son yıllara bakacak olursak birkaç alandaki büyük değişimleri fark edebiliriz. Özellikle elektronik ve bilgisayar teknolojilerindeki genel gelişme, fotogrametride donanım, yöntem ve entegrasyon alanlarında yeni ilerlemelere yol açmıştır.

Fotogrametrideki ilk gelişme analitikten digital fotogrametriye geçiş ile ilgiliydi. Bu gelişmelerden digital ortofoto, monoskopik harita revizyonu, stereo görüntüler üzerine vektör verilerin yerleştirilerek çizim, otomatik sayısal yükseklik modeli (SYM) ve otomatik havai nirengi yaygın olarak kullanılmakta olup, otomatik veri toplama gibi alanlardaki sistem gelişimi yavaş yavaş ilerlemektedir.

Digital revizyon stratejisinin arkasındaki ilk faktör, güncel harita sahibi olmak amacıyla ekonomik olarak ortofotonun artan kullanımıdır. Öncelikli sorun, kısıtlı kaynaklarla altlık haritanın nasıl elde edileceği ve kullanıcılara güncel haritaların nasıl sağlanacağıdır. Büyük ölçeklerde ulusal altlık haritalara ihtiyaç gittikçe artmaktadır. Zaman azlığı, mali kaynakların kısıtlı olması ve doğruluk gibi kullanıcıdan gelen taleplerin karşılanması için klasik yöntemler yetersiz kalmaktadır. Ortofoto ve stereo veri toplama, büyük ölçekli altlık haritalara olan ihtiyacı karşılayabilecekleri gibi, harita revizyonu problemine de uygulanabilir bir çözüm yoludur.

Mevcut haritacılık sistemleri, genellikle çalışma istasyonları ve son birkaç yılda hızla ilerleyen bilgisayar teknolojisi sonucu kişisel bilgisayarlardır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) potansiyeli digital haritacılık sisteminin kritik bir parçasıdır. Altlık olarak ortofoto ve stereo görüntü çiftlerinin kullanımını olanaklı kılan hem raster hem de vektör grafik gösterimlerdir. Bu yetenek harita revizyonu ve CBS uygulamaları için geometrik olarak doğru bir altlık sağlamaktadır.

Digital fotogrametri; mevcut çizgisel haritaları, eski vektör verileri yeni ortofoto veya stereo model üzerinde görüntüleyerek güncelleyebilmek için ideal bir

yöntemdir. Belki de en önemli uygulama, hem hava fotoğraflarından hem de uydu görüntülerinden oluşan raster görüntünün CBS ortamında bir katman olarak kullanılabilmesidir.

Digital fotogrametrik sistemlerde 80'li yılların ortasına kadar tek veri kaynağı taranmış hava fotoğrafları idi. Uzaydan görüntü elde etme yarışının başlamasıyla devreye giren uzay mekiğine takılı Büyük Formatlı Kamera (LFC-Large Format Camera) ve KFA-1000 kameraları hava platformlarına uzay platformlarından elde edilen görüntüleri de eklemiştir. Landsat ve SPOT gibi uydu sistemleri uydu görüntülerini fotogrametrinin bir parçası haline getirmiştir. İlk başlarda sadece küçük ölçekli haritacılık uygulamaları için yeterli olan uydu görüntüleri, günümüze geldiğimizde ulaştığı çözünürlük seviyesi (0.61 cm QUICKBIRD ve 1 m. IKONOS) ile 1:10.000 gibi büyük ölçekli haritaların üretilebilmesini olası kılmıştır. Amerika tarafından 2007 yılı içerisinde yörüngeye yerleştirilmesi planlanan 0.5 m. çözünürlüklü iki uydu bu ölçeği 1:5.000'e kadar yükseltebilecektir.

Orta ölçekli (1:25.000 - 1:100.000) coğrafi bilginin çağdaş anlamda hızlı, güvenilir ve dolayısı ile güncel elde edilmesine olanak veren gerek fotogrametrik gerekse uzaktan algılama dallarındaki çalışmalar, bilgisayar teknolojisinin güçlü desteğinde, sayısal görüntü kavramı içerisinde gelişimini sürdürmektedir. Uçaktan elde edilen hava fotoğraflarının zaman zaman teknik, politik ve fiziksel sınırlamalarla karşı karşıya kaldığı durumlarda, daha esnek yapıdaki uzay görüntüleri devreye kolayca girebilmekte ve çoğu kez, birlikte kullanıldığı uygulama alanlarında daha gerçekçi sonuçlara kısa sürede ulaşılmasına olanak vermektedirler.

Bu kapsamda uzaktan algılama verilerinin başında gelen uydu görüntülerinin en önemli özelliği, geniş yeryüzü alanlarına ait büyük çapta konumsal veri içermesidir. Bu büyüklükteki veri zenginliğinden etkin bir şekilde yararlanma ise, doğal olarak söz konusu verileri coğrafi bilgiye dönüştürecek yeterli düzeyde veri yönetim ve işleme sistemlerinin varlığına bağlıdır (Önder 2001).

Uçaktan görüntü alınamadığı veya görüntü alımının ekonomik olmadığı durumlarda, uydu görüntüleri hayati öneme haiz olmaktadır. Burada önemli olan, uydu görüntülerini yöneltecek ve veri toplanmasını sağlayacak yazılımların mevcut olması, arzu edilen seviyede geometrik doğruluk sağlayacak yer kontrol noktaları (YKN), yöneltme parametreleri ve üretilecek harita ölçeğinin veri gereksinimini

sağlayacak çözünürlükte ve dolayısıyla ekonomiklikte uydu görüntülerinin var olmasıdır.

Uydu görüntülerinde geometrik doğruluk; görüntüler ile birlikte sağlanan yörünge parametreleri (bazı uydu sistemlerinde rasyonel polinom katsayıları (RPC)), kullanılan YKN'lerin doğruluğu, sayısı ve dağılımı ile doğru orantılıdır. Söz konusu işlemleri gerçekleştirecek yazılımın kullandığı model de bu doğruluğa etki etmektedir. Bunun yanında, çoğu uydu görüntüsü beraberinde sağladığı yörünge parametreleri veya rasyonel polinom katsayıları ile belli seviyelere kadar doğruluklar sağlayabilmektedir (Yılmaz 2005). Doğruluk konusunda önemli olan, üretilecek harita ölçeğinin standartlarda hangi doğruluğu gerektirdiği veya kullanıcıların ürün haritadan bekledikleri doğruluktur.

Uydu görüntülerinin kullanımında göz önüne alınan bir diğer konu da üretilecek harita ölçeğinin gerektirdiği detay seviyesini sağlayacak olan konumsal çözünürlük seviyesidir. Konumsal çözünürlük arttıkça görüntüden seçilebilen detay sayısı artacaktır. Bazı durumlarda ise, gereğinden fazla detay görülecek, değerlendirme operatörünün veri toplama esnasında genelleştirme yapması gerekecektir. Bu durum değerlendirme süresini arttıracaktır. Çözünürlüğün yüksek olması uydu görüntü maliyetini olumsuz yönde etkileyecektir.

Uydu görüntülerinden harita üretiminde dikkat edilmesi gereken, maliyet ve çözünürlük optimizasyonunun sağlanmasıdır. SPOT sistemi 1986 yılından beri görüntü sağlayan, maliyet ve çözünürlük optimizasyonu sağladığı değerlendirilen bir sistemdir. Siyah/beyaz görüntülerde 10 m. ile başlayan çözünürlük SPOT 5 sistemi ile birlikte 2.5 m.ye kadar yükselmiştir. 2.5 m. çözünürlük, geniş kapsama alanı (60kmx60km) ve uygun görüntü maliyeti orta ölçekli harita (1:25.000-1:100.000) üretiminde SPOT 5 sistemini önemli bir konuma sahip kılmaktadır.

SPOT 5 sistemi ile ilgili detay teşhisi ve doğruluk konularında çeşitli çalışmalar olmasına rağmen stereo SPOT 5 görüntülerini stereo hava fotoğrafları ile karşılaştıran bir çalışma yapılmamıştır. Yapılan çalışmalarda genellikle yüksek geometrik doğruluk sağlayacak test bölgeleri seçilmiştir. Gerçek duruma uygun bir bölge ile kullanıcılara SPOT 5 görüntülerinden elde edilebilecek geometrik doğruluk ve 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üretiminin gerektirdiği detay seviyesi ile uygunluk konusunda bilgi vermek amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada ikinci bölümde, konu ile ilgili olarak önceden yapılmış çalışmaların ana fikirleri, metotları ve sonuçlarının bir düzen içinde sentezlenmiş özetleri verilmiştir.

Üçüncü bölümde teorik esaslar açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde, uygulama olarak farklı kaynaklardan (1:25.000 ölçekli topoğrafik haritadan ve 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından oluşan blok) değişik sayı ve dağılımlarda seçilen YKN'ler ile SPOT 5 stereo uydu görüntülerinin geometrik doğruluk kontrolü yapılmıştır. Sonra, stereo 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafları ve 2.5 m. çözünürlüklü stereo SPOT 5 uydu görüntülerinden değerlendirilen detayların karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

Beşinci bölümde, araştırma çalışma ve sonuçlarına yer verilmiş ve tartışma konularından bahsedilmiştir.

Altıncı bölümde, elde edilen genel sonuçlar ele alınmış, konuyla ilgili çalışma yapmak isteyebilecek araştırıcılara önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Geometrik Doğruluk Konusunda Yapılan Çalışmalar

Büyüksalih ve ark. (2004) tarafından SPOT 5 1A ve 1B görüntüleri üzerinde yapılan doğruluk araştırmasında, 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritadan alınan yer kontrol noktaları ile yatayda karesel ortalama hata 1A için ± 7.80 m. ve 1B için ± 7.36 m. elde edilmiştir. Stereo görüntüden elde edilen sayısal yükseklik modeli 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritadan üretilen sayısal yükseklik modeli ile karşılaştırılmış ve farkların karesel ortalama hatası ± 3.8 m olarak bulunmuştur.

Poli ve ark. (2004) tarafından gerçekleştirilen SPOT 5/HRS görüntülerin yöneltmesi ve otomatik sayısal yükseklik modeli (SYM) oluşumu test edilmiştir. Görüntülerin yöneltilmesi amacıyla zengin model ve rasyonel polinomlar kullanılmıştır. Yeryüzü üzerinde ölçülen 81 adet noktadan 41 adeti görüntüler üzerinde tespit edilmiş ve görüntü koordinatları okunarak yöneltme işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki çeşit yöneltme sonucu bağımsız kontrol noktalarında karesel ortalama hata 1 pikselin altında kalmıştır. SYM'lerin ise karesel ortalama hataları 1-2 piksel civarında çıkmıştır.

Fard ve ark. (2004) tarafından 1:25.000 ölçekli haritaların SPOT 5 mono görüntülerden güncellenmesi ile ilgili yapılan çalışmada, SPOT 5 görüntüsü üzerinde 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalardan elde edilen homojen dağılmış 40 adet yer kontrol noktası (YKN) toplanmış ve doğruluk 0.93 piksel olarak elde edilmiştir.

2.2. Detay Teşhisi Konusunda Yapılan Çalışmalar

Uzaktan algılama görüntülerinin topoğrafik bilgi içeriği birçok değişik faktörün sonucudur. Bunlar:

- Görüntünün konumsal, spektral ve radyometrik çözünürlüğü,
- Arazi rölyefi,

- Görüntü alımı sırasındaki mevsimsel koşullar ve güneş/algılayıcı geometrisidir.

Genellikle, görüntülerin konumsal çözünürlüğü bu faktörlerin en önemlilerinden kabul edilir. Şu ana kadarki çalışmalar; 1:100K ile 1:250K ölçeklerinin yenileme ihtiyacını 10 m.lik bir yer piksel boyutunun sağladığını göstermektedir (örneğin, Konecny 1990, Konecny 1999, Petzod 2001).

Bazı özel ölçeklerde harita yapımı konum ve yüksekliklerin belirlenmesi için uygun geometrik doğruluklara ihtiyaç duymaktadır (Konecny ve Schiewe 1996). 5-10 m. arasındaki piksel boyutlarında, detay tespit edilebilirliğine ilişkin araştırmalar, mevcut uyduların 1:100K ve 1:250K ölçeklerindeki topoğrafik harita içeriklerini karşıladığını göstermektedir (örneğin, Konecny ve Schiewe 1996, Schiewe 2001).

Norveç'te, SPOT görüntülerinden 1:50K haritaları güncellemek için yarı otomatik bir yöntem kullanılmıştır (Solberg 1992). İngiltere'de, 1:50K ölçekli harita yapımı için gerekli bilgilerin %80'i SPOT verisi kullanılarak toplanmıştır (Dowman ve Peacegood 1988). İlave olarak, SPOT görüntüleri Kenya'da 1:25K ölçeğinde %87-%92 detay tespit doğruluğunda yolların ve arazi örtüsünün haritalarının yapılması amacıyla kullanılmıştır. Tecrübeler SPOT Pan görüntülerinin tek başına yeterli olmadığını, ayrıca SPOT XS kullanılırsa değişikliklerin çoğunun etkin bir şekilde tespit edilebileceğini göstermiştir (Forghani 2001).

Kanada ve Fransa'daki çalışmalar Landsat (MSS ve TM) ve SPOT görüntülerin altlık haritaların maliyetini %50 oranında azalttığını göstermektedir. Kanada ve Avustralya gibi çok geniş ülkelerde hava fotoğrafı çekimi çok maliyetlidir. Buna karşılık, İran, Ulusal Kartografya Merkezi ve Kadastro Ölçmelerinde 1:500K-1:40K topoğrafik ve kadastral haritaların üretiminde hava fotoğraflarını kullanmaktadır (Forghani 2001).

Walter (2000) tarafından yapılan bir araştırmada KVR-1000 yüksek çözünürlüklü uzay fotoğrafları ve SPOT XS verisi, uydu görüntü haritaları ve uydu topoğrafik haritaları üretmek üzere başarıyla kullanılmış olup, bunun yanında Polonya'nın 1:25K ölçeğine kadar haritalarının güncellemesi yapılmıştır.

Avrupa, Amerika ve Kanada'da çoğu haritacılık kuruluşu, 1:100K ve 1:250K arasındaki topoğrafik haritaları hem hava fotoğrafları hem de uydu görüntüleri kullanarak revize etmektedir (Forghani 2000).

2004 yılında Sırbistan'a ait 1:25K ölçekli haritaların, Sırbistan Askeri Coğrafya Ölçme Enstitüsü tarafından IGN'e güncellemesi yaptırılmıştır. Bu haritalar, 20 yıllık olup herhangi sayısal bir ortamda bulunmamaktadır. Öncelikli olarak haritalar taranarak, raster altlık haline getirilmiştir. 2.5 m. çözünürlüklü SPOT 5 uydu görüntüleri kullanılarak hem vektör haritaları üretilmiş hem de güncelleştirilmiştir. Aylar süren eski harita güncelleme yöntemi ile karşılaştırıldığında oldukça fazla avantaj sağlamaktadır. Hava fotoğrafları kullanılarak yapılan eski yöntemle karşılaştırıldığında maliyet, yaklaşık beşte bir oranında düşmüştür (SPOT Magazine 2005).

Forghani ve ark. (2003) tarafından yapılan bir projede, SPOT 5 ve SPOT 2 ile ETM+ görüntülerinin, Avusturalya'daki Katherine, NT ve Derby bölgelerinde 1:100K ve 1:200K ölçekli topoğrafik haritaların güncellemesinde kullanılması test edilmiştir. Uydu görüntülerinden detay tespit oranını araştırmak için referans olarak 1:50.000 ölçekli hava fotoğrafları kullanılmıştır. Çalışmalar, SPOT 5 görüntülerinin yüksek çözünürlüğü sayesinde SPOT 2 ve ETM+ görüntülerine göre oldukça fazla detay ayırt etme sağladığını göstermiştir. 2.5 m. çözünürlüklü SPOT 5 uydu görüntülerinin 1:50.000 ve 1:25.000 ölçekli haritaların gerektirdiği detayların toplanmasına olanak sağlayacağı iddia edilmektedir. Sonuç olarak; Ulusal Haritacılık Kuruluşları için SPOT 5 uydusunun ileriki topoğrafik harita revizyonlarında daima bir alternatif olarak tutulması gerektiği önerilmektedir.

Lasselin ve ark. (2004) tarafından planimetrik detayların toplanmasında SPOT 5 görüntülerinin çeşitli tiplerinin kullanılmasının değerlendirildiği bir çalışmada iki analiz yapılmıştır: Birinci analizde gelişmiş ülkelerde mevcut harita veya veri tabanlarının kontrol edilmesi ve güncellenmesi ile ilgilenilmiştir. İkinci analizde ise; gelişmekte olan ülkelerde temel haritaların ve veri tabanlarının güncellenmesi veya üretilmesi incelenmiştir. Birinci çalışma için test alanı olarak Fransa'nın Pamiers kasabası ve ikinci çalışma için ise Burkina Faso'nun başkenti Quagadougou seçilmiştir. Çalışmada aşağıda belirtilen SPOT 5 görüntü tipleri kullanılmıştır:

- HRS görüntüler: 5m karesel yeniden örneklenmiş görüntüler,
- HX görüntüler : 10m çok bantlı görüntüler,
- HM görüntüler : 5m pankromatik görüntüler,
- HMX : 5m pan sharpened görüntüler, HM & HX

- THR görüntüler : 2,5m pankromatik görüntüler,
- THX : 2,5m pan sharpened görüntüler, THR & HX

Yukarıda bahsedilen görüntüler, iki farklı operatör tarafından, aynı yazılım kullanılarak değerlendirilmiş ve 0.5 m. çözünürlüğündeki hava fotoğraflarından elde edilen ortogörüntülerin değerlendirilmesi ile nitelik ve nicelik olarak karşılaştırılmış ve şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Demiryolları, 7 m.den geniş akarsular ve temel yol ağları tam ve doğru olarak yorumlanmıştır.
- Şehirsel alanlarda, ulaşım hatlarının yorumlanabilmesi için 2.5 m.lik görüntüler gerekmektedir.
- Kırmızı renkli çatılardan dolayı iyi bir yorumlama için renkli görüntüler gerekmektedir.
- Bazı eksikliklere rağmen 5 m.lik pan sharpened görüntülerde tek binalar doğru toplanmıştır.
- 2.5 m.lik S/B görüntülerde çok az atlanan detay olmuş, fakat yorumlanan bazı detaylarda yer değiştirmeler görülmüştür.
- Renkli görüntüler hidrolojik ve özellikle yüzeyi suyla kaplı detayların yorumlanmasında S/B görüntülerden daha iyi sonuç vermektedir.
- Görüntü tipi ne olursa olsun kuru dere yatakları, patikalar ve yaz araba yollarının teşhisi zor olmaktadır. Bu detayların 0.5 m.lik ortogörüntülerden teşhisi de zordur.

Çalışmaya göre; 2.5 m.lik renkli görüntüler en iyi kartografik potansiyele sahip olmasına rağmen, 2.5 m.lik S/B veya 5 m.lik renkli görüntüler de ayrık binaların olduğu yerleşim yerleri gibi bazı alanlar için oldukça yeterli olmaktadır. Şehirsel alanlarda 2.5 m.lik stereo çiftler kullanmak ilave bilgiler sağlamaktadır. SPOT 5 görüntülerinin, 1:25.000 ölçekli standart topoğrafik haritaların içerik ve geometrik doğruluk kıstaslarını sağlayacak coğrafi bilgiler içerdiği, hava fotoğrafları ile karşılaştırıldığında yüzlerce kilometrekarelik alanın görüntülerinin kısa sürede elde edilebilmesi ve makul bir maliyette olması sebebiyle haritacılık amaçları için mükemmel bir araç olduğu iddia edilmektedir.

Axes ve ark. (2004) tarafından SPOT 5 verilerinin değerlendirilmesi amacıyla, Filipinler'de orta ölçekli topoğrafik harita çalışmaları, Guatemala'da kadastral

haritacılık çalışmaları, İspanya'da arazi kullanım haritaları çalışmaları, Kuzey Afrika'da topoğrafik harita güncelleme çalışmaları, Nikaragua'da jeodezik tehlike ve risk belirleme çalışmaları, İsveç'te orman izleme çalışmaları, Almanya'da zirai çevre ölçüleri kontrolü ve Fransa'da üç boyutlu uçuş simulasyonu çalışmaları yapılmıştır. Çalışmaları yürütmek üzere dünya çapında işler yapan firmalar ve kuruluşlar seçilmişlerdir. Tüm uygulayıcıların önceden SPOT 1-4 kullanımı ile ilgili tecrübeleri mevcuttur.

Yapılan çalışmalarda; SPOT 5 renkli görüntülerin orta ölçekli topoğrafik haritaların üretilmesi ve güncellemesine veya 1:25.000 ile 1:50.000 ölçekli topoğrafik haritaların üretimine uygun olduğu belirtilmektedir.

Bu kapsamda; Japon PASCO firması tarafından Manila/Filipinler'de yapılan 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita çalışmasında detaylara yönelik yapılan test sırasında operatörler, 1:25.000 ölçekli haritanın temel detaylarını ayırt edip edemediklerini incelemişlerdir. Operatörler, bu çalışmada her bir konu hakkında yorumlama seviyesine göre bir not vermişlerdir:

- A: kolay;
- B: muhtemel;
- C: arazi kontrolü gerekli;
- D: zor;
- E: çok zor veya imkânsız.

PASCO değerlendirmesinin sonuçları Çizelge 2.1'de verilmiştir:

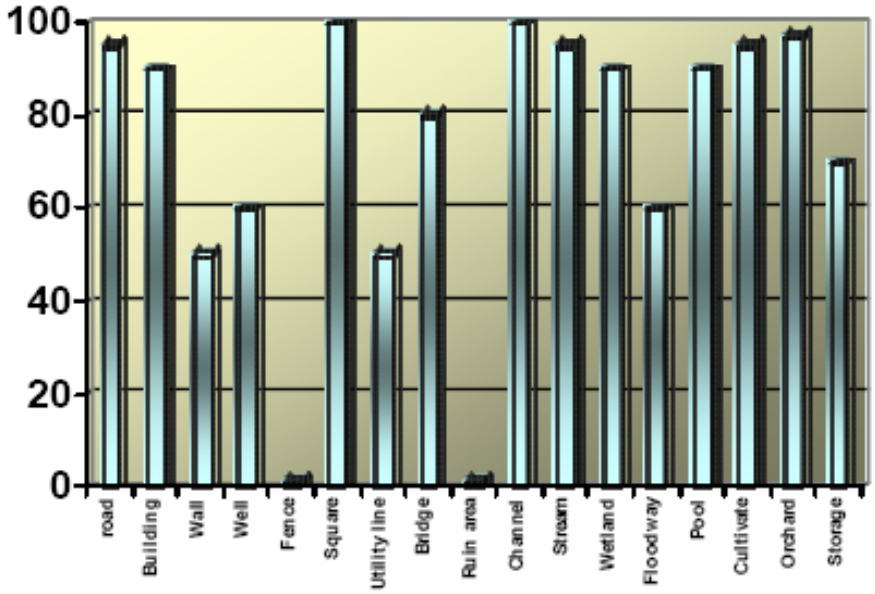
Çizelge 2.1 PASCO değerlendirme sonuçları

Kategori	Detaylar	Detay Toplama Standartları	Foto-yorumlama ve Değerlendirme Olanağı
Ulaşım	Geniş Yol	25 m. veya daha fazla genişliği olan yol.	A
	İki veya daha çok şeritli kaldırımlı yol	5.5 m. ile 25 m. arasında genişliği olan yol.	B
	İki veya daha çok şeritli basit kaldırımlı yol	5.5 m. ile 25 m. arasında genişliği olan yol.	B
	Tek şeritli basit kaldırımlı yol	3.0 m. ile 5.5 m. arasında genişliği olan yol.	C
	Daimi araba yolu	1.5 m ile 3.0 m. arasında genişliği olan yol.	C
	Patika	2.5 m.den daha az genişlikte olan.	D
	Yapılmakta olan yol	Her bir yol parçasının görülmesi.	C
	Demiryolu (Çift Hat)	İki veya daha çok hatlı demiryolları ve paralel hat çiftleri arasındaki mesafe 15 m. veya daha fazladır.	A
	Demiryolu (Tek Hat)	Tek veya çift hatlar ve paralel hat çiftleri arasındaki mesafe 15 m.den azdır.	B
	Demiryolu istasyonu	İstasyon binaları.	A
Binalar	Küçük binalar	Binanın en kısa kenarı 10 m.den uzun.	A
	Yerleşim alanı	Binalar çok sık yerleştiği için gösterimi mümkün olmayan ve bir kenarı 25 m.den geniş alanlar.	A
	Fabrika	75 m. x 75 m. veya daha geniş alanlılar.	A
Diğer Yapılar	Elektrik güç istasyonu veya trafo merkezi	En kısa kenarı 25 m.den uzun.	C
	Elektrik hattı	Elektrik hattı.	C
	Baraj	Yüksekliği 3 m. ve genişliği 25 m.den fazla.	A
Arazi Kullanım	Çeltik tarlası	Çeltik pirinci.	C
	Ekim alanı	Kuru çeltik pirinci, meyve, çim, ananas vb.	C
	Açık alan	Yapılaşmış alan, açıklık, park vb.	C
	Meyve bahçesi	Elma, armut, üzüm vb.	C
	Geniş yapraklı orman	Geniş yapraklı orman.	C
	İğne yapraklı orman	İğne yapraklı orman.	C
	Mezarlık	75 m. x 75 m. veya daha büyük alan.	C
	Maden veya taş ocağı	Maden veya taş ocağı.	C
Su Kaynakları	Bataklık	75 m. x 75 m. veya daha geniş alanlılar.	C
	Geniş ırmak	7.5 m. veya daha geniş olanlar.	B
	Basit çizgi ırmak	7.5 m.den daha az geniş olanlar.	C
	Göl, gölet vb.	25 m x 25 m. veya daha geniş alanlılar.	A

Bu çalışma sonucunda, 1:25.000 ölçekli bir harita için gerekli tüm detayların SPOT 5 uydu görüntüleri kullanılarak minimum yardım ile toplanabileceği ortaya çıkmıştır. PASCO testinde, foto-yorumlama testi hiç bir ilave kaynak olmaksızın sadece SPOT görüntüsü kullanılarak yapılmıştır. Fakat güncelleme işleminde, foto-yorumlama işlemi eski harita ile daha kolay yapılabilmektedir. Bu durumda, foto-yorumlama işlemi artık her şeyi yorumlamak olmayıp eski haritada meydana gelen değişiklikleri bulmaktır. PASCO tarafından yapılan araştırma; uzay dengelemesi ile iyi kontrol edilen 2.5 m. çözünürlüklü pankromatik SPOT 5 görüntülerinin yatay ve düşey doğruluklarının 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritaların stereo veya ortogörüntülerle üretiminin mümkün olduğunu belirtmektedir. Ayrıca, detay yorumlama seviyesinin 1:25.000 ölçekli haritalar için yeterli olduğu vurgulanmaktadır.

Her türlü durumda, hava fotoğraflarıyla olduğu gibi, özellikle yer isimlerinin güncellenmesi ve bazı özel verilerin toplanması ve kontrolü için arazi bütünlemesi gereklidir. SPOT 5 görüntülerinin kullanımı bu çalışmalara göre arazi işlerini biraz daha fazla arttırmaktadır. Fakat SPOT 5 görüntülerinin maliyet etkinliği arazi maliyeti ile karşılaştırıldığında, uydu görüntülerinin maliyet avantajı göze çarpmaktadır.

Fard ve ark. (2004) tarafından 1:25.000 ölçekli haritaların SPOT 5 mono görüntülerden güncellenmesi ile ilgili yapılan çalışmada, SPOT 5 mono görüntüler kullanarak eski haritaları güncellemenin mümkün olduğu, kasabalar, küçük köyler ve ayrık binalar gibi alan detayların tespit ve teşhisinin zor olmadığı, düşük kontrast gösteren kısımlar hariç yollar, yaz araba yolları ve demiryolları gibi çizgisel detayların kolaylıkla toplandığı, su/gaz kuyuları, tek ağaçlar gibi noktasal detayları tespit ve teşhis etmenin mümkün olmadığı belirtilmiştir. Çalışma sonucunda SPOT 5 görüntülerden detayların % 90 oranında tespit ve teşhis edilebildiği iddia edilmektedir. Çalışmada her bir katman için kalite kıstasları yüzde olarak Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2.1 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita alanında SPOT 5 uydu görüntülerinden tespit ve teşhis sonuçları

Lacroix ve ark. (2004) tarafından pankromatik ve multispektral SPOT 5 uydu görüntüleri üzerinde yapılan görünebilirlik testinde, kullanılan 10 test bölgesinin yol detaylarının % 85'i, yarı şehirleşmiş bölgelerin % 85'ten fazlası ve kırsal kesimlerin % 75'i tespit edilebilmiştir. 5 m. çözünürlüklü görüntülerden açık alanlarda yol detaylarının tespit edilebildiği ve 2.5 m. çözünürlüklü görüntülerin şehirsel bölgelerde binaların tespit edilmesinde yetersiz kaldığı belirtilmektedir.

3. TEORİK ESASLAR

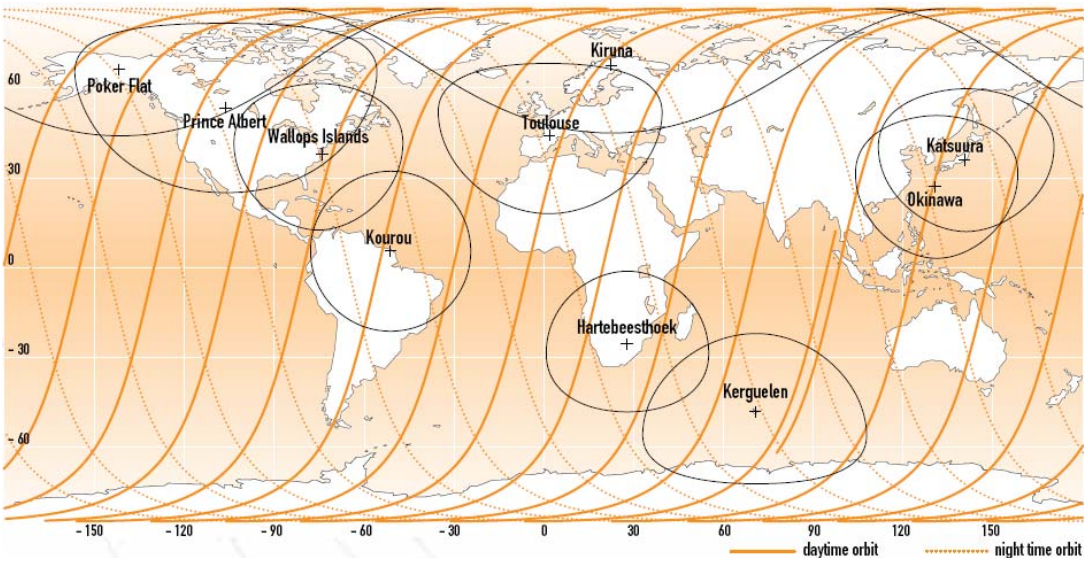
3.1. SPOT 5 Uydusu Teknik Özellikleri

Optimum hizmet için tasarlanan SPOT 5 sistemi, üç kardeşi olan yeryüzü gözlem uyduları SPOT 1, SPOT 2 ve SPOT 4 yanında yörüngeye yerleştirilmiştir.

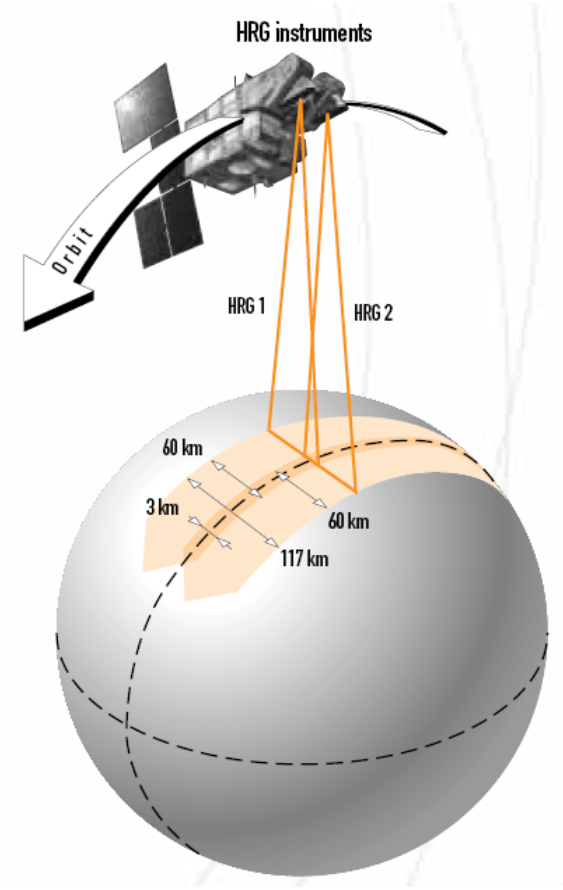
3.1.1. Yörünge

SPOT sistemi, çözünürlük, güneş aydınlatması ve kullanıcı ihtiyaçlarına çabuk cevap verecek şekilde optimum görüntü kalitesini sağlamak için tasarlanmıştır. SPOT uyduları Dünyayı Ekvatorda 822 kilometre yükseklikteki bir yörüngeyle dolaşmaktadır. Sabit bir çözünürlük sağlamak için, yörünge daireseldir. Yörünge, uyduların yerkürenin her bir noktasını görüntüleyebilme kabiliyeti demek olan kutupsala yakındır. Dünyanın dönüşünden dolayı, alt uydu noktaları Dünya yüzeyindeki izlerinde düzenli bir yapıdadır (Şekil 3.1). Yörünge, uydu aynı noktadan 26 günde bir geçecek şekilde ayarlanmıştır. Böylelikle, uydu aynı yer izlerini takip etmektedir ve izler arasındaki maksimum uzaklık Ekvatorda 108 km.dir. Düşey ikiz yapıdaki iki aletinin birleştirilmiş görüş alanı 117 km.dir. Bu sayede, bir uydu Dünyayı 26 günlük tek bir periyotta kapatır (Şekil 3.2).

Son olarak, yörünge güneş uyumlu olduğu için güneş aydınlatması mümkün olduğunca az değişir. Diğer bir deyimle, yörünge düzlemi güneş yönüne göre sabit bir açı oluşturur ve uydu herhangi bir noktayı aynı yerel saatte iki dakika içinde geçer (Ekvatoru sabah 10:30'da geçmektedir).



Şekil 3.1 SPOT yer istasyonları ve 24 saatlik izleri



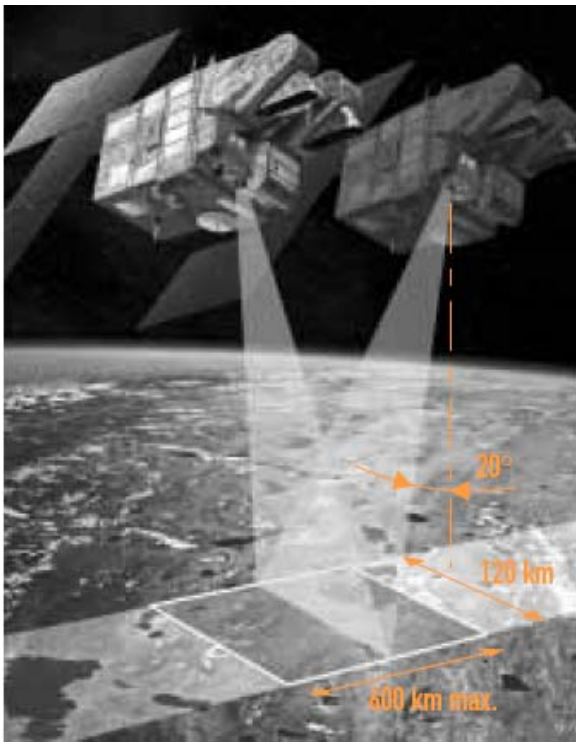
Şekil 3.2 HRG aletleri

3.1.2. Tekrar görüntüleme yeteneği

SPOT görüntüleme sistemlerinin eğik görüntüleme yetenekleri dünya üzerindeki herhangi bir noktayı Ekvatorda beş günden az sürede ve geçiş enlemlerinde (45º) üç günden az sürede görüntüleyebileceği anlamına gelmektedir. SPOT sisteminin üç kardeş uydusu böylelikle dünyanın her yerine neredeyse her gün görüntüleme yeteneğine sahiptir.

3.1.3. Stereo görüntüleme

Eğik görüntüleme, ilgilenilen aynı alanın görüntülerinin farklı bakış açılarından stereo olarak algılanmasına olanak tanımaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 HRS Aleti ile Stereo Çift Alımı

3.1.4. SPOT ailesi içinde SPOT 5'in yeri

SPOT 5, SPOT sisteminin ününü inşa ettiği görevleri yerine getirerek gerçek hizmetin sürekliliğini sağlamaktadır. Ayrıca, önemli ölçüde geliştirilmiş bir çözünürlük (S/B 2.5 m. ve renklide 10 m.) ve yeni stereo görüntüleme aleti HRS (High Resolution Stereoscpic – Yüksek Çözünürlüklü Stereoskopik) sayesinde işlevsel kabiliyetler sağlamıştır.

3.1.5. SPOT 5 önemli yenilikler

İki yeni HRG (High Resolution Geometric – Yüksek Çözünürlüklü Geometrik) aleti: SPOT 4 üzerindeki HRVIR'dan elde edilmiştir ve pankromatik modda 2.5 m. çözünürlük sağlamaktadır.

Yeni HRS (High Resolution Stereoscpic – Yüksek Çözünürlüklü Stereoskopik) görüntüleme aleti: Sayısal yükseklik modellerinin en iyi şekilde üretimi için stereo çiftleri neredeyse eş zamanlı olarak toplamaktadır.

Sistem beş adede kadar görüntüleri aynı anda işleyebilmektedir.

Yeni yıldız izleyici ve DORIS aleti görüntü konumlandırma doğruluğunu 50 m.ye kadar yükseltmiştir.

SPOT 5 VEGETATION 2 ve DORIS aletlerini taşımaktadır.

3.1.6. SPOT 5 yükü

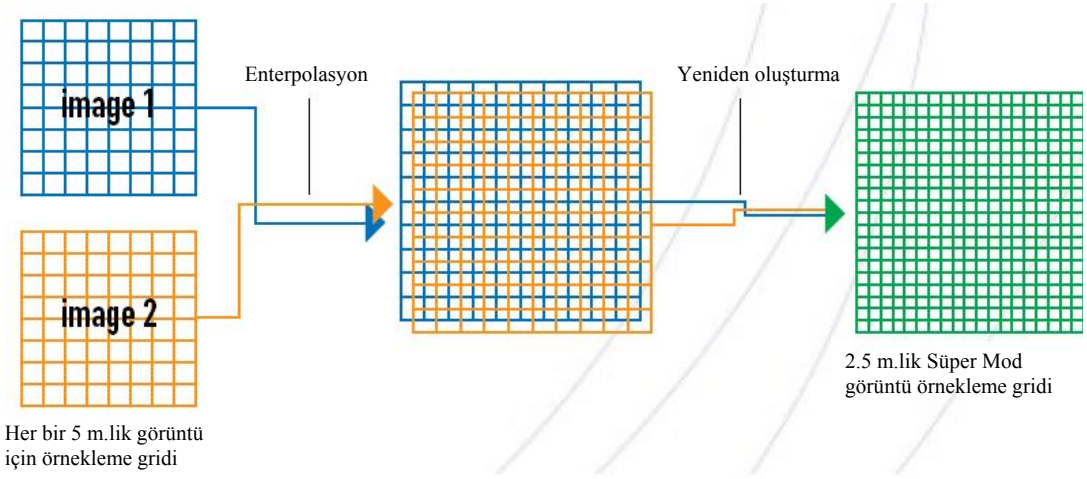
Yük temel görevin gerektirdiği tüm sistemleri sağlamaktadır. Alet boşluğu, taşıdığı sistemler için boyutsal dayanaklılık sağlayan ve görüntü işleme, veri depolama ve iletim elektronik sistemlerini destekleyen karbon fiber kafes yapıdır. SPOT 5; iki HRG, yeni HRS ve VEGETATION görüntüleme aletlerini taşımaktadır.

3.1.7. HRG aletleri

Görüntülemeye yarayan alet özellikleri SPOT 4'den beri değişmemiştir: Her bir HRG aleti 4º'lik bir görüş alanına sahip olup, bu yeryüzü üzerinde 60 km.lik bir alanın görüntülenebileceği anlamına gelmektedir. Alet ayrıca eğik görüş için nadirin 27º ile iki tarafına da yönlendirilebilmektedir. SPOT 4 de olduğu gibi iki alet genellikle birbirinden bağımsız çalışmaktadır.

2.5 m. çözünürlüklü ürünler Süper Mod (Supermode) olarak adlandırılan CNES tarafından patenti alınan kendine özgü bir yeniden örnekleme ile oluşturulmaktadır. Süper Mod 5 m.lik görüntülerden 2.5 m.lik görüntü elde etmek için gelişmiş teknikler kullanmaktadır.

Uyduda yapılan işlemlerde, görüntü özel olarak tasarlanmış iki CCD dedektör dizisi tarafından odak düzleminde yarım piksel (2.5 m.) düşey ve yatay olarak kaydırılarak alınmaktadır. Bu alet ayrık olarak birbiri ile ilişkilendirilmiş iki adet 5 m.lik görüntü oluşturmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Süper Mod görüntü oluşturma yöntemi

Yer istasyonunda sonuç Süper Mod ürünler üç adımda oluşturulmaktadır:

- Kaydırılmış diziler ile elde edilen görüntülerin çakıştırılması ve eksik pikselin iki kat keskin görüntü elde etmek üzere enterpolasyonu,

- Aletin ters transfer fonksiyonunu kullanarak, alet tarafından ortaya çıkarılan bulanıklığı ortadan kaldıran ayrıştırma,

- Görüntüdeki gürültüyü belirlenen kabul edilebilir bir seviyeye düşüren gürültünün yok edilmesi.

Bu üç adımlık işlem, iki adet 5 m. çözünürlüklü 12.000x12.000 piksellik görüntülerden bir adet 2.5 m. çözünürlüklü 24.000x24.000 piksellik görüntü oluşturmaktadır.

3.1.8. HRS stereo görüntüleme aleti

Yeni HRS Görüntüleme aleti (Şekil 3.3), tek bir geçişte stereo çiftleri görüntülemesini sağlayacak şekilde uydunun ön ve arkasına doğru bakmaktadır. HRS'in eğik alım kabiliyeti yoktur. 26 günlük tekrar periyodu ile uydu izi merkezde olacak şekilde 120 km.lik bir alanı gözlemlemektedir. Çözünürlüğü pankromatik modda 10 m.dir ve yükseklik doğruluğu 15 m.den daha iyidir.

3.1.9. Gelişmiş yük telemetre işleme

Yük telemetre sistemi HRG ve HRS aletlerinden beş görüntüye kadar işleyebilmektedir. Görüntü verisi ayarlanabilir bir algoritma kullanılarak 2.6 oranında sıkıştırılmaktadır. 90 Gbit.lik sabit bir diskte dosya olarak depolanabilmekte veya doğrudan yeryüzüne iletilebilmektedir. Dosya yönetim sistemi bir günde 550 adete kadar görüntüyü işleyebilmektedir. Maksimum iki görüntü yer alım istasyonuna gönderilebilmekte ve bir kerede en fazla üç görüntü depolanmaktadır.

3.1.10. Hızlı veri iletimi

Görüntü verisi, görüntü alanında dorudan bir alım istasyonu var ise gerçek zamanlı olarak iletilmektedir veya depolanıp, uydu iki temel alım istasyonu Tolouse/Fransa ve Kiruna/İsveç'ten geçerken sonra gönderilmektedir. 2x50 Mbit/sn olan veri iletim hızı önceki SPOT uydularından iki kat daha hızlıdır. Veri akımı, sinyali yükseltip uydu anteninden doğrudan yer istasyonuna gönderen X-band ileticinin sinyalini kullanmaktadır.

3.1.11. VEGETATION (bitki örtüsü) aleti

VEGETATION 2 aleti, SPOT 4'de olduğu gibi 1 km. çözünürlükte dünyanın tamamını hemen hemen her gün görüntülemektedir. Aletin geniş görüş açısı yeryüzünde 2.250 km.lik bir yer izine tekabül etmektedir. 30º'nin altındaki enlemler beş günün dördünde görüntülenebilmektedir. 30º'nin üstündeki enlemler günde en az bir kez görüntülenebilmektedir.

3.1.12. Taşıyıcı

Uydu taşıyıcısı, görevi başarmak için tüm imkânları sağlayacak şekilde tasarlanmıştır:

- Ariane 4 yörüngeye yerleştirme aracı ile ara yüzler,
- Elektrik güç üretimi, dağıtımı ve depolanması,
- Üç eksende yörünge kontrol,
- Hassas yörünge kontrol,
- Görüntü alımının ve aletlerinin üzerinde taşıdığı bilgisayar ve uçuş yazılımı ile kontrol ve izlenmesi,
- Telemetri, uzaktan komuta ve konum için yer ile bağlantılar.

SPOT 5 taşıyıcısı SPOT 4'den elde edilmiştir. Değişiklikler, SPOT 4'den elde edilen tecrübeler ve eski elektronik bileşenlerinin değiştirilmesi ile yapılmıştır.

En temel değişiklik; yeni yıldız izleyicisinin uydu konum verisi doğruluğunu arttıran bir yıldız izleyicidir. Uydunun konumu ve yörüngesi hakkında daha hassas bilgi görüntü konumlandırma doğruluğunu 50 m.den daha iyi seviyelere getirmektedir. Taşıyıcı, öncekilerde olduğu gibi, bir itme ve bir hizmet modülünden oluşan aynı temel mekanik mimariye sahiptir. İtme modülü yenidir ve titanyum bir itme tüpünden oluşmaktadır. İki tankı 150 kg.lık hidrazin itme yakıtı depolayabilmektedir. Hizmet modülü, elektronik araçlarla donatılmış olup merkezi bir itme tüpü etrafında inşa edilmiştir ve uydunun çatısını oluşturmakta ve batarya bölmesini barındırmaktadır.

2.3. SPOT 5 Uydu Görüntülerinin Topoğrafik Harita Üretiminde Kullanımı

Uydu görüntüleri için gelişmekte olan bu yeni piyasada SPOT 5 görüntülerinin şüphesiz önemli bir değeri vardır: SPOT sistemi, büyük alanlar için ucuz ve doğru haritacılığın önemli özelliklerini birleştiren tek sistemdir:

Satın alınacak ve işlenecek görüntü miktarını azaltan geniş bir görüş alanı (HRG için 60 km x 60 km, HRS için 600 km x 120 km),

- 1:50.000 ve 1:25.000 standart ölçekler için yeterli 2.5 m.lik çok yüksek bir çözünürlük (Tonon 2006),
- Piyasada mevcut ticari fotogrametrik yazılımlarda kullanılabilmekte, ham görüntülerle birlikte sağlanan zengin bir fiziksel modelleme ve hassas geometrik ve fotogrametrik uygulamalar için detaylı uydu efemerisi sağlamaktadır. Çok sayıda başka algılayıcı operasyonel ortamlarda daha az tutarlı olan ucuz bir yöntem sağlarken SPOT standart müşterileri için bu zengin modelleri sağlayan az sayıda algılayıcıdan birisidir. Bunun yanında, SPOT çok büyük operasyonel faydaları olan zengin fotogrametrik blok dengelemeye (hava fotoğraflarında olduğu gibi, uydu görüntülerinde uzay dengelemesi olarak adlandırılmaktadır) olanak sağlamaktadır.

- Görüntü düzeltmesi için hiç referans verisi olmadığı zamanlarda (çoğu operasyonel durumda), Spot Image, SPOT 5 HRS algılayıcısından elde edilen Reference3D paketi aracılığı ile referans veri sağlamaktadır. Bu paket, çok doğru bir Sayısal Yükseklik Modeli (SYM-noktaların %90'ında düşey doğruluğu 10 metredir) ve Yer Kontrol Noktası (YKN-noktaların %90'ında yatay doğruluğu 16 metredir) olarak kullanılabilecek HRS orto görüntü sağlamaktadır (Tonon 2006).

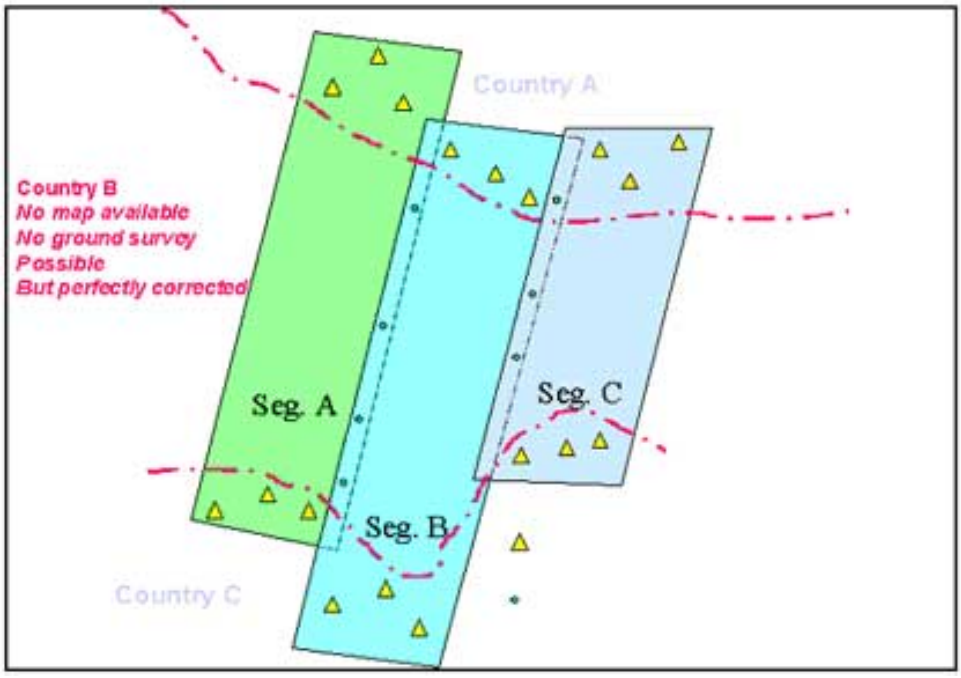
Zengin SPOT geometrik modellemesi, uzay dengelemesi ve stereo çiftler kullanarak 3B değerlendirme gibi gerçek, doğru fotogrametrik uygulamalara olanak tanımaktadır.

Uzay-dengelemesi, birbirlerine bağlama noktaları ile ilişkilendirilmiş uzun SPOT veri kolonlarının birlikte modellenmesini içermektedir. Tüm görüntü bloğunda doğru ve homojen bir fiziksel model hesaplamak için, her bir veri kolonu için 10 adetten az YKN'ye (teoride 6 adet olmakla birlikte, YKN hatalarını azaltmak için bu sayıdan fazla noktaya ihtiyaç vardır) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu YKN'ler en azından kolonun başlangıç ve sonlarına dağıtılmış olmalıdır. Bu durum, operasyonel durumlarda avantaj sağlayabilecek şekilde bazı görüntülerde hiç YKN kullanmaksızın modellemeyi mümkün kılar (Şekil 3.5). Aynı sayıda YKN'ye ihtiyaç duyan tek bir çerçevenin fiziksel modellemesinden çok daha az işlem zamanına ihtiyaç duyulur. Her biri 10 adet görüntüden oluşan 6 veri kolonunun uzay dengelemesi ile işlenmesi için 36 YKN'ye (her bir kolon için 6 YKN) ihtiyaç vardır. Aynı sayıdaki görüntü tek başına dengelenmiş olsa idi tüm bloğa yayılmış yaklaşık 360 noktaya ihtiyaç duyulacaktı. Bu uzay-dengelemesi klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında olağanüstü bir zaman tasarrufu sağlamaktadır: 400.000 km2lik bir alanı kaplayan bir ülkeye ait 250 SPOT görüntüsü yer alan bir blok yaklaşık iki hafta sürede işlenebilmektedir. Kullanılan yazılıma bağlı olarak, otomatik korelasyon tekniğini kullanarak çok sayıda bağlama noktası az miktarda insan müdahalesi ile toplanabilmektedir (Tonon 2006).

Spot Image tarafından kullanılan uzay-dengelemesi tekniği SPOT 5 mutlak doğruluğunu arttırmaktadır: tek bir çerçeve SPOT 5 görüntüsünün fiziksel modelleme sonucu YKN kullanmaksızın mutlak doğruluğu KOH olarak 50 m.dir. Uzay-dengelemesi ile, SPOT 5 mutlak doğruluğu, iyi bir SYM kullanarak ve YKN

kullanmaksızın eğer arazi rölyefinden ileri gelen hatalar düzeltilirse 1:50.000 ölçekli haritalar için yeterli olan 12 m. doğruluğundadır (Tonon 2006) .

Bundan dolayı, SPOT fiziksel modelleme potansiyeli ile birlikte uzay-dengeleme tekniği büyük alanlar için benzeri olmayan bir haritacılık aracıdır.



Şekil 3.5 Referans harita olmadığı (B ülkesi) zamanlarda uzay-dengelemesi yapılan SPOT görüntüleri bloğu

3.2.1. SPOT 5 doğruluğu

Tüm uydu görüntü sağlayıcıları uydu orto görüntüleri için yüksek planimetrik doğruluklar ileri sürmektedirler. Burada problem tamamen ticari yaklaşımdan kaynaklanmaktadır. Bu değerlerin sadece özel durumlarda elde edildiği, operasyonel koşullarda hiç denenmediği bilinmemektedir. Söz konusu koşullar genellikle şunlardır (Tonon 2006):

- Tatlı bir eğime sahip düşük rölyefi olan bir test alanı,
- Mevcut çok sayıda ve metrik doğrulukta YKN ve oldukça iyi bir SYM,
- Çoğunlukla normal kullanıcılara sağlanmayan ham veri ve uydu efemerisi,
- Ticari olarak piyasada bulunmayan özel bir yazılım paketi kullanmaktadırlar.

Diğer bir deyimle, kullanıcı örneğin dağlık bir arazide "normal" mevcut referans verisiyle ticari bir yazılım kullanarak çalışırsa geometrik düzeltmede zorluklarla karşılaşmaktadır.

SPOT sistemi hakkında, SPOT modelinin metrik doğruluğa ulaşabildiği söylenebilir. Diğer birçok algılayıcıdan olan farkı; zengin fiziksel modelleme, kullanıcılar ve ticari yazılım paketleri tarafından iyi biliniyor olması, müşterilere sağlanan ham görüntü verisi ve detaylı efemeris sayesinde operasyonel durumlarda bu fotogrametrik potansiyele ulaşılabiliyor olmasıdır.

Uygulamada, orto görüntü doğruluğu modelleme tipi yanında referans verinin doğruluğuna bağlıdır. SPOT sistemi ile diğerleri arasındaki temel fark, diğer sistemler aynı YKN ile modelleme geometrileri farklılaşıp, geometrik modellemeleri tutarsızlık gösterirken, SPOT zengin modellemenin mevcut zayıf referans veriden olası en iyi faydayı kazanmaya olanak tanımasıdır.

Çizelge 3.1'de, 1 ve 2'nci durumlarda YKN kullanmaksızın SPOT'un sağladığı referans veri kullanılarak hemen hemen de her yerde haritacılık amaçları için makul sonuçlar elde etmek mümkündür (Tonon 2006).

Çizelge 3.1 SPOT 5 orto görüntülerin kullanılan referans veri tipine göre doğruluğu

Düzeltme için kullanılan referans veri	SPOT 5 orto görüntü doğruluğu
1. Metrik YKN'ler ve mükemmel SYM (dZ<5 m.). Böyle bir durum genellikle test durumlarında olup, operasyonel durumlarda oluşmaz.	dXY 1-2 m. KOH
2. Hiç YKN kullanmaksızın, uzay-dengelemesi ile işlenen SPOT görüntü bloğu.	dXY 12 m. KOH (düz alanlar) dXY 12-15 m. KOH SPOTView SYM kullanarak (her türlü alan)
3. Reference3D verisi (SYM + orto görüntü) ve uzay-dengelemesi	dXY 6-8 m. KOH arazi örtüsüne bağlı olarak, orta eğimli alanlar için
4. Mevcut 1:25.000 ölçekli harita ve SYM sayısallaştırılmış eş yükseklik eğrileri	Harita kalitesine bağlı olarak bir üstteki ile aynı.

3.2.2. Spot Image Reference3D ürünü

Reference3D ürünü SPOT 5 HRS stereo çiftlerinden üretilmiş bir dünya referans paketidir. Bu ürün, olası en yüksek doğruluğu elde etmek için Fransız Haritacılık Ajansı (IGN) ile ortaklaşa tasarlanmış olup, üretilmektedir. Doğru bir SYM, bir HRS orto görüntü ve SYM kalitesini tanımlayan faydalı meta veriler içermektedir. Reference3D'nin temel faydası, hiç YKN'ye ihtiyaç duymaksızın iyi bir doğruluk sağlamaktır. Bundan dolayı Reference3D her yerde mevcuttur.

Bu ürünün özellikleri Spot Image tarafından yayınlanmış olup, Çizelge 3.2'de özetlenmiştir.

Genellikle, gerçekleştirilen uygulamalarda, kullanıcılar Reference3D doğruluğunun Çizelge 3.2'de verilen değerlerden daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Örneğin, 2004 yılında Sırbistan'da yapılan bir test oldukça iyi sonuçlar vermiştir: Reference3D ile düzeltilen bir HRG SPOT 5 görüntüsü Sırp kadastral haritaları ile birebir tutarlılık göstermiştir (Şekil 3.6) (Tonon 2006).

Çizelge 3.2 Reference3D doğruluk seviyeleri

	Düşey Doğruluk	Yatay Doğruluk	Çözünürlük	Boyut	Format
Reference3D SYM	Mutlak doğruluk: - 10 m. %90, eğim<%20 - 18 m. %90, %20<eğim<%40 - 30 m. %90, eğim>%40 Bağıl doğruluk: - 5 m. %90, eğim<%20 - 15 m. %90, %20<eğim<%40 - 28 m. %90, eğim>%40	Dairesel mutlak doğruluk: 15 m. %90 Dairesel bağıl doğruluk: 10 m. %90	1 ark saniyesi (Ekvator boyunca yaklaşık 30 m., 45º enleminde 21 m.)	1º x 1º plaka	DTED
Reference3D orto görüntü		Dairesel mutlak konumlandırma doğruluğu: 16 m. %90	1/6 ark saniyesi (yaklaşık 5 m.)	1º x 1º plaka	Dimap



Şekil 3.6 Reference3D kullanılarak ortorektifiye edilmiş bir SPOT 5 HRG görüntüsü (THX) ve Sırp kadastral haritası

Diğer yandan, Avrupa Ortak Araştırma Merkezi(Ispra, İtalya) ve Macar Haritacılık Kuruluşu (FÖMI) tarafından yürütülen bağımsız bir çalışma kullanıcıları rahatlatacak bilimsel bulgular elde etmiştir. Yapılan çalışma sonucunda Reference3D ile ilgili Çizelge 3.3'deki değerler elde edilmiştir (Tonon 2006).

Çizelge 3.3 FÖMI tarafından verilen Reference 3D doğruluk bulguları

	Doğruluk	**Kontrol için kullanılan veri**
Reference3D SYM	Ortalama = 0.28 m. KOH_Z = 5.39 m.	Macar Ölçme Ağından 5000 kontrol noktası
Reference3D SYM	Ortalama = 1.42 m. KOH_Z = 3.41 m.	SYM havai nirengiden elde edilmiştir
Reference3D orto görüntü	Ortalama = 2.64 m. KOH_Z = 5.09 m.	50 cm.lik hava fotoğraflarında ölçülmüş 200 kontrol noktası

2004 yılında, Spot Image / IGN Reference3D SYM ve HRS orto görüntüleri üzerinde yapılan bağımsız çalışmada; Simon Kay, Rafal Zieliñski, Peter Spruyt (Avrupa Ortak Araştırma Merkezi - İtalya) Szabolcs Mihály, Peter Winkler, Gyula Ivan (Jeodazi, Kartografya ve Uzaktan Algılama Enstitüsü - FÖMI, Budapeşte), yer almışlardır.

Bu sonuçlar, Belçika ve Çin asıllı iki farklı haritacılık şirketi tarafından da onaylanmıştır. Her iki çalışma da, Reference3D'nin yukarıdaki gereksinimleri ile aynı doğrultuda sonuçlar vermişlerdir (Tonon 2006).

3.2.3. Çizgisel harita güncelleme ve doğruluk gereksinimleri:

Görüntülerin koordinatlandırma işlemi topoğrafik haritanın doğruluk standartlarına ulaşmalıdır. Baskı ölçeğinde planimetrik doğruluğun genellikle 0.2 mm ve yükseklik doğruluğunun da eş yükseklik eğrisi aralığının 1/3'ü olması beklenir. Geometrik olarak çizgisel harita güncelleme gereksinimleri Çizelge 3.4'deki gibidir (Blanc 2003):

Çizelge 3.4 Çeşitli ölçeklere göre topoğrafik harita doğruluk gereksinimleri

	Planimetrik doğruluk	**Eş Yükseklik Eğrisi Aralığı**	**Yükseklik doğruluğu**
1:25.000 ölçekli harita	Yaklaşık 5 m.	10 m.	Yaklaşık 3 m.
1:50.000 ölçekli harita	Yaklaşık 10 m.	20 m.	Yaklaşık 7 m.
1:100.000 ölçekli harita	Yaklaşık 20 m.	50 m.	Yaklaşık 15 m.
1:200.000 ölçekli harita	Yaklaşık 50 m.	100 m.	Yaklaşık 30 m.

3.2.4. Koordinatlı bir görüntünün doğruluğu

Eğer 1:50.000 ölçekli bir topoğrafik haritanın güncellenmesi isteniyorsa, görüntülerin 10 m.ye kadar doğrulukta koordinatlandırılması gerekir.

Koordinatlandırılmış görüntülerin geometrik kalitesi aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Algılayıcının piksel boyutu ve etkin çözünürlüğü,
- Rektifikasyon modelinin kalitesi,
- Yer Kontrol Noktalarının (YKN) doğruluğu,
- SYM ve orijinal görüntü için uydunun eğim açısı.

Düşeye yakın eğim açısı ile alınmış ve metre altı doğruluktaki YKN kümesi ile düzeltilmiş 10 m. çözünürlüklü SPOT görüntüyü ele alalım. Koordinatlandırılmış görüntüden bekleyebileceğimiz en iyi planimetrik doğruluk, 1:50.000 ve 1:100.000 ölçekli harita standartlarına tamamen uygun olan 10 m. ile 15 m. arasındadır. Aynı koşullarda, SPOT görüntü bir metre çözünürlüklü bir görüntü ile değiştirilse, sonuç orto görüntünün planimetrik doğruluğu, 1:25.000 ölçekli haritalar için standart olan 2 m. ile 3 m.den daha iyi olacaktır. Sonuç olarak, günümüzdeki uydu görüntüleri 1:50.000 ve 1:100.000 ölçekli haritalarının standartlarına ulaşmış olup, geleceğin bir metre ile beş metre arası görüntüleri 1:25.000 veya daha büyük ölçekli haritalarının standardına kolaylıkla ulaşabilecektir (Blanc 2003).

SPOT 5 HRG görüntülerinin kolaylıkla istenilen planimetrik doğruluğa ulaşacak geometrik potansiyeli daha önce belirtilmiştir. Bu sadece referans veriye bağlıdır. Herhangi bir durumda, bu özelliklere Reference3D veya mevcut eski haritaları kullanarak ulaşmak mümkündür. Çizelge 3.5 SPOT 5 görüntüleri kullanılarak ulaşılabilecek doğruluk miktarları göstermektedir (Tonon 2006).

Eş yükseklik eğrilerini çizmek istendiğinde yükseklikle ilgili verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Reference3D SYM, 1:50.000 ölçekli haritalar için gerekli 20 m. eş yükseklik eğrisi aralığı için tamamen uygundur. Ayrıca 1:25.000 ölçekli haritaların 10 m. eş yükseklik eğrisi aralığı için gerekli doğruluğa da çok yakındır. Bu, Reference3D'nin 1:25.000 ölçekli eş yükseklik eğrilerinin üretimi için bile uygun yükseklik değerlerine sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.5, 1:25.000 ve 1:50.000 ölçekli haritaların SPOT 5 görüntülerinden üretimi için daha iyi bir doğruluk amacıyla kolaylıkla operasyonel teknik çözümler bulunabileceğini göstermektedir (Tonon 2006).

Çizelge 3.5 SPOT 5 görüntüleri kullanılarak ulaşılabilecek doğruluk miktarları

	Gerekli Planimetrik Doğruluk	**SPOT 5 HRG Doğruluğu**
1:50.000 ölçekli harita	Yaklaşık 10 m.	Standart bir durumda Reference3D kullanarak:6-7 m. Eski 1:50.000 ölçekli haritaları ve eş yükseklik eğrilerini kullanarak : 10-12 m. GPS noktaları ve SPOTView SYM kullanarak: yaklaşık 10 m.
1:25.000 ölçekli harita	Yaklaşık 5 m.	Standart bir durumda Reference3D kullanarak:6-7 m. Eski 1:25.000 ölçekli haritaları ve eş yükseklik eğrilerini kullanarak : 5-8 m. DGPS noktaları ve SPOTView SYM kullanarak: yaklaşık 3 m.

Harita üretimi ve güncellemesinde işlerin çoğunluğu yeryüzündeki nesne ve detayların tanınmasına dayalıdır. Görüntülerin görsel yorumlanmasından sonra, yorumlamadaki boşlukları doldurmak ve görüntüler üzerinde bulunmayan bilgiler (binaların kullanım amaçları, köy isimleri vb.) için arazi bütünlemesine ihtiyaç duyulur. Arazi bütünlemesi daima gereklidir, ama bu işi başarmak için sarf edilmesi gerekli çaba görüntülerin yorumlanma performanslarına göre değişmektedir. Tespit edilemeyen veya yanlış yorumlanan tüm detayların arazide kontrolü gerekmektedir.

Görüntü seçerken dikkat edilmesi gereken husus, en makul maliyeti verecek kadar uygun çözünürlüklü ve en az arazi işi gerektirecek düşük maliyetli görüntüleri seçmek arasında denge kurmaktır. Aşağıda yapılan tanımlarda NATO tarafından geliştirilen görüntü yorumlama analizleri temel alınmıştır.

Bir nesnenin yorumlanması dört hiyerarşik seviyede ele alınır:

Tespit: Tanıma olmaksızın bir nesnenin keşfedilmesidir. Örneğin, görüntünün bu köşesinde beyaz bir çizgi mevcuttur.

Tanıma: Bir grup içerisinde bir nesnenin kimliğini belirleme yeteneği. Örneğin, bu beyaz çizgi bir yoldur.

Teşhis: Hassas bir şekilde bir nesnenin kimliğini belirleme yeteneği. Örneğin, bu yol iki şeritli bir yoldur.

Teknik Analiz: Bir nesnenin özniteliklerini hassas bir şekilde tanımlama yeteneğidir. Örneğin, iki şeritli yolu bir duvar ayırmaktadır.

NATO standartlarına göre, farklı nesneleri yorumlamak için gerekli çözünürlük ve söz konusu çözünürlüğü sağlamak için gerekli minimum hava fotoğrafı ölçeği Çizelge 3.6'da verilmiştir (Blanc 2003).

Yaz araba yolları ve patikalar gibi doğrusal olmayan nesneler için pratik olarak, iyi kontrast gösteren karmaşık şekilli nesnelerin boyutlarının iki pikselden büyük olduğu zaman tespit edilebildiği, dört pikselden büyük olduğu zaman teşhisin mümkün olduğu düşünülebilir.

Blanc (2003) aşağıdaki çizelgelerde çeşitli katmanlardaki detayların dört tip uydu görüntüsüne göre yorumlanabilirlik seviyesini vermiştir (Çizelge 3.7-3.11).

- SPOT 1-4 görüntüleri gibi yaklaşık 10 m. çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri,

- SPOT 5, ALOS ve Cartosat-1 gibi 5-2.5 m. çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri,
- IKONOS ve QUICKBIRD gibi 1 m. ve daha yüksek çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri.

Çizelge 3.6 Minimum nesne çözünürlüğü ve karşılık gelen fotoğraf ölçeği

	Tespit	**Tanıma**	**Teşhis**	**Teknik Analiz**
Yer Çözünürlüğü (m)				
HF Ölçeği(35 lp/mm)				
Yerleşim yerleri	60.00	15.00	3.00	0.75
	1:800,000	1:500,000	1:90,000	1:23,000
Liman ve körfezler	30.00	6.00	1.50	0.40
	1:900,000	1:180,000	1:50,000	1:11,000
Havaalanı yapıları	6.00	4.50	3.00	0.15
	1:180,000	1:140,000	1:90,000	1:4,500
Yollar	6.00	4.50	1.50	0.40
	1:180,000	1:140,000	1:50,000	1:11,000
Köprüler	6.00	4.50	1.50	0.30
	1:180,000	1:140,000	1:50,000	1:11,000
Hava araçları	4.50	1.50	0.15	0.04
	1:140,000	1:50,000	1:4,500	1:1,200
Araçlar	1.50	0.50	0.15	0.04
	1:50,000	1:18,000	1:9,500	1:1,200

Çizelge 3.7 Ulaşım katmanı detaylarının yorumlanabilirlik seviyeleri

Çözünürlük / Detaylar	10 m.	5 m.	2.5 m.	1m. ve daha yüksek
Ekspres ve oto yollar	Teşhis	Teşhis	Teşhis	Teşhis
Tali yollar	Tanıma teşhis arası	Teşhis	Teşhis	Teşhis
Daimi araba yolları	Tanıma teşhis arası	Teşhis	Teşhis	Teşhis
Yaz araba yolları	Tespit tanıma arası	Tanıma	Tanıma teşhis arası	Tanıma teşhis arası
Demiryolları	Tanıma	Teşhis	Teşhis	Teşhis
Hava alanları ve iniş bölgeleri	Tanıma	Teşhis	Teşhis	Teknik analiz
Patikalar	Hayır	Hayır	Tanımaya kadar	Tanımaya kadar

Çizelge 3.8 Hidroloji katmanı detaylarının yorumlanabilirlik seviyeleri

Çözünürlük / Detaylar	10 m.	5 m.	2.5 m.	1m. ve daha yüksek
Nehirler ve kanallar	Tanıma teşhis arası	Tanıma teşhis arası	Tanıma teşhis arası	Tanıma teşhis arası
Dereler	Tespit teşhis arası	Tanıma teşhis arası	Tanıma teşhis arası	Tanıma teşhis arası
Göller ve barajlar	Tanıma teşhis arası	Teşhis	Teşhis	Teşhis
Pınarlar	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
Kuyular	Hayır	Hayır	Hayır	Tespit yok

Çizelge 3.9 Diğer detaylar katmanı detaylarının yorumlanabilirlik seviyeleri

Çözünürlük / Detaylar	10 m.	5 m.	2.5 m.	1m. ve daha yüksek
Elektrik hatları	Tespit teşhis arası	Tespit teşhis arası	Tespit teşhis arası	Teşhis
Ana tüneller	Tespite kadar	Tespite kadar	Teşhise kadar	Teşhise kadar
Diğer tüneller	Hayır	Tespite kadar	Tespite kadar	Tespite kadar
Ana köprüler	Tespit teşhis arası	Tespit teşhis arası	Tanıma teşhis arası	Tanıma teşhis arası
Diğer köprüler	Hayır	Tespite kadar	Tanımaya kadar	Tanımaya kadar
Spor alanları	Tanıma teşhis arası	Teşhis	Teşhis	Teşhis teknik analiz arası

Çizelge 3.10 Yerleşim yerleri katmanı detaylarının yorumlanabilirlik seviyeleri

Çözünürlük / Detaylar	10 m.	5 m.	2.5 m.	1m. ve daha yüksek
Yüksek yoğunluklu şehirsel alanlar	Tanıma teşhis arası	Teşhis	Teşhis	Teşhis
Düşük yoğunluklu şehirsel alanlar	Tanıma teşhis arası	Teşhis	Teşhis	Teşhis
Köyler	Tanıma teşhis arası	Teşhis	Teşhis	Teşhis
Ayrık binalar	Tespit tanıma arası	Tanıma teşhis arası	Teşhis	Tespit teşhis arası

Çizelge 3.11 Bitki ve arazi örtüsü katmanı detaylarının yorumlanabilirlik seviyeleri

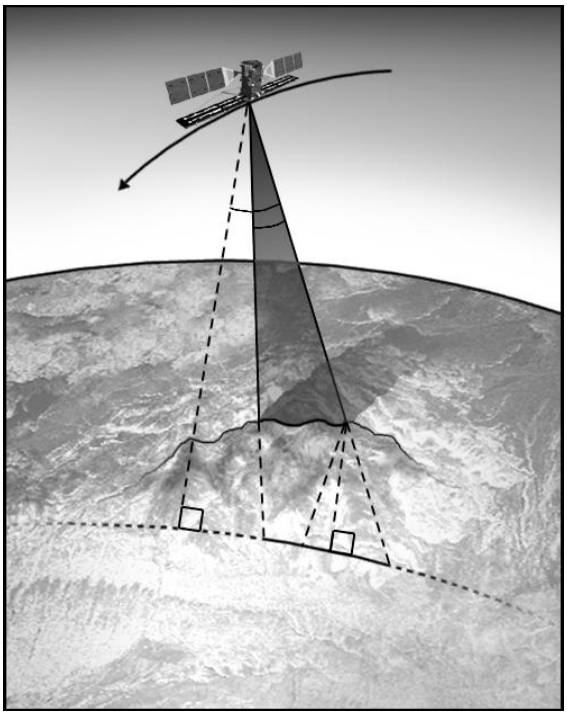
Çözünürlük / Detaylar	10 m.	5 m.	2.5 m.	1m. ve daha yüksek
Ekili arazi	Teşhis	Teşhis	Teşhis	Teşhis
Meyve bahçesi, dikili alan	Tanıma teşhis arası	Tanıma teşhis arası	Teşhis	Teşhis
Çim alan	Teşhis	Teşhis	Teşhis	Teşhis
Çalılık	Teşhis	Teşhis	Teşhis	Teşhis
Orman	Teşhis	Teşhis	Teşhis	Teşhis
Kayalık arazi	Teşhis	Teşhis	Teşhis	Teşhis

3.3. Uydu Görüntülerindeki Geometrik Bozulmalar ve Modeller

3.3.1. Bozulmaların kaynakları

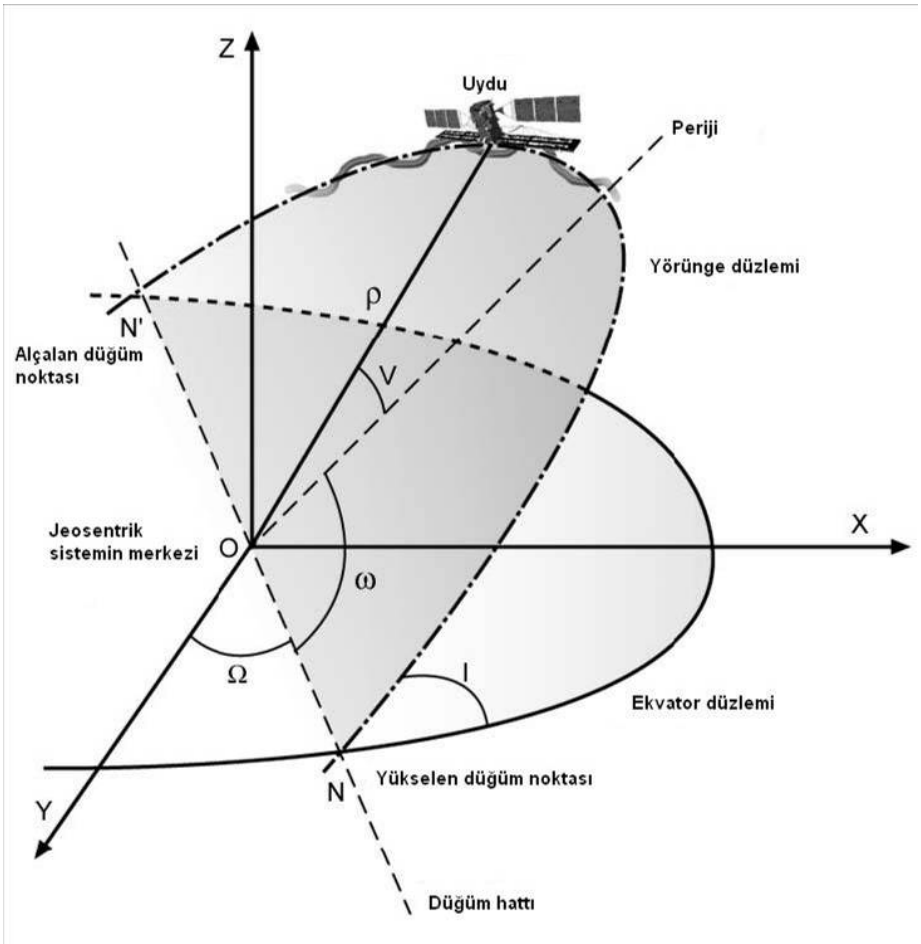
Uzaktan algılanmış görüntüler çeşitli geometrik bozuklar içerdiklerinden Coğrafi Bilgi Sistemlerinde (CBS) doğrudan kullanılamazlar. Uygulanacak geometrik ve radyometrik düzeltmeler ile CBS için ideal bir altlık oluştururlar.

Her bir algılama sistemi (Şekil 3.7) ham görüntülerinde kendi geometrik bozulmalarını üretir; sonuçta bu görüntülerin geometrisi araziye ve son kullanıcı haritalarına karşılık gelmez. Geometrik bozulmalar platform (havaya karşı uydu), algılayıcı (düşükten yüksek çözünürlüğe kadar) ve ayrıca toplam görüş alanı gibi farklı etkenlere bağlı olarak değişir. Yine de bu bozulmaların genel sınıflandırmalarını yapmak mümkündür (Toutin 2004).



Şekil 3.7 Dünya etrafındaki yörüngede dönen bir uydu tarayıcının görüntüleme geometrisi

Bozulmaların kaynakları iki geniş sınıfa ayrılabilir: Algılayıcı sistemin (platform, algılayıcı ve jiroskoplar, yıldız algılayıcıları gibi diğer ölçme aletleri) sebep olduğu **Gözlemleyici** ve atmosfer ve Dünyanın sebep olduğu **Gözlemlenen**. Harita projeksiyonuna ilişkin deformasyonlar Gözlemlenen bozulma sınıfına dâhil edilmektedir. Arazi ve çoğu CBS son kullanıcı uygulamaları genellikle jeoid veya bir referans elipsoidinde değil harita ve uzaktan algılanan veri arasında tutarsızlıklara sebep olan topoğrafik bir uzay üzerinde temsil edilmekte ve uygulanmaktadır. Çizelge 3.12 her bir sınıf ve alt sınıftaki hata kaynaklarını detaylı olarak tanımlamaktadır. Şekil 3.7 ve 3.8 dünya etrafında dönen uzaktan algılama uydularının sırasıyla algılama geometrisini ve eliptik yörünge temsilini göstermektedir.



Şekil 3.8 Bir elips ile uydu yörüngesi ve onun temsilinin tanımı

Şekil 3.8'de XYZ, yer merkezli çerçeve referans sistemidir. Ω yükselen düğüm noktasının (N) boylamıdır. Ω periji (P) argümanıdır. (ω + ν) uydu argümanıdır. ρ Dünya merkezinden (O) uyduya olan uzaklıktır.

Çizelge 3.12'deki geometrik bozulmalar tahmin edilebilir veya sistematiktir ve genellikle iyi anlaşılırlar. Bu bozulmaların bazıları, özellikle de aletlere ilişkin olanlar genellikle uydu yer istasyonlarında veya görüntü satıcıları tarafından düzeltilirler. Diğerleri, örneğin atmosfere ilişkin olanlar, dikkate alınmaz ve düzeltilmezler, çünkü her biri algılama zamanı ve yerine özgüdür ve atmosfer bilgisi çoğunlukla mevcut değildir. Ayrıca, düşük ve orta çözünürlüklü görüntüler için ihmal edilebilirler (Toutin 2004).

Çizelge 3.12 İki alt sınıf, Gözlemci ve Gözlemlenen ve farklı alt sınıflar için hata kaynaklarının tanımı

SINIF	ALT SINIF	TANIM
Gözlemci veya Algılama Sistemi	Platform	Eliptik hareketteki değişim (Şekil 3.2) Uydu konumundaki değişim (alçak frekanstan yüksek frekansa)
	Algılayıcı	Algılayıcı mekaniğindeki değişim (tarama oranı, tarama hızı gibi) Görüş/bakış açısı Görüş alanının panoramik etkisi
	Ölçme aletleri	Zaman değişimleri veya kayıklık Saat senkronizasyonu
Gözlemlenen	Atmosfer	Refraksiyon ve hava akımı
	Dünya	Küresellik, dönme, topoğrafik etki
	Harita	Jeoidden elipsoide Elipsoidden jeoide

Platform nedeniyle oluşan bozulmaların temelinde yeryüzü etrafındaki eliptik hareket değişimleri yer almaktadır. Görüntünün boyutuna ve alım zamanına bağlı olarak eliptik hareket değişimleri görüntü bozulmalarına yol açan bazı etkilere neden olurlar. Bu etkilerden bazıları şunlardır:

- Odak uzaklığı ve yeryüzünün şekli ile bağlantılı olarak yükseklik değişimleri piksel boyutlarını değiştirmektedir;
- x, y ve z yönündeki değişimler yüksek çözünürlüklü görüntülerin şeklini ve dönüklüklerini değiştirmektedir ve
- Hız değişimleri kolon boşluklarını değiştirmekte veya görüntü üzerinde satır boşlukları / bindirmeleri oluşturmaktadır.

Görüntüleme algılayıcısı nedeniyle oluşan bozulmalar şunlardır:

- Anlık görüntü alanı ve odak uzaklığı gibi kalibrasyon parametreleri ve
- Eğik görüntü alanı, yeryüzünün eğriliği ve kolon boyunca pikselin yeryüzü boyutunda meydana gelen topoğrafik yükseklik değişimleri ile bağlantılı olarak oluşan panoramik bozulmalar.

Yeryüzü nedeniyle oluşan bozulmalar şunlardır:

- Enleme bağlı olarak dönme hareketi, kolon yönünde olacak şekilde ve görüntü kolonları arasında yanal kayıklıklar oluşturmaktadır;
- Yeryüzünün eğikliği görüntü pikseli boyutunda değişimlere neden olmaktadır ve
- Topoğrafik kabartma tarama azimutunda bir paralaks meydana getirmektedir.

Harita projeksiyonu nedeniyle oluşan bozulmalar ise şunlardır:

- Bir referans elipsoidi sayesinde jeoidin yaklaşık olarak belirlenmesinde ve
- Bir teğet yüzeyi üzerinde referans elipsoidinin projeksiyonunda bozulmalar oluşmaktadır (Toutin 2004).

3.3.2. Bozulmaların geometrik modellenmesi

Görüntü sağlayıcılar tarafından yapılan basit geometrik düzeltmeler haricindeki geometrik bozulmaların giderilmesi için modellere ve matematiksel fonksiyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. 2B/3B ampirik modeller ile (örneğin 2B/3B polinom veya 3B rasyonel fonksiyonlar (RF)) veya zengin 2B/3B fiziksel ve deterministik modeller kullanılarak söz konusu geometrik bozulmalar giderilir. Algılama geometrisinin fiziksel gerçekliğini yansıtan 2B/3B parametrik modeller ile geometrik düzeltme her bir bozulma/deformasyon için bir matematiksel fonksiyonla adım adım yapılabileceği gibi bir "birleştirilmiş" matematiksel fonksiyon ile aynı anda yapılabilir. Adım adım çözüm genellikle uydu yer istasyonlarında görüntü sağlayıcıları tarafından uydu görüntülerini yöneltmek için uygulanmakta olup, son kullanıcılar genellikle "birleştirilmiş" çözümü tercih etmektedirler.

3.3.2.1. Rasyonel fonksiyonlar (RF)

1980'lerde nadiren kullanılmalarına rağmen, 3B RF'ye duyulan ilgi, ilk sivil yüksek çözünürlüklü IKONOS algılayıcısının 1999 yılında yörüngeye yerleştirilmesine bağlı olarak, fotogrametri ve uzaktan algılama çevrelerinde oldukça artmıştır. Algılayıcı ve yörünge parametreleri meta veriler içinde yer almadığından, 3B fiziksel modellerin gelişmesine bir alternatif 3B RF'ler olabilir. 3B RF'ler iki yaklaşımda kullanılabilirler:

1. Önceden çözülmüş olan mevcut 3B fiziksel modele yaklaşmak ve
2. YKN'ler ile tüm polinom fonksiyonların bilinmeyenlerini normal olarak hesaplamak için. (Toutin 2004).

$$R_{3D}(XYZ) = \frac{\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{n}\sum_{k=0}^{p} a_{ijk} X^i Y^j Z^k}{\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{n}\sum_{k=0}^{p} b_{ijk} X^i Y^j Z^k} \tag{3.1}$$

Eşitlik 3.1'de X, Y, Z ; arazi koordinatlarını; i, j, k ; tamsayı artış değerlerini; m, n, p ; tamsayı değerlerini ve m+n+p ; polinom fonksiyonun derecesini ifade etmektedir. 1'inci dereceden RF = 8 + 8=16, 2'nci dereceden RF= 20 + 20=40 ve 3'üncü dereceden RF = 40 + 40=80 bilinmeyen içermektedir. Paydadaki ilk katsayıyı yok edersek, her bir eşitlikte 20 payda, 19 paydada olmak üzere toplam 39 adet bilinmeyen mevcuttur. Her YKN, görüntü koordinatları i ve j için ayrı ayrı iki eşitlik (Eşitlik 3.1) oluşturduğundan 78 katsayıyı çözmek için en az 39 adet YKN gerekmektedir.

3.3.2.2. Polinom fonksiyonlar

2B/3B polinom fonksiyonlar, algılama sisteminin parametreleri veya zengin bir fiziksel kamera modeli mevcut olmadığı zaman kullanılırlar. Bozulmaların kaynaklarını yansıtmadıklarından, bu modeller tüm sistemin (platform, algılayıcı, dünya ve harita projeksiyonu) herhangi bir ön bileşeni hakkında ön bilgiye (a priori) ihtiyaç duyarlar.

$$P_{2D}\left(XY\right)=\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{n}a_{ij}X_iY_j \tag{3.2}$$

Her bir 2B (Eşitlik 3.2), 1nci, 2nci ve 3ncü dereceden polinom fonksiyonun sırasıyla 3;6 ve 10 bilinmeyeni olacaktır. Her bir 3B (Eşitlik 3.3) 1nci, 2nci ve 3ncü dereceden polinom fonksiyonun 4;10 ve 20 bilinmeyeni olacaktır.

2B 1nci dereceden (6 terimli) polinom fonksiyonları sadece her iki eksendeki ötelemeleri, bir dönüklüğü, her iki eksendeki ölçeklemeyi ve bir eğikliği gidermeye olanak tanır. 2nci dereceden (12 terimli) polinom fonksiyonları daha önceki parametrelere ilave olarak her iki eksende de bükülme ve konveksliği düzeltir. 3ncü dereceden (20 terimli) polinom fonksiyonları, görüntü alma sisteminin hiçbir fiziksel gerçekliğine karşılık gelmeyen diğer parametreler ile birlikte 2nci dereceden polinom fonksiyonu ile aynı bilinmeyenleri düzeltir. 2B polinom fonksiyonlar görüntü oluşumu sırasındaki bozulmaları yansıtmamaktadırlar ve arazi rölyef bozulmalarını düzeltmemektedirler. Bu nedenle, nadirden çekilen görüntülere, sistematik olarak düzeltilen görüntülere ve/veya düz arazilerdeki küçük görüntüler gibi az veya küçük

bozulmaları içeren görüntülere uygulanmaktadırlar. 2B polinom fonksiyonlar yer kontrol noktalarındaki (YKN) yerel bozulmaları düzelttiklerinden, girdi hatalarına çok açıktırlar ve bu nedenle YKN'ler çok sayıda ve düzgün dağılımda olmalıdır. Sonuç olarak, bu fonksiyonlar çok kaynaklı/çok formatlı veri birleşimi ve yüksek rölyefli alanlar için hassas geometrik konumlandırma gereken yerlerde kullanılmamalıdırlar.

$$P_{3D}\left(XYZ\right)=\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{n}\sum_{k=0}^{p}a_{ijk}X_iY_jZ_k \tag{3.3}$$

3B polinom fonksiyonlar (Eşitlik 3.3), 2B polinom fonksiyonların, arazinin üçüncü boyutuna ilişkin Z teriminin eklenmesiyle oluşan bir ifadesidir. Yine de, rölyef dışında herhangi bir ampirik fonksiyon ile aynı problemlere maruz kalırlar: yani, küçük görüntülere uygulanabilirler, çok sayıda ve düzgün dağılımda YKN'ye ihtiyaç duyarlar, yerel olarak YKN'de düzeltme yaparlar, hatalara oldukça duyarlıdırlar ve işlemlerde sağlam ve tutarlı değildirler. Küçük alanları kapsayan görüntüler ve rölyef dışında tüm bozulmaları önceden düzeltilmiş olan görüntülerle kullanılmaktadırlar.

3.3.2.3. Rasyonel Fonksiyon Modeli (RFM) iyileştirme yöntemleri

Rasyonel Fonksiyon Modellerinin yüksek seviyede geometrik enterpolasyon yeteneği vardır. Görüntü satıcıları tarafından sağlanan Rasyonel Polinom Katsayıları (Rational Polynomial Coefficient-RPC) her zaman gerçek görüntüleme işlemini temsil etmemektedir. Kontrol bilgisini için gereksinimler bazen tam olarak karşılanmamakta veya görüntü satıcılarının farklı ticari stratejilerinden dolayı fiziksel algılayıcı modelini belirlemek için hiçbir yer kontrol bilgisi kullanılmamaktadır. Yüksek duyarlıklı ürünlerin (örneğin ortofoto) maliyeti yüksek olmakta ve kullanıcılar tarafından görüntü satıcıya YKN'larının ve SYM'nin sağlanmasını gerekmektedir.

Son zamanlardaki çalışmalar, ilave kontrol bilgisi mevcut olduğu zaman görüntü uzayı veya yer uzayı bazında RPC'lerin iyileştirilebileceğini ortaya çıkarmışlardır. Örneğin, IKONOS Geo ve Standart stereo ürünleri bir veya daha fazla

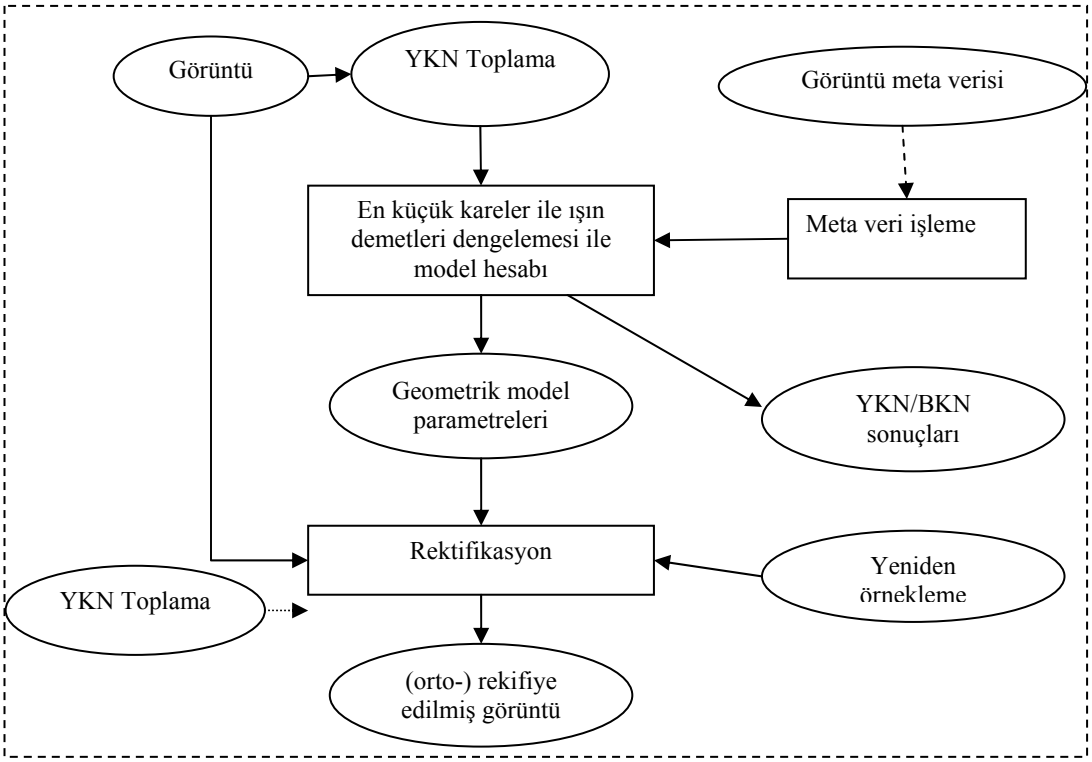
yüksek kaliteli YKN'ler kullanıldığı zaman alt metre mutlak konumlandırma doğruluğuna ulaşabilmektedir (Grodecki ve Dial 2001; Fraser ve ark. 2003; Tao ve ark. 2004; Yılmaz ve ark. 2007) veya düşük kalitede olan YKN'lerin doğruluğuna yaklaşabilmektedir. Böylelikle RFM iyileştirme yöntemleri düşük fiyatlı ürünleri çoğu uygulama için kullanma olanağını sunmaktadır.

RFM doğrudan veya dolaylı olarak iyileştirilebilmektedir. Doğrudan iyileştirme yöntemleri orijinal RPC'lerin kendilerini güncellemektedir. Böylelikle güncellenen RPC'ler mevcut görüntü transfer formatını değiştirmeye ihtiyaç duymaksızın transfer edilebilmektedir. Dolaylı iyileştirme, orijinal RPC'leri doğrudan değiştirmemektedir. Affin dönüşümü gibi basit dönüşümler kullanılmaktadır. İlave olarak, görüntülerde bağlama noktaları ölçülebilmekte ve modelleri blok dengeleme sonrası daha iyi bağıl yöneltme ile sonuçlanabilmektedir. Esas olarak, dolaylı iyileştirmenin iki adımlı işlemi, her bir görüntü için bir çift 3B obje gridi ve 2B görüntü gridi ile birlikte RPC'ler tekrar hesaplanarak tek işlem adımına düşürülebilmektedir.

3.3.3. Geometrik düzeltmede işlem adımları

Kullanılan matematiksel fonksiyon ne olursa olsun izlenen işlem adımları yaklaşık olarak aynıdır (Şekil 3.9):

- Görüntü alımı ve meta verilerin ön işlemleri,
- Görüntü koordinatları ve harita koordinatları ile yer noktalarının (kontrol/check/bağlama) ölçülmesi,
- Bir veya daha fazla görüntü için geometrik düzeltme amacıyla kullanılan matematik modellerin bilinmeyen parametrelerinin hesaplanması,
- SYM'li veya SYM'siz görüntü rektifikasyonu.



Şekil 3.9 Geometrik düzeltme ve işlem adımları

Bu işlem adımlarının sonuçları şunlardır:

- Her bir görüntü için kullanılan geometrik modelin parametre değerleri,
- Her bir YKN için X ve Y yönlerindeki (eğer birden fazla görüntü işleniyorsa Z) artık değerler ve Karesel Ortalama Hata (KOH),
- Mevcutsa, her bir Bağımsız Kontrol Noktası (BKN) için X ve Y yönlerindeki artık değerler ve KOH'ları,
- YKN'ler ve BKN'ler dahil her bir nokta için hesaplanan arazi koordinatları.

Teorik olarak gerekenden fazla YKN kullanılırsa, YKN artıkları modelleme doğruluğunu ve BKN hataları da sonuç doğruluğu yansıtır. Sonuç doğruluk, geometrik model, arazi koordinatları ve görüntü koordinatlarına karşı YKN'lerin sayısına bağlıdır.

Hiç BKN olmadığı zaman, KOH sadece 3B parametrik modeller kullanılırken sonuç doğruluğun iyi bir yaklaşımı olarak dikkatlice kullanılabilir. Yine de, 2B/3B parametrik olmayan modellerle KOH'ların küçük olabileceği gerçeği iyi bir doğruluk olduğu anlamına gelmez, çünkü bu modeller YKN'lerde yerel olarak düzeltmeler

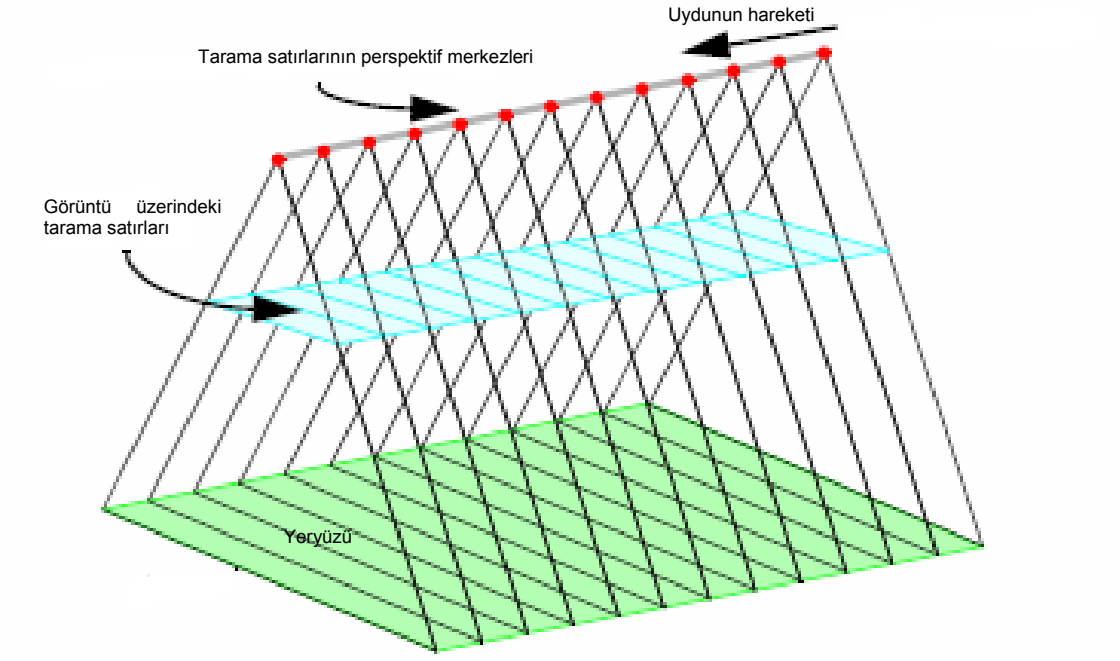
getirmektedir ve en küçük kareler dengelemesi YKN'lerde artıkları minimize etmektedir. YKN'ler arasında hatalar hâlâ mevcuttur. Diğer yandan 3B parametrik modeller ile aşırı sayıda YKN'nin kullanılmasıyla girdi veri hataları (işaretleme ve/veya harita) parametrik modellere yayılmaz, fakat genel bir dengelemeye bağlı olarak YKN artıklarında yansıtılır. Sonuç olarak, YKN doğruluğu ile aynı seviyedeki doğrulukta KOH'lar elde etmek normal ve güvenlidir, fakat modelin kendisi daha hassas olacaktır. YKN sayısına ve konumsal dağılımına (yükseklik de dahil) duyarlı olan polinom yöntemlerinden farklı olarak, 3B parametrik modeller bu faktörlerden etkilenmemektedirler. Yatay ve düşeyde hiç ekstrapolasyon yapılmadığı zaman tüm görüntüleme geometrisini hassas bir şekilde muhafaza etmektedir (Toutin 2004).

3.4. Uydu Fotogrametrisi

Uydu fotogrametrisi hava kameralarıyla yapılan fotogrametri uygulamalarıyla karşılaştırıldığında küçük farklılıklar içermektedir.

Çoğu uydu sistemi SPOT ve IRS-1C'de olduğu gibi iterek (pushbroom) satır tarama yaparak görüntü elde ederler. Bu satır, tarama satırı olarak adlandırılır. SPOT ve IRS-1C tarafından taranan her satır için tek bir perspektif merkez ve dönüklük açıları kümesi vardır. Perspektif merkezin satır tarayıcıya göre konumu her bir satır için sabittir (iç yöneltme ve odak uzaklığı). Uydunun hareketi yumuşak ve bir görüntü boyunca temelde doğrusal olduğu için, tüm tarama satırlarının perspektif merkezlerinin yumuşak bir doğru üzerinde olduğu kabul edilir. Şekil 3.10 bu tarama tekniğini göstermektedir (Erdas Imagine Field Guide 2006).

Uydunun alım merkezi, merkez tarama satırı için yer koordinatlarında perspektif merkez olarak tanımlanır. Elde edilen sonuç ürün uydu görüntüsü olarak adlandırılır. Örnek olarak, 10 metre çözünürlüklü SPOT PAN 1A uydu görüntüsü 6000 satırdan oluşmaktadır. Her bir satır 1.5 milisaniye süreyle pozlanmakta olup, tüm görüntünün elde edilmesi 9 saniye sürmektedir.



Şekil 3.10 SPOT tarama satırlarının perspektif merkezleri

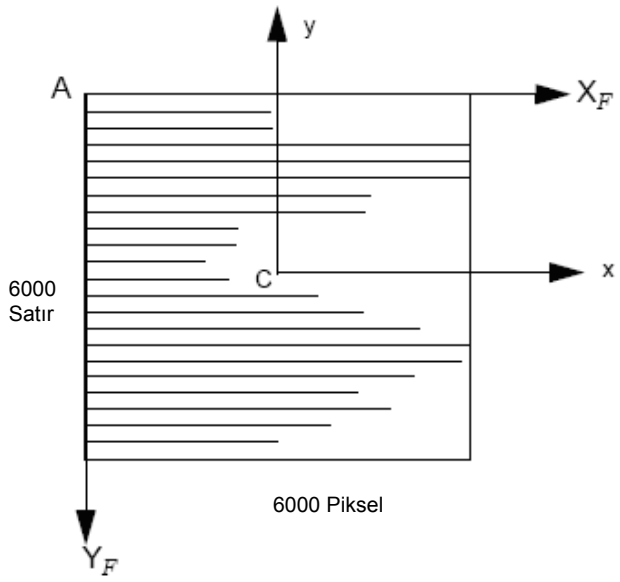
SPOT görüntüsündeki bir piksel, bir satırda bulunan 6000 ışığa duyarlı hücreden biri tarafından algılanan parlaklık değerini kaydeder. Her piksel, piksel koordinat sisteminde (satır ve sütun numarası olarak) tanımlanır. Işığa duyarlı bir hücrenin boyutu 13x13 mikrondur. Bu, görüntü koordinat sisteminde bir pikselin boyutudur. Görüntünün orta noktası, orta tarama satırının orta pikselidir. Bu piksel görüntü koordinat sisteminin başlangıç noktasıdır. Şekil 3.11 uydu görüntüsünün, görüntü koordinat sistemini göstermekte olup,

A : piksel koordinat sistemi başlangıç noktasına

$A\text{-}X_F$,$A\text{-}Y_F$: piksel koordinat sistemi eksenlerine

C : görüntü koordinat sistemi başlangıç noktasına

$C\text{-}_X$,$C\text{-}_Y$: görüntü koordinat sistemi eksenleri ne karşılık gelmektedir.



Şekil 3.11 Görüntü koordinat sistemi

3.4.1. Spot iç yöneltmesi

Şekil 3.12 uydu görüntüsünün iç yöneltmesini göstermektedir. Piksel koordinat sistemiyle görüntü koordinat sistemi arasındaki dönüşüm sabittir. Her tarama satırı için farklı ışın demetleri tanımlanmış olup,

P_k : görüntü noktası

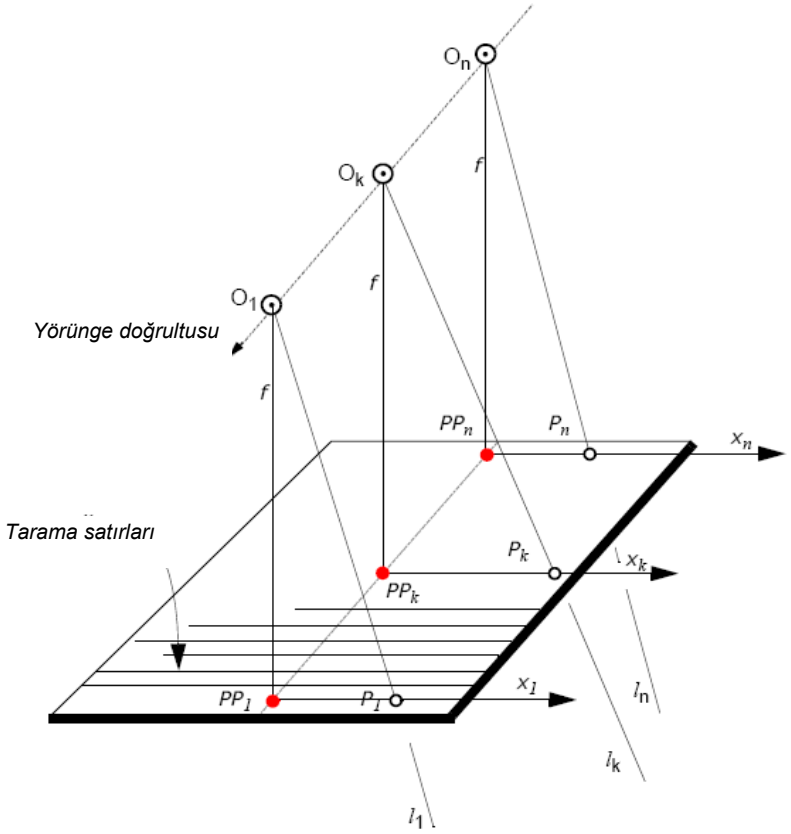
X_k : görüntü koordinat sisteminde k satırı için x bileşeni değeri

f = kamera odak uzaklığı

O_k : uydu yörüngesi doğrultusunda k satırına ait izdüşüm merkezi

PP_k : k satırının orta noktası

L_k : O_k izdüşüm merkezinden geçen tarama satırı ışık ışınları karşılık gelmektedir (Erdas Imagine Field Guide 2006).



Şekil 3.12 SPOT iç yöneltmesi

3.4.2. Spot dış yöneltmesi

SPOT uydu geometrisi sabittir ve odak uzaklığı gibi algılayıcı parametreleri çok iyi bilinmektedir. Fakat dar, paralele yakın ışın demetleri nedeniyle SPOT görüntülerinin yöneltmesi tam sabit değildir.

Uydu efemeris bilgileri SPOT görüntü dosyasının başlık kısmında bulunmaktadır. Uydunun üç boyutlu yer merkezli koordinatları 60 saniyelik aralıklarla verilmektedir. Görüntü orta tarama satırının tam tarama zamanı yanında, hız vektörü ve algılayıcı konumuna ilişkin dönüklükler verilmektedir. Spot görüntüsü veri dosyasının başlık kısmı, uydu yörüngesi ve görüntü kaydı hakkında bilgi veren efemeris verilerini içermektedir.

Uydu yöneltmesinde kullanılacak efemeris verilerinin içeriği:

- Uydu konumunun yer merkezli koordinatları,
- Uydu hareketini tanımlayan hız vektörü,
- Algılayıcı konum değişimleri,
- Görüntünün orta tarama satırının tam alım zamanı.

Efemeris bilgilerini içeren yer merkezli koordinatlar yöneltmede kullanılmak üzere yerel arazi koordinat sistemine dönüştürülür. Uydu görüntüsünün orta noktası başlık bilgilerinden enterpole edilir.

SPOT algılayıcısı için tanımlanan ışın demetlerinin paralele yakın olması uydu konumunun önemini azaltmaktadır. Bunun yerine uydudaki kameranın eğim açısı önem kazanmaktadır.

SPOT uydusu nadir ve nadir dışı görüntü alabilme kabiliyetine sahiptir. Nadir, algılayıcının tam düşeyindeki noktadır. Nadir dışı, tam düşeyde değil de eğik olarak görüntülenebilen nokta anlamındadır.

Farklı yörüngelerden farklı günlerde aynı alana ait biri diğerinin doğusunda iki görüntü alınarak stereo görüntü oluşumu sağlanmaktadır. Bunun olması için de eğim açıları arasında önemli bir farkın olması gerekmektedir.

Arazideki görüntü orta noktasının normaliyle görüntü alım noktasını arazideki görüntü orta noktasıyla birleştiren ışık ışını arasında kalan açı, eğim açısıdır. Bu açı nadir dışı görüntü alımının derecesini göstermektedir. Algılayıcı asgari 0.6 azami 27 derece arasında doğuya (negatif eğim) veya batıya (pozitif eğim) yöneltilebilir. Şekil 3.13 eğim açısını göstermekte olup,

C : arazideki görüntü orta noktası

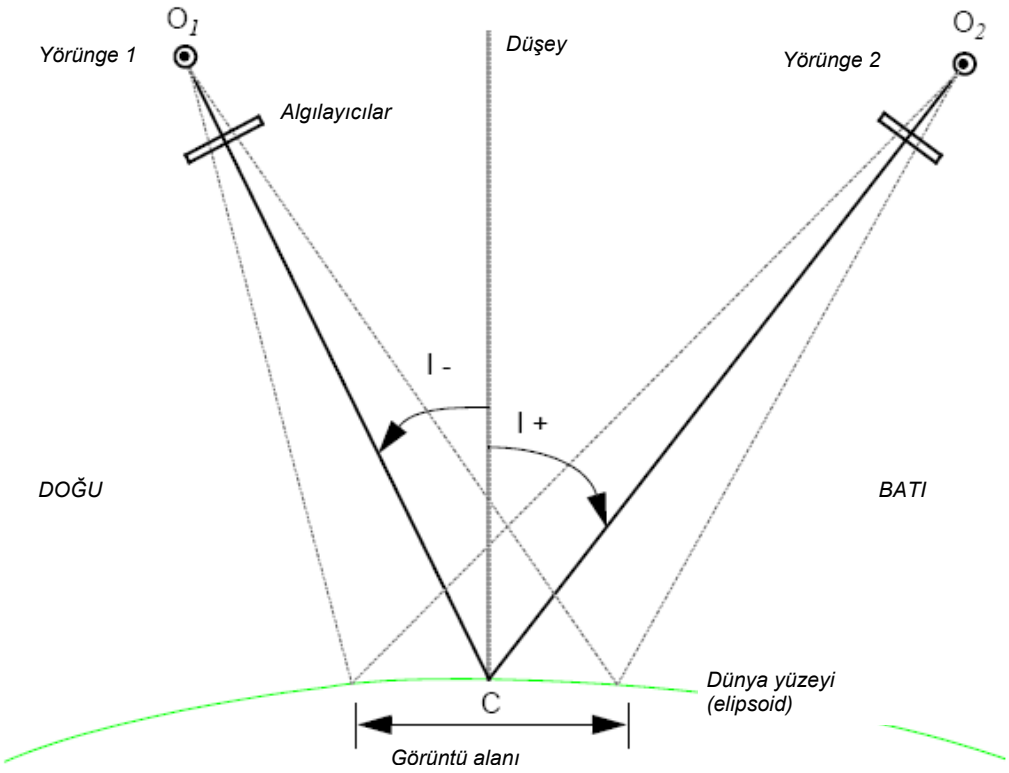
I- : negatif eğim açısı

I+ : pozitif eğim açısı

O_1,O_2 : görüntü alım noktaları (izdüşüm merkezleri)

karşılık gelmektedir (Erdas Imagine Field Guide 2006).

Uydu görüntüsünün yöneltme açısı merkez tarama satırının düşeyiyle kuzey doğrultusu arasında kalan açıdır. Uydunun konumsal hareketi hız vektörüyle tanımlanmaktadır. Uydunun arazi üzerindeki gerçek hareketi yer dönmesiyle distorsiyona uğramaktadır.



Şekil 3.13 Stereo uydu görüntüsünde eğim açısı gösterimi

Uydu hız vektörü elipsoid üzerindeki bir noktaya göre hesaplandığında uydu hızı olmaktadır. Bu da görüntülenen alanın eğik değil de düz bir yüzey olduğunu öngören bir teknikle hız vektörünün temsilini sağlamaktadır (Şekil 3.14). Şekil 3.14'de

O : yöneltme açısına,

C : görüntü orta noktasına,

V : hız vektörüne

karşılık gelmektedir.

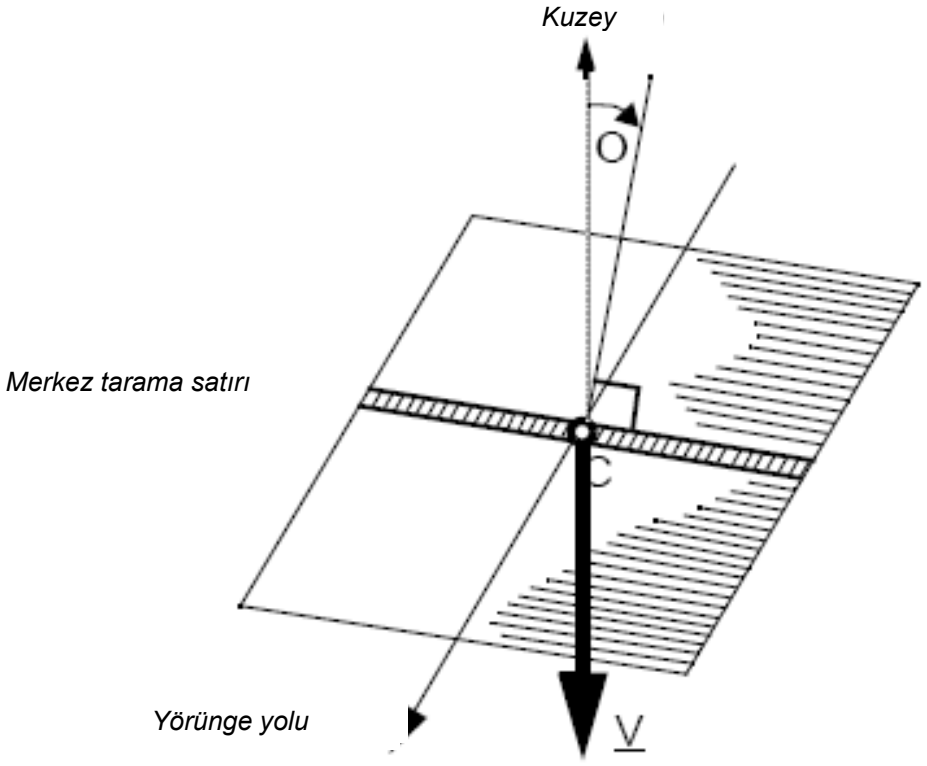
Uydu blok dengelemesi her tarama satırı için algılayıcı ile arazi koordinat sistemi arasında uzaysal ilişkiyi hesaplayan bir model oluşturmaktadır. Bu ilişki aşağıda belirtilenleri içeren dış yöneltme olarak tarif edilir:

- Orta tarama satırına ait izdüşüm merkezi (X,Y,Z),
- Yörünge boyunca izdüşüm merkezleri değişimi,

- Orta tarama satırına ait üç dönüklük (omega, fi, kapa),
- Yörünge boyunca açıların değişiklikleri.

Uydu blok dengelemesi, bilinen noktalar üzerinde ışık ışınları demetlerinin çakıştırılmasına ek olarak izdüşüm merkezleri arasındaki ilişkileri ve tarama satırlarının dönüklük açılarını da belirleyerek uydu hareketini de hesaba katmaktadır. Görüntü alınırken uydu düzgün bir hareket yapıyormuş gibi kabul edilir. Bundan dolayı, ilk önce orta tarama satırının dış yöneltmesi yapılır, diğer tarama satırlarının dış yöneltmesi ise orta tarama satırına olan uzaklığa, izdüşüm merkezi değişikliklerine ve dönüklük açılarına göre hesaplanır.

Uydu görüntüleri yöneltmesi için yapılan ışın demetleriyle dengeleme, hava fotoğraflarında kullanılan ışın demetleriyle dengelemeye benzemektedir. Kontrol noktaları ve bağlama noktaları yardımıyla parametrelerin hesaplanmasında en küçük kareler dengelemesi kullanılmaktadır.



Şekil 3.14 Mono görüntünün hız vektörü ve yöneltme açısı

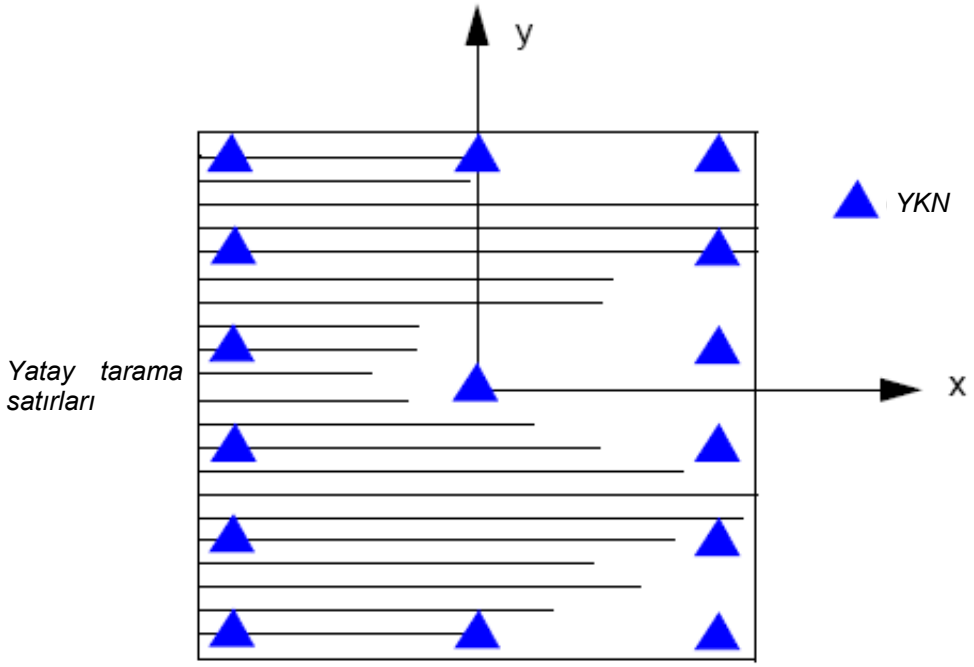
Uydu görüntüsünün ışın demetleriyle dengelenmesi sonucunda elde edilen parametreler;

- Görüntü orta noktasının arazi koordinatları,
- Orta tarama satırının dönüklük açıları,
- Diğer tarama satırlarının dönüklük açıları ve izdüşüm merkezlerinden hesaplanan katsayılar,
- Tüm bağlama noktalarının arazi koordinatlarıdır.

3.4.3. Kolinearite eşitlikleri ve uydu blok dengelemesi

Geliştirilmiş kolinearite eşitlikleri, uydu görüntüsündeki tarama satırına ait dış yöneltme parametrelerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Her tarama satırı kendine özgü izdüşüm merkezine ve dönüklük açılarına sahiptir. Uydu bir satırdan diğer bir satıra hareket ettiğinde bu parametreler değişmektedir. Uydunun yörüngedeki hareketinin düzgün olması nedeniyle bu değişiklikler düşük dereceli polinom fonksiyonlarıyla modellenmektedir.

Stereo görüntülerin blok yöneltmesinde yer kontrol noktaları ve bağlama noktalarının ikisi de kullanılmaktadır. Tek görüntünün yöneltmesinde sadece yer kontrol noktaları kullanılmaktadır. Bu durumda, görüntü alım anındaki dış yöneltme parametrelerinin hesaplanmasında uzay kestirim teknikleri kullanılmaktadır. En az altı yer kontrol noktası gerekmektedir. 10 veya daha fazla yer kontrol noktası daha iyi bir yöneltme sonucu için tavsiye edilmektedir. Uydu görüntüsündeki en iyi YKN yerleşimi aşağıdaki resimde gösterilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Bir uydu görüntüsünün yöneltmesi için ideal nokta dağılımı

4. ARAŞTIRMA ÇALIŞMASI VE TARTIŞMA

SPOT 5 stereo uydu görüntülerinin konumlandırma doğruluğu ve 1/25.000 ölçekli topoğrafik harita üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması müteakip bölümlerde anlatıldığı şekilde ircaa edilmiştir.

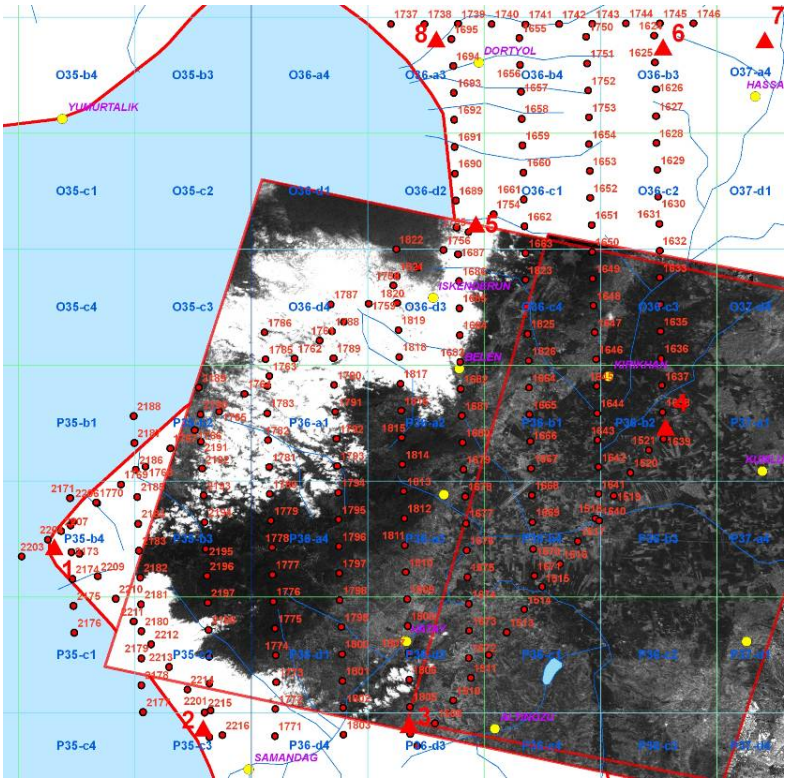
4.1. Farklı Kaynaklardan Değişik Sayı ve Dağılımlarda Seçilen YKN'ler ile SPOT 5 Stereo Uydu Görüntülerinin Geometrik Doğruluk Kontrolü

4.1.1 Çalışma bölgesi, çalışmada kullanılan hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri

Çalışma bölgesi olarak uydu görüntüleriyle yaklaşık aynı tarihte hava fotoğrafları alınmış olan Hatay Bölgesi seçilmiştir. Bölge, bir dağ silsilesi haricinde genel olarak az engebeli bir karakter göstermektedir. Bölgede, kısmen ormanlık alanlar, geniş tarım alanları ve çok miktarda sulama kanalları mevcuttur. Şekil 4.1'de uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarının ortak alanları görülmektedir. Şekil 4.1'deki kırmızı renkli noktalar fotoğraf orta noktalarını, kırmızı renkli üçgenler ise 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafları bloğunu yöneltmede kullanılan YKN'leri göstermektedir.

Çalışmada Zeiss RMKTOP15 kamerasıyla 1/35.000 (± %10) ölçekte kinematik GPS destekli olarak çekilen hava fotoğrafları kullanılmıştır.

Uydu görüntüleri olarak, 2.5 m. konumsal çözünürlüklü 25 Mayıs 2006 ve 26 Ağustos 2006 tarihli SPOT 5 görüntü çifti kullanılmıştır. Görüntüler uydudaki HRG aleti tarafından algılanmış, sadece basit radyometrik düzeltme getirilmiş Düzey 1A görüntüleridir. 2.5 m. çözünürlüklü ürünler Süper Mod olarak adlandırılan kendine özgü bir yeniden örnekleme ile oluşturulmaktadır. Süper Mod, 5 m.lik görüntülerden 2.5 m.lik görüntü elde etmek için gelişmiş teknikler kullanmaktadır. Kullanılan görüntülerden birisinin kuzeybatı ve güneybatı köşesi kısmen bulutlarla kaplıdır. Görüntülerin bindirme oranı yaklaşık %50 olup uydu görüntüleri için ideal bir stereo çift oluşturmamaktadır. Görüntülerin B/H oranı 0.4'tür.



Şekil 4.1 Uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarının ortak alanları

4.1.2. Çalışmada kullanılan yazılımların kısa tanıtımı

4.1.2.1. PHODIS AT yazılımı

PHODIS, Carl Zeiss firması tarafından üretilen bir digital fotogrametri sistemidir. Bu sistem ile digital fotogrametri alanındaki tüm ürünler elde edilebilir. PHODIS ile stereo görüntü oluşturma, otomatik bağlama noktası ölçümü, ortofoto üretimi, mozaikleme ve değerlendirme işlemleri yapılabilmektedir. PHODIS bu işlemleri gerçekleştirirken modül olarak yazılmış programları kullanmaktadır. PHODIS-AT (PHODIS Aerial Triangulation) de bu modüllerden bir tanesidir ve otomatik olarak bağlama noktaları ölçümüne olanak tanımaktadır.

4.1.2.2. PATB-GPS yazılımı

PATB-GPS yazılımı ışın demetleriyle blok dengeleme yapan bir programdır. Programın girdileri fotoğraf koordinatları, kontrol noktaları koordinatları, GPS verilerinin işlenmesi sonucu elde edilen izdüşüm merkezi koordinatları ve anten dışmerkezlik parametreleridir.

Programda iki girdi kütüğü vardır. Bunlardan birisi fotoğraf koordinatları kütüğü, diğeri ise kontrol noktaları kütüğüdür. Kontrol noktaları kütüğünde,kontrol noktalarının yatay ve düşey konumları iki ayrı liste halinde hazırlanır. Aynı zamanda bu noktaların doğruluklarına göre, 11 ayrı gruplama yapmak mümkündür. PATB-GPS yazılımının çıktıları, dengelenmiş noktalar ve bunlara getirilen düzeltmeler, fotogrametrik ölçüm doğruluğunun üç katından daha büyük ölçüm doğruluğuna sahip kritik noktalar, her bir resmin dış yöneltme parametreleridir.

4.1.2.3. SOFTPLOTTER 3.0 yazılımı

Stereo model oluşturma, değerlendirme, nokta okuma çalışmaları SOFTPLOTTER 3.0 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

SOFTPLOTTER 3.0 yazılımı sayısallaştırılmış hava fotoğrafları ile uydu görüntülerinden arazi ve detay hakkında doğru bilgi toplama olanağı sağlayan bir digital fotogrametri yazılımıdır. CBS, haritalama ve şehir planlaması gibi uygulamalar için veri desteği sağlar. Modüler yapıda olması üretim işlemlerine göre iş akışlarını belirlemede kolaylık ve serbestlik sağlar. Yazılımın modülleri aşağıda gösterilmiştir:

• Block Tool: Otomatik ya da manuel iç yöneltme ve dış yöneltme işlemleri ile dengeleme işlemleri yapılır.

• Stereo Tool: Stereoskopik görüş için stereo çiftlerinin yaratılmasını sağlar.

• Surface Tool: Üçgen SYM verilerinin toplanması ile kırık hatların (break line) çizimi gibi işlemler ile SYM verilerinin editlenmesine olanak tanır.

• Dem Tool: Grid şeklinde SYM verilerinin toplandığı ve editlendiği modüldür.

• Ortho Tool: Dengeleme sonuçları ile SYM verilerini kullanarak ortofoto üretimini sağlar.

• Mosaic Tool: Ortofoto görüntülerin birleştirilip mozaiklendiği modüldür.

• Mensuration Tool: Uzunluk, alan gibi ölçümlerin yapıldığı modüldür.

• KDMS Tool: KDMS (Kork Digital Mapping System) CAD yazılımı kullanarak stereo görüntüler üzerinde superimpositionla değerlendirmenin yapıldığı modüldür.

• Terra Model Tool: Otomatik eş yükseklik eğrisi çizimi ve yüzey modelleme yapar.

Vektör veriler bir CAD yazılımı olan KDMS ile toplanmış, editleme olanaklarının çok pratik olmaması nedeniyle IGDS formatına dönüştürülmüş ve diğer bir CAD yazılımı olan Microstation 95 yazılımında editlenmiştir.

4.1.2.4. Leica Photogrammetry Suite (LPS) 9.1 yazılımı

LPS kullanımı kolay, her türlü hava fotoğrafı ve uydu görüntülerini yöneltmede, ortofoto ve mozaik üretmede kullanılan bir digital fotogrametri yazılımıdır. Yazılımın işlevleri aşağıda özetlenmiştir:

• Hava fotoğrafları veya uydu görüntülerinin sisteme alınması ve kamera kalibrasyon bilgileri veya efemeris bilgilerine göre iç yöneltme,

• Uydu görüntülerinin metaveri veya RPC dosyalarına göre dış yöneltmesi,

• Farklı kaynaklardan YKN'lerin sisteme alınması,

• YKN ve bağlama noktalarının çok sayıda görüntüde ölçülmesi,

• Dengeleme ve sonuç ürün doğruluklarının kalite kontrolü,

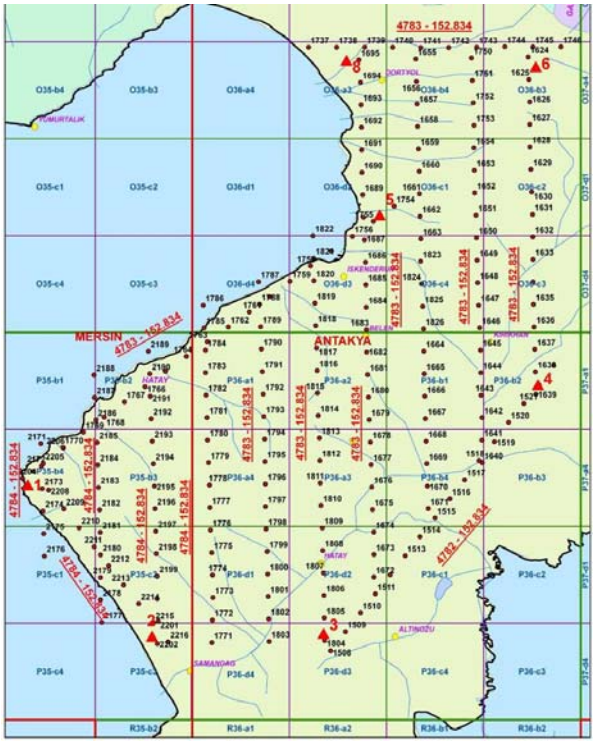
• Stereo görüntülerden otomatik SYM oluşturma,

• Ortofoto ve mozaik üretimi,

• Yöneltilmiş görüntüleri stereo görüntüleme ve vektör veri toplama.

4.1.3. Hava fotoğraflarının blok dengelemesi ve bloktan nokta seçimi

Zeiss RMKTOP15 kamerasıyla 1/35.000 (± %10) ölçekte kinematik GPS destekli olarak çekilen hava fotoğrafları, UltraScan5500 tarayıcısı ile 21 mikron piksel boyutları ile sayısallaştırılmışlardır. Blok 221 adet fotoğraftan oluşmaktadır. Sayısallaştırılan hava fotoğrafları PHODIS AT havai nirengi yazılımına alınarak iç yöneltmeleri yapılmış, Şekil 4.2'de görülen 7 adet nirengi noktasının yer koordinatları sisteme girilerek resim koordinatları ölçülmüş ve tüm bloğa model ve kolon bağlama noktaları atılmıştır. Yapılan ölçüler PATB-GPS dengeleme yazılımına alınarak, kinematik GPS'ten gelen fotoğraf orta noktalarının yaklaşık koordinatları ilave edilmiş ve dengeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Dengeleme sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Her bir fotoğrafa ait fotoğraf orta nokta koordinatları ve dönüklük matrisi elemanları PATB formatında ".ori" uzantılı olarak hazırlanmıştır.



Şekil 4.2 1/35.000 Ölçekli hava fotoğrafları blok yapısı

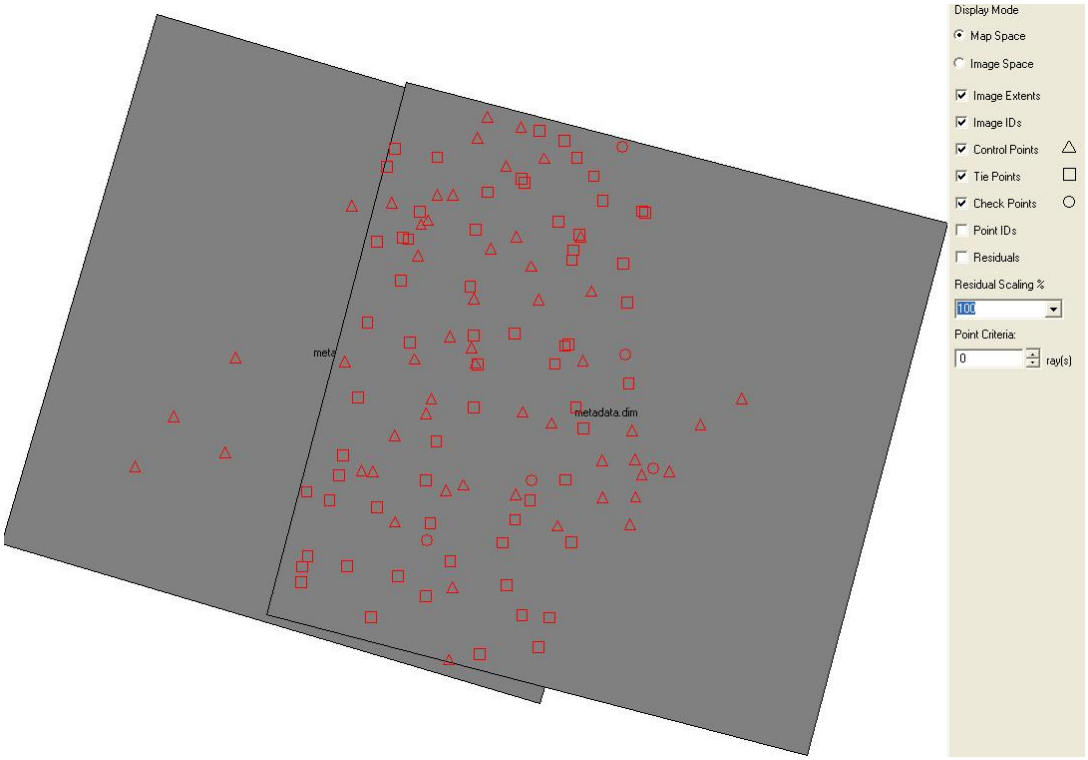
Çizelge 4.1 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafları blok dengeleme sonuçları

Nokta No.	$\mathbf{r_x}$ (m)	$\mathbf{r_y}$ (m)	$\mathbf{r_z}$ (m)
1	0.0	0.0	0.0
2	0.7	-0.7	0.0
3	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0
5	-0.1	0.1	1.0
6	0.0	-0.1	2.1
8	-0.4	-1.4	-1.2

Stereo görüntülerden YKN olarak kullanılmak üzere nokta seçmek amacıyla, iç ve dış yöneltme parametreleri kullanılarak stereo modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan stereo modeller üzerinden üç boyutlu YKN niteliğindeki noktalar okunmuş ve sonuçları bir dosyaya yazdırılmıştır. Bina, ağaç tepeleri gibi yüksekliği olan detaylardan kaçınılarak çıplak yeryüzü üzerinde, keskin, etrafındaki detaylardan kontrast nedeniyle kolaylıkla ayırt edilebilen detaylar YKN olarak seçilmiştir.

4.1.4. Uydu görüntülerinin blok dengelemesi ve bloktan nokta seçimi

Leica Photogrammetry Suite (LPS) 9.1 yazılımında 2.5 metre çözünürlüklü SPOT 5 uydu görüntüleri için kullanılan "Orbital Pushbroom" modeli seçilmiş, UTM projeksiyon sistemi ve WGS 84 datumu kullanılarak yeni bir blok oluşturulmuştur. Bloğa, uydu görüntü çifti eklenmiştir. Yazılımda SPOT 5 uydu görüntüleri için model tanımlı olduğundan görüntülerin iç yöneltmeleri otomatik olarak yapılmıştır. Uydunun yörünge parametrelerinin yazılı olduğu metaveri dosyaları görüntüler bloğa dâhil edilirken sistem tarafından okunmuştur. Görüntüler üzerinde bağlama noktaları ölçülmüş, yöneltmede kullanılmak amacıyla 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritadan ve stereo hava fotoğraflarından YKN'ler ölçülmüştür (Şekil 4.3). Test edilecek yönteme göre bu noktalar YKN olarak bloğa eklenerek veya çıkarılarak dengeleme yapılmış ve görüntüler yöneltilmiştir.



Şekil 4.3 Uydu görüntüleri bloğu

Yöneltmeler sonucunda, stereo uydu görüntüleri üzerinde Bağımsız Kontrol Noktası (BKN) olarak kullanılacak noktalar okunarak stereo hava fotoğrafı bloğundan elde edilen koordinatlarıyla karşılaştırılmışlardır.

4.1.5. Doğruluk araştırması çalışmasında izlenen yöntem

Mevcut bir çift SPOT 5 stereo uydu görüntüsünün yöneltme çalışmalarında kullanılmak üzere YKN seçimi amacıyla iki kaynaktan faydalanılmıştır. İlk olarak, 1/25.000 ölçekli raster topoğrafik haritadan, ikinci olarak uydu görüntüleri ile aynı bölgeleri kapsayan 1/35.000 ölçekli fotoğraflardan oluşan fotogrametrik bloktan YKN'ler seçilmiştir. İlk yöntemde, geometrik doğruluğun testi amacıyla BKN olarak fotogrametrik bloktan seçilen noktalar kullanılmıştır. Bu noktaların doğruluğunun 1 metrenin altında olduğu yapılan önceki çalışmalarda teyit edilmiştir. İkinci yöntemde ise; ilk yöntemde BKN olarak kullanılan noktaların bir kısmı YKN olarak

kullanılmış, kalan kısmı ise bloğun doğruluğunu test etmek üzere BKN olarak kullanılmışlardır (Çizelge 4.2).

YKN Karesel Ortalama Hata (KOH)'ları modelleme ve YKN doğruluklarını, BKN KOH ise; detay toplama doğruluğunu da içeren planimetrik detayların sonuç konumlandırma doğruluğunun iyi bir tahmini anlamına da gelen yeniden kurgulandırma doğruluğunu yansıtmaktadır. Yine de, 3B modellemenin iç doğruluk modellemesi bu değerlerden daha da iyi olabilir. Sonuç olarak, baskın YKN hatasıyla aynı derecedeki en küçük karelerle dengelemeden artık değerleri elde etmek normal ve güvenlidir (Toutin 2004).

4.1.6. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi

1/25.000 ölçekli raster paftadan seçilen YKN'ler ile yapılan yöneltmede, genel olarak nokta sayısının fazla olmasının geometrik doğruluğu arttırıcı etki yaptığı gözlemlenmektedir. Yalnız 38 nokta ile 20 nokta arasında doğruluk açısından önemli bir fark bulunmamaktadır. Nokta sayısı 10 ve 6 adete düştüğü zaman, doğruluk nokta dağılımına ve kullanılan YKN'lerdeki yerel nokta hataları ve nokta işaretleme doğruluğuna duyarlı hale gelmektedir. Yükseklik değerleri (z) yataydaki doğruluğa uygun bir yapıda olmakla beraber, nokta dağılımına karşı daha duyarlıdır. Düşey doğrultudaki hatalar çoğunlukla YKN'lerin uydu görüntü alanındaki yükseklik değerlerini homojen temsil etmesine bağlıdır.

Fotogrametrik bloktan seçilen YKN'ler ile yapılan yöneltmede, nokta konum doğruluğunun (≈1 m) görüntü konumsal çözünürlüğünün (2.5 m.) altında olması sebebiyle, hataların büyük kısmının noktaların işaretleme hassasiyeti, yazılımın SPOT 5 uydu görüntülerini modelleme yeteneği ve efemeris bilgilerinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Çizelge 4.2, Şekil 4.4 ve 4.5'de nokta sayısı verilirken kullanılan rakamlardan ilki nokta sayısını, alt çizgi işaretinden sonra kullanılan rakam ise nokta dağılımını ifade etmektedir (örneğin 6_2; 6, kullanılan nokta sayısını, 2 ise nokta dağılımını belirtmektedir. Çizelge 4.2, Şekil 4.4 ve 4.5 incelendiğinde nokta sayısının 20 noktadan 10 noktaya düşürmenin doğruluğu fazla etkilemediği, 6 noktada bazı sıçramalar gösterdiği gözlemlenmektedir. Yatay ve

düşeyde hata değişimleri çok dar bir alanda olmaktadır. Yine de, 6 adet nokta ile geometrik doğruluk nokta dağılımına ve noktalardaki yerel hatalara daha duyarlı hale gelmektedir.

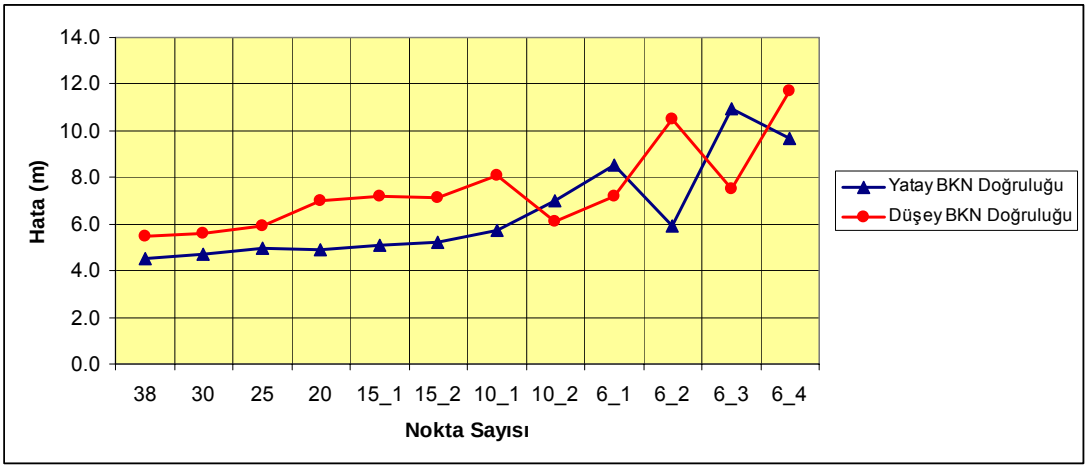
Sonuçlar genel olarak incelendiğinde; yaklaşık olarak 10 adet 1/25.000 ölçekli raster paftadan seçilen YKN'ler kullanılarak yatayda ortalama ±7 m. hata ile fotogrametrik bloktan seçilen YKN'ler kullanılarak yatayda ortalama ±3.5 m. hata ile yöneltme yapılabileceği görülmektedir. 10 adetten fazla YKN kullanmak dengeleme işleminin geometrik kuvvetine bir etki yapmamaktadır. Ancak, çok miktarda YKN kullanılması ile coğrafi konumlandırma işleminin güvenilirliği hakkında daha fazla bilgi edinilebilmektedir (Fraser 2004).

Düşey hataların nispeten yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bunun nedeninin stereo çiftin B/H oranın (0.4) düşük olmasına bağlı olduğu değerlendirilmektedir.

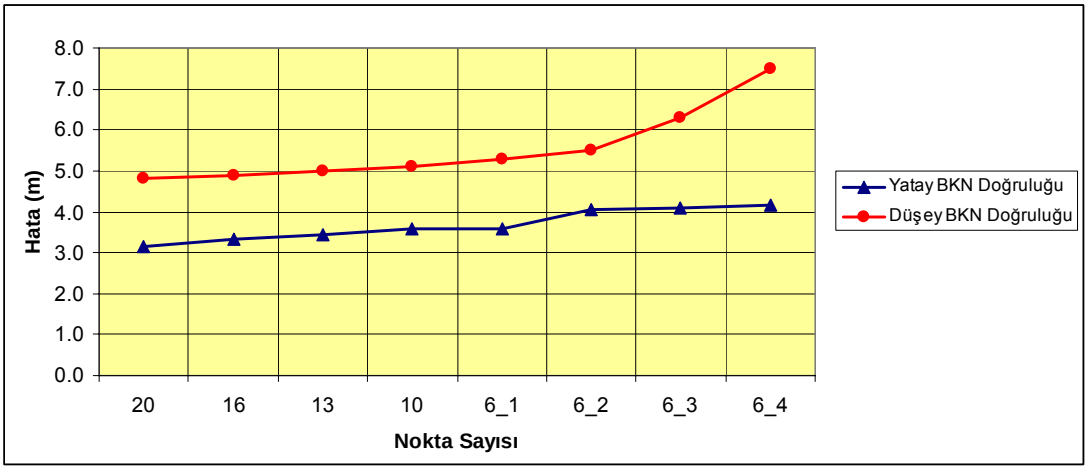
Çizelge 4.2 YKN ve BKN Karesel Ortalama Hataları

YKN Seçimi	YKN Sayısı	BKN Sayısı	YKN KOH (± m)			BKN KOH (± m)		
			x	y	z	x	y	z
1/25.000 Ölçekli Raster Paftalardan	38	63	4.8	4.2	2.7	2.5	3.8	5.5
	30	63	5.0	4.4	3.0	2.8	3.8	5.6
	25	63	5.3	4.4	3.1	2.9	4.0	5.9
	20	63	5.8	5.6	3.0	3.1	3.8	7.0
	15_1	63	5.9	5.7	3.4	3.3	3.9	7.2
	15_2	63	6.1	5.9	3.2	3.4	4.0	7.1
	10_1	63	6.9	6.0	3.0	3.8	4.3	8.1
	10_2	63	7.2	6.0	3.7	5.7	4.1	6.1
	6_1	63	8.5	8.8	4.6	7.1	4.7	7.2
	6_2	63	7.8	8.0	4.9	4.0	4.4	10.5
	6_3	63	7.0	7.7	4.1	3.0	10.5	7.5
	6_4	63	7.6	8.5	4.5	3.8	8.9	11.7
Fotogrametrik Bloktan	20	43	1.5	2.8	3.1	1.6	2.7	4.8
	16	47	1.6	2.6	2.6	1.8	2.8	4.9
	13	50	1.7	2.6	2.7	2.0	2.8	5.0
	10	53	1.7	2.5	2.7	2.1	2.9	5.1
	6_1	57	1.7	1.8	1.2	2.1	2.9	5.3
	6_2	57	1.4	2.2	3.1	2.2	3.4	5.5
	6_3	57	2.4	2.0	2.7	2.1	3.5	6.3
	6_4	57	2.1	2.4	2.5	2.4	3.4	7.5

Çizelge 4.2 incelendiğinde; 1:25.000 ölçekli raster haritadan alınan YKN'lerin iç doğruluğunun ortalama ±7 m olduğu, ancak nokta sayısının azalmasıyla haritanın kartoğrafik düzeltmesi, genelleştirilmesi vb. nedenlerle seçilen noktaların iç doğruluğa etkilerinin arttığı görülmüştür. Fotogrametrik bloktan seçilen YKN'lerde ise, nokta konum doğruluğunun yüksek olması nedeniyle YKN sayısı ve dağılımının iç doğruluğa etkisi daha düşüktür.



Şekil 4.4 1/25.000 ölçekli raster paftalardan seçilen YKN'lere göre yatay ve düşey BKN hataları



Şekil 4.5 Fotogrametrik bloktan seçilen YKN'lere göre yatay ve düşey BKN hataları

4.2. Stereo 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafları ve 2.5 m. çözünürlüklü stereo SPOT 5 uydu görüntülerinden değerlendirilen detayların karşılaştırılması

4.2.1. Değerlendirmelerin yapılması

Stereo 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafları ve 2.5 metre çözünürlüklü stereo SPOT 5 uydu görüntülerinden bir adet 1/25.000 ölçekli paftada değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme farklı operatörler tarafından gerçekleştirilmiş olup her iki operatör de yaklaşık 10 yıllık değerlendirme tecrübesine sahiptir. SPOT 5 uydu görüntülerini değerlendiren operatörün stereo SPOT uydu görüntüleri ile çalışma tecrübesi vardır. Operatörler değerlendirirken 1/25.000 ölçekli raster haritaları detay tanımada altlık olarak kullanmışlardır. Hava fotoğraflarından değerlendirme Softplotter 3.0 yazılımında, SPOT 5 uydu görüntülerinden değerlendirme LPS 9.1 Stereo Analyst yazılımında gerçekleştirilmiştir. Değerlendirilen detaylar vektörel olarak karşılaştırılmışlardır.

Stereo SPOT 5 görüntülerini değerlendirirken uydu görüntü çifti arasındaki mevsimsel fark (25 Mayıs 2006 ve 26 Ağustos 2006) stereo görüntüyü bozucu etki yapmaktadır. Özellikle tarla alanlarında Mayıs ayında yeşil olan alanlar Ağustos ayında sarı renge bürünmüş olup değerlendirme operatörünün gözünü rahatsız etmektedir. Tarla olan alanlarda söz konusu etkiden dolayı yaz araba yolları ve arklar da tam olarak tespit edilememiştir. Görüntüde tarlaların bulunduğu alan çok az yükseklik farkı (en fazla 8 m.) nedeniyle uygun bir stereo etki yaratmamaktadır.

4.2.2. Değerlendirilen detayların karşılaştırılması

Detaylar; ulaşım, binalar ve yerleşim yerleri, bitki örtüsü, su kaynakları, sınırlar, arazi yapısı ve diğer detaylar olarak ana sınıflara ayrılmıştır. Detay sınıfları, 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafları ve 2.5 m. çözünürlüklü pankromatik SPOT 5 uydu görüntüleri kullanılarak detay teşhisi açısından incelenmiştir. Her sınıfa ait detaylara aşağıdaki zorluk derecelerine göre not verilmiştir:

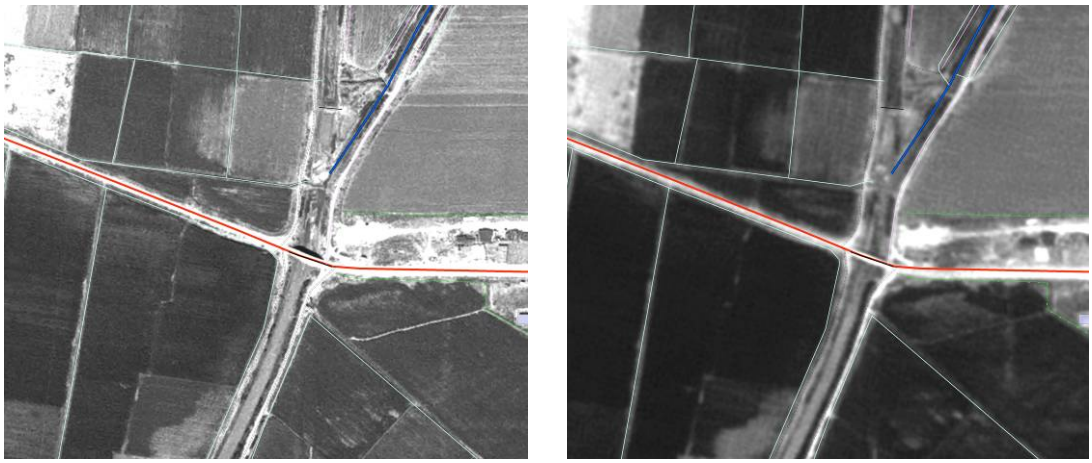
- A: kolay,
- B: muhtemel,
- C: arazi kontrolü gerekli,
- D: zor,
- E: çok zor veya imkânsız.

4.2.2.1. Ulaşım detay sınıfı

Ulaşım sınıfındaki değerlendirme işlemlerinde, özellikle yüzeyi asfalt veya beton kaplamalı 5.5 m.-25 m. genişliğindeki yolların teşhisinde her iki tür görüntüde bir farklılık görülmemektedir (Şekil 4.6). Bu yol güzergahındaki köprü, viyadük gibi yol yapıları da teşhis edilebilmektedir. Yalnız, yol kenarındaki yapıların tespit ve teşhisi problemlidir. Ayrıca aynı genişlikteki stabilize yolların da teşhisi kolaydır.

Tek şeritli stabilize yollar ise tanınabilmekte fakat teşhis edilememektedir. Teşhis ise ancak mevcut eski pafta ile yapılabilmekte arazide kontrolü gerekmektedir (Şekil 4.7).

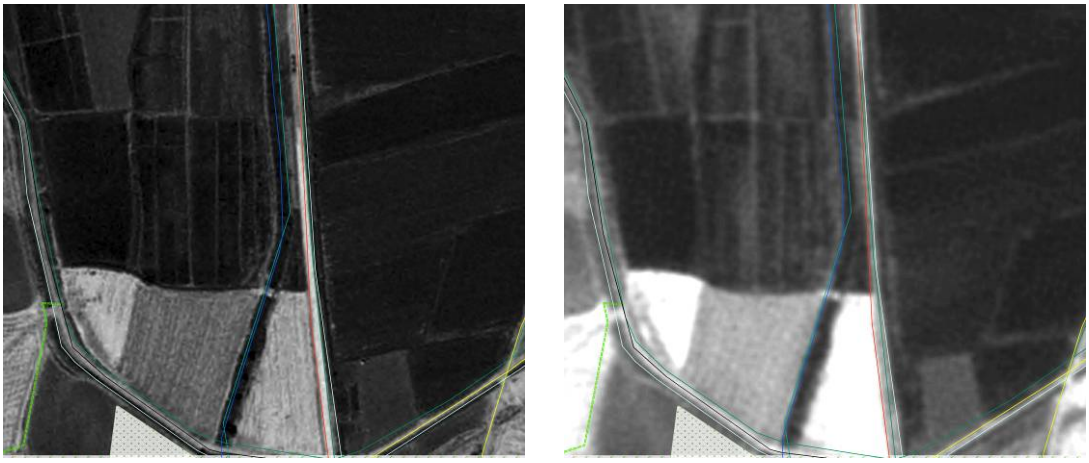
Uçak pistleri rahatlıkla teşhis edilebilmektedir.



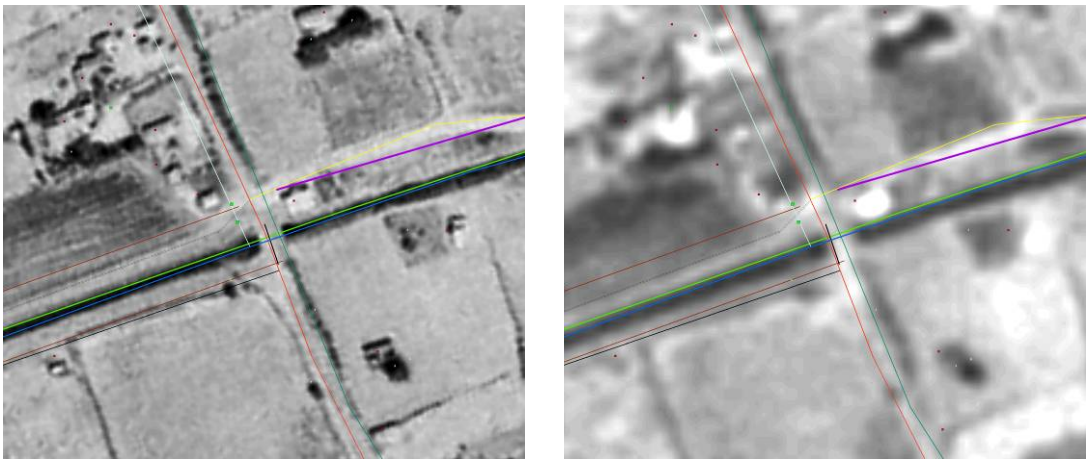
Şekil 4.6 1/35.000 Ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) asfalt kaplama 25 m. genişlikli yol

Daimi araba yolu ve yaz araba yolları tanınabilmekte, fakat teşhisi için arazi kontrolü gerekmektedir. Patikalar tespit dahi edilememektedir.

Viyadükler teşhis edilebilmekte, köprüler ise kaliteli yollar üzerinde kolaylıkla teşhis edilebilirken, daimi araba yolları üzerindekiler ise yardımcı kaynaklar aracılığı ile teşhis edilebilmektedir (Şekil 4.8). Menfezler ve tünellerin teşhisi zor olup, mutlaka arazi kontrolü gerektirmektedir.



Şekil 4.7 1/35.000 Ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) tek şeritli stabilize yol



Şekil 4.8 1/35.000 Ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) stabilize yol üzerinde köprü

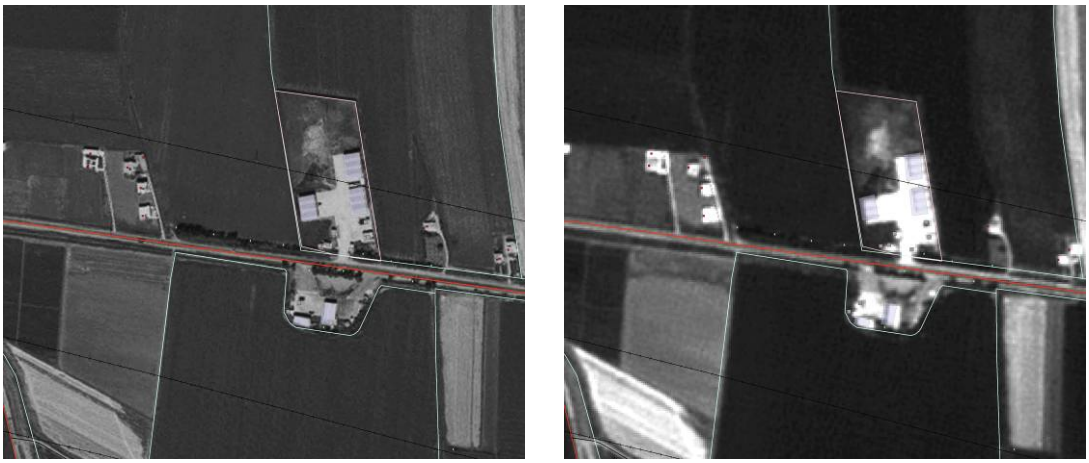
Ulaşım detay sınıfına ilişkin genel değerlendirmeler Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Ulaşım detay sınıfına ilişkin değerlendirme sonuçları

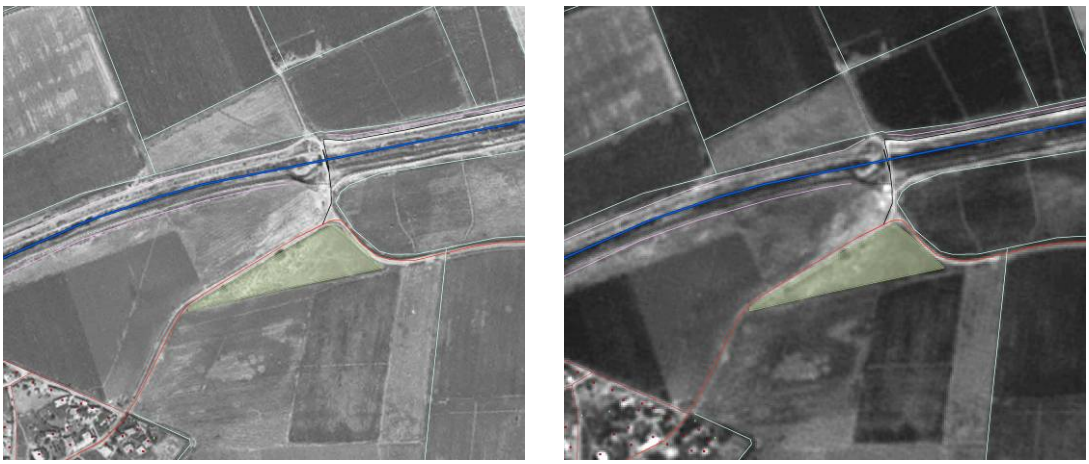
Kategori	Detaylar	Detay Toplama standartları	Yorumlama ve Değerlendirme olanağı (Hava Fotoğrafı)	Yorumlama ve Değerlendirme olanağı (SPOT 5)
Ulaşım	Ekspres yol	25 m. veya daha fazla genişlikte, genelde kenarları engelli olan yol.	A	A
	İki veya daha çok şeritli asfalt, beton vb. kaplama yol	5.5 m. ile 25 m. arasında genişliği olan yol.	A	B
	İki veya daha çok şeritli gevşek yüzeyli (stabilize) yol	5.5 m. ile 25 m. arasında genişliği olan yol.	A	B
	Tek şeritli gevşek yüzeyli yol	3.0 m. ile 5.5 m. arasında genişliği olan yol.	B	C
	Daimi araba yolu ve yaz araba yolu	1.5 m ile 3.0 m. arasında genişliği olan yol.	B	C
	Patika	2.5 m.den daha az genişlikte olan.	C	D
	Yapılmakta olan yol	Her bir yol parçasının görülmesi.	B	C
	Demiryolu (Çift Hat)	İki veya daha çok hatlı demiryolları ve paralel hat çiftleri arasındaki mesafe 15 m. veya daha fazladır.	A	A
	Demiryolu (Tek Hat)	Tek veya çift hatlar ve paralel hat çiftleri arasındaki mesafe 15 m.den azdır.	B	B
	Demiryolu istasyonu	İstasyon binaları.	A	A
	Köprü	Karayolu ve demiryollarının suyolu üzerinden geçtiği yerlerdir.	B	B
	Menfez	Suların Demiryolu ve Karayolunu tahrip etmemesi amacıyla suyun, yolun altından geçirilmesi için ahşap, beton, taş, vb. malzemelerden yapılmış su geçiti.	C	D
	Viyadük	Bir vadi, bir ırmak üstünden bir demir yolunun veya kara yolunun geçişini sağlayan, ayaklar üzerine oturtulmuş yüksek ve uzun köprü.	A	A
	Tünel	Demiryolu ve karayollarını kısaltmak için, araziyi delmek suretiyle açılan üstü kapalı geçit yolu.	B	C
	Uçak Pisti	Hava alanlarında uçakların kalkış ve inişlerini gerçekleştirdiği veya hangarlarına geçiş yaptığı beton yolların sınırları.	A	A
	Karayolu göbek alanı	Hızı azaltarak trafiği yöneltmek amacıyla bir kavşağın içine yerleştirilen çember veya üçgen biçimindeki ada.	A	B

4.2.2.2. Binalar ve yerleşim yerleri detay sınıfı

Nokta binaların tespiti zeminin çok açık tonlu olduğu ve çok sık binaların olduğu yerde zor olmakta, fakat açık alanlarda kolaylıkla tanınıp teşhis edilebilmektedir. Alan binalar ve fabrika gibi yapılar ise çok rahatlıkla teşhis edilebilmektedir (Şekil 4.9). Sınır çizgilerinin çizimi zor olmaktadır.



Şekil 4.9 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) alan ve nokta binalar



Şekil 4.10 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) mezarlık alanı

Yerleşim alanları rahatlıkla sınırları da görülerek teşhis edilebilmektedir. Mezarlıklar ise tanınabilmesine rağmen ancak mevcut raster pafta aracılığı ile teşhis edilebilmiştir (Şekil 4.10).

Binalar ve yerleşim yerleri detay sınıfına ilişkin genel değerlendirmeler Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4 Binalar ve yerleşim yerleri detay sınıfına ilişkin değerlendirme sonuçları

Kategori	Detaylar	Detay Toplama standartları	Yorumlama ve Değerlendirme olanağı (Hava Fotoğrafı)	Yorumlama ve Değerlendirme olanağı (SPOT 5)
Binalar ve Yerleşim Yerleri	Nokta binalar	Herhangi bir kenarı 25 m.den kısa.	A	B
	Alan binalar	Herhangi bir kenarı 25 m.den uzun.	A	B
	Fabrika	75 m. x 75 m. veya daha geniş alanlılar.	A	A
	Yerleşim alanı	Binalar çok sık yerleştiği için gösterimi mümkün olmayan ve bir kenarı 25 m.den geniş alanlar.	A	A
	Mezarlık alanı	Ölmüş insanların gömüldüğü bir kenarı 25 m.den geniş alanlar.	A	A

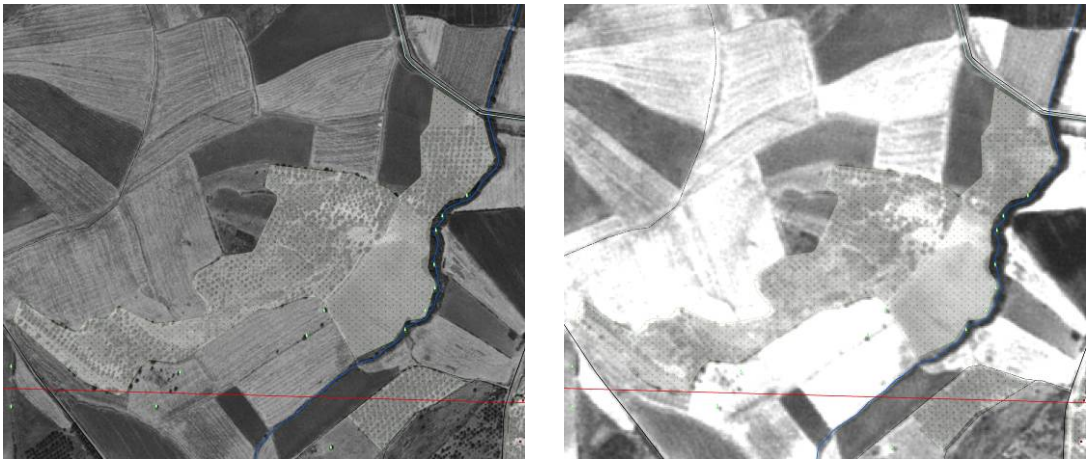
4.2.2.3. Bitki örtüsü ve arazi kullanımı

Çeltik ve ekim alanları teşhis edilebilmekte, ancak ekim alanlarının cinsi konusunda sadece kuru hububat gibi genel çıkarımlar yapılmaktadır. Açık alanlar ve meyve bahçeleri tanımlanabilmekte, ancak meyve cinsleri hakkında bilgi sahibi olunamamaktadır (Şekil 4.11).

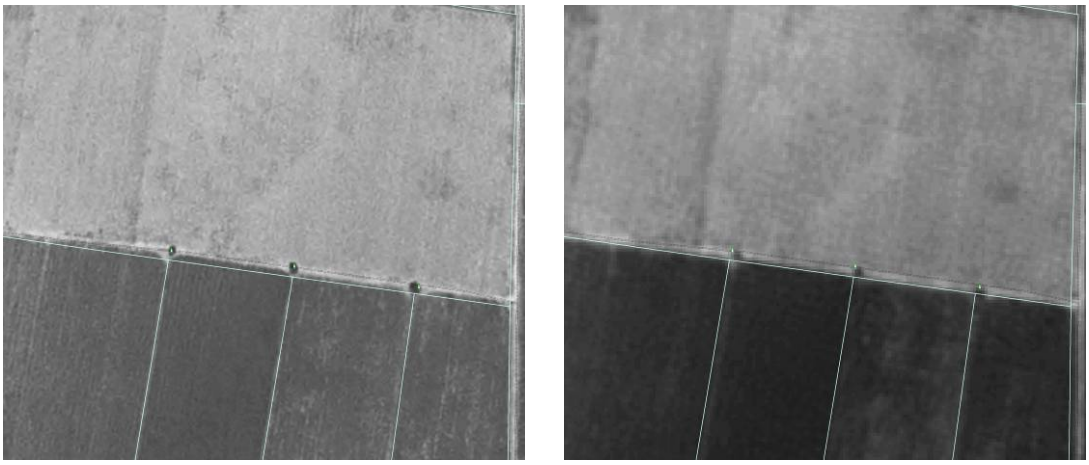
Ormanlık alanlar tanınabilmekte fakat orman cinsleri teşhis edilememektedir. Orman sınırları tam olarak çizilebilmektedir.

Leçelik ve lavlı araziler tanınmakta fakat ikisi birbirinden ayırt edilememektedir. Maden veya taş ocakları da tanınabilmekte fakat teşhis edilememektedir.

Tek ağaçlar ve çalılar ise ancak çok büyük olduklarında tanınabilmektedir (Şekil 4.12).



Şekil 4.11 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) ekili ve meyvelik alan



Şekil 4.12 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) tek ağaç

Bitki Örtüsü ve Arazi Kullanımı detay sınıfına ilişkin genel değerlendirmeler Çizelge 4.5'de verilmiştir.

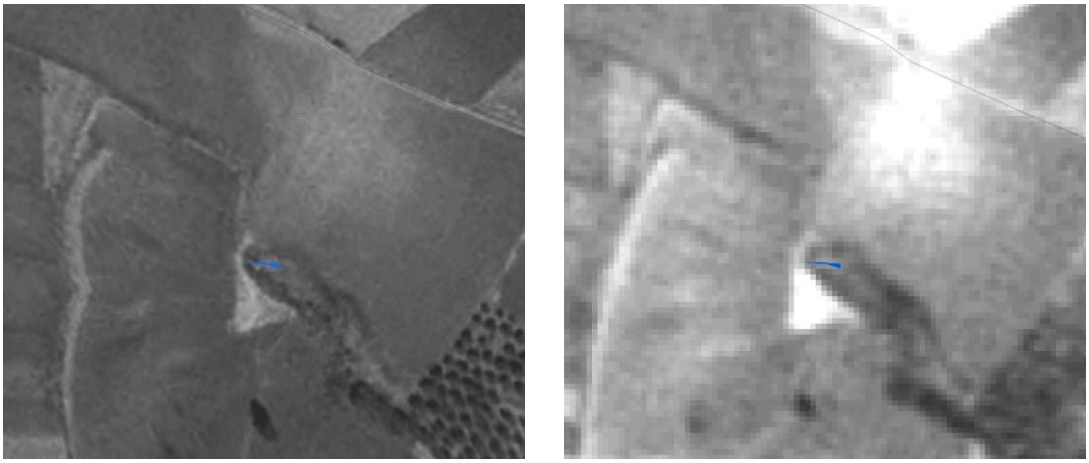
Çizelge 4.5 Bitki örtüsü ve arazi kullanımı detay sınıfına ilişkin değerlendirme sonuçları

Kategori	Detaylar	Detay Toplama standartları	Yorumlama ve Değerlendirme olanağı (Hava Fotoğrafı)	Yorumlama ve Değerlendirme olanağı (SPOT 5)
Bitki Örtüsü ve Arazi Kullanımı	Çeltik tarlası	Çeltik pirinci.	B	C
	Ekim alanı	Kuru çeltik pirinci, meyve, çim, ananas vb.	B	B
	Açık alan	Yapılaşmış alan, açıklık, park vb.	A	B
	Meyve bahçesi	Elma, armut, üzüm vb.	B	B
	Geniş yapraklı orman	Geniş yapraklı orman.	B	C
	İğne yapraklı orman	İğne yapraklı orman.	B	C
	Tek ağaç veya çalı	Tek başına bulunan ve büyük görüntüsüyle çevresinde tanınıp röper teşkil eden ağaç ve çalı.	B	C
	Leçelik arazi	Uzunluğu ve genişliği 250 metreden fazla volkanik, birbirinin üzerine yığılmış, aralarında derin yarık ve çukurlar bulunan büyüklü küçüklü kesif kayalık ve taşlıklar.	B	B
	Lavlı arazi	Uzunluğu ve genişliği 250 metreden fazla yanardağların ağzından erimiş olarak akan ve soğuyarak donan maddelerin meydana getirdiği arazi.	B	C
	Maden veya taş ocağı	Maden veya taş ocağı.	A	C

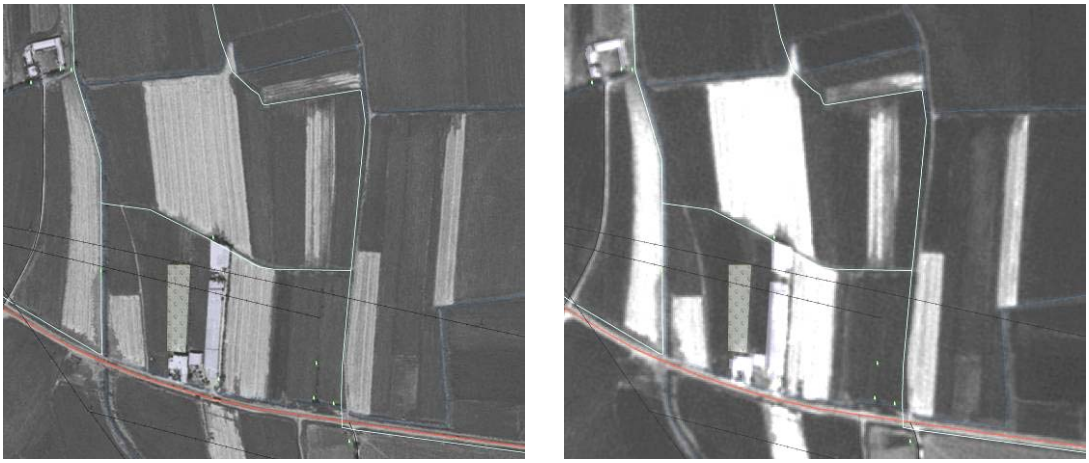
4.2.2.4. Su kaynakları

Pınar ve çeşmelerin mevcut basılı paftası olmasına rağmen tanıması zor olmakta, teşhisi ise neredeyse imkânsız görünmektedir (Şekil 4.13).

Bataklık alanlar zor teşhis edilmektedir. Göl, geniş kanallar ve geniş dereler rahatlıkla teşhis edilebilmektedir. Dar kanal ve basit ırmakların teşhisinde zorluklar yaşanmaktadır. Kanaletleri tanımak ve teşhis etmek imkânsız olarak değerlendirilmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.13 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) pınar



Şekil 4.14 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) ark ve kanaletler

Su kaynakları detay sınıfına ilişkin genel değerlendirmeler Çizelge 4.6'de verilmiştir.

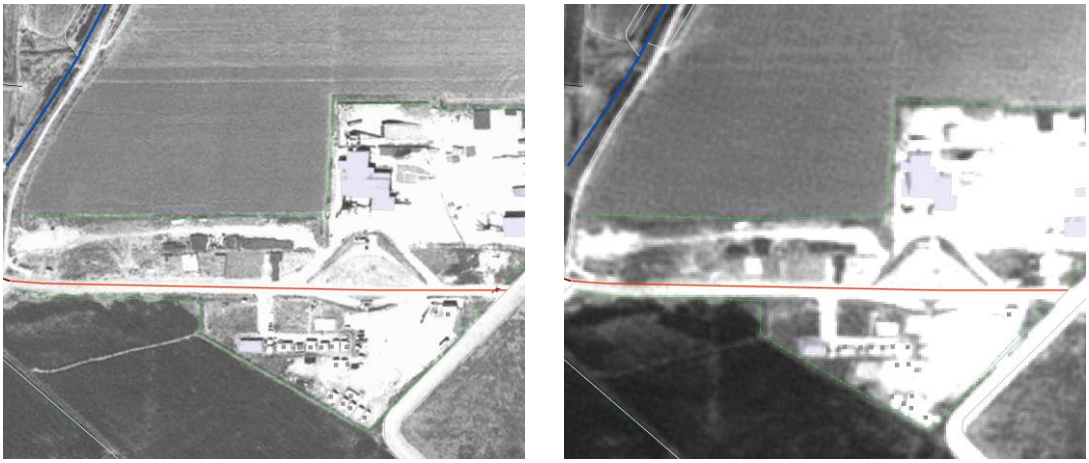
Çizelge 4.6 Su Kaynakları detay sınıfına ilişkin değerlendirme sonuçları

Kategori	Detaylar	Detay Toplama standartları	Yorumlama ve Değerlendirme olanağı (Hava Fotoğrafı)	Yorumlama ve Değerlendirme olanağı (SPOT 5)
Su Kaynakları	Pınar	Doğal olarak suyun yüzeye çıktığı, bazen ilkel olarak kullanılmaya uygun hale getirilmiş su kaynağı.	C	E
	Çeşme	İçilebilen suların düzen altına alınarak taş, beton vb. malzemelerden yapılmış hazneli veya haznesiz, muhtelif cins yalaklı veya yalaksız, musluktan veya oluktan akıtıldığı su yeri.	B	D
	Bataklık	75 m. x 75 m. veya daha geniş alanlılar.	B	C
	Geniş ırmak	10 m. veya daha geniş olanlar.	A	B
	Basit çizgi ırmak	10 m.den daha az geniş olanlar.	B	C
	Ark	Küçük çapta bölgesel sulama ve işletme amaçlarıyla, toprağı kazarak açılmış suyolu.	B	C
	Kanalet	Sulama amacıyla beton vb. malzemeden yapılmış ve ayaklar üzerine yerleştirilmiş tek veya iki hattan oluşan su yolu.	B	D
	Dar Kanal	Büyük çapta sulama amacıyla, belli esaslara uygun açılmış, genişliği 10 m. den az, yapısal suyolu.	A	B
	Geniş Kanal	Sulama veya kurutma amacıyla belli esaslara uygun olarak açılmış, en az 10 m. genişliğinde yapısal su yolu.	A	A
	Göl, gölet vb.	25 m x 25 m. veya daha geniş alanlılar.	A	A

4.2.2.5. Sınırlar

Genel olarak tüm sınırların uydu görüntüsü üzerinde tanınması zor olmaktadır. Özellikle tel ve tahta çitleri tanımak ve teşhis etmek çok düzgün bir sınır olmadığı takdirde mümkün görülmemektedir (Şekil 4.15).

Sınırlar detay sınıfına ilişkin genel değerlendirmeler Çizelge 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.15 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) tel çit

Çizelge 4.7 Sınırlar detay sınıfına ilişkin değerlendirme sonuçları

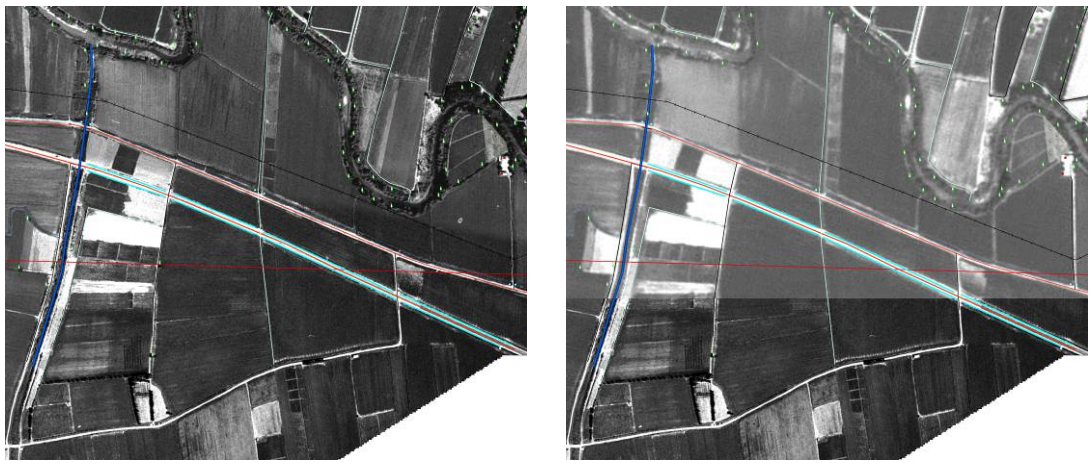
Kategori	Detaylar	Detay Toplama standartları	Yorumlama ve Değerlendirme olanağı (Hava Fotoğrafı)	Yorumlama ve Değerlendirme olanağı (SPOT 5)
Sınırlar	Yeşil Çit	Uzunluğu 50 m.den büyük, tarla, bağ ve bahçeleri korumak amacıyla bunların sınırlarında dikilmek suretiyle veya tabiatta kendiliğinden mevcut böğürtlen vb. bitkilerden meydana gelen engeldir.	B	B
	Çit	Uzunluğu 50 m.den büyük, tarla, bağ ve bahçeleri korumak amacıyla, bunların sınırlarında yere kazık çakmak suretiyle dal, çalı vb. den yapılmış 0.50 m. den yüksek engel.	C	D
	Tel Çit	Uzunluğu 50 m.den büyük, her hangi bir alanı sınırlamak ve serbest girişi önlemek amacıyla tel veya demirden tesis edilmiş engel.	C	D
	Duvar	Uzunluğu 50 m.den büyük, bağ, bahçe, bina, tarla, mezarlık vb. ni sınırlandırmak amacıyla, taş, tuğla, beton, kerpiç gibi malzemelerden yapılmış 1 m. den daha yüksek engel.	B	C

4.2.2.6. Arazi yapısı ve diğer detaylar

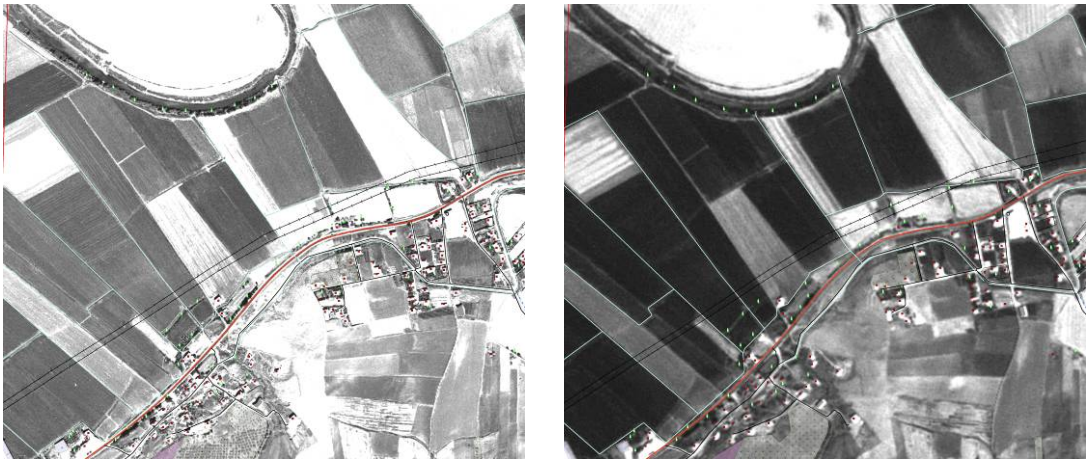
Yarma ve dolgular görüntü üzerinde tanınıp teşhis edilebilmekte, fakat sınır hatları net olarak değerlendirilememektedir. Hendekleri tanıma dahi zor olmakta, yol kenarındaki küçük setlerle karıştırılmaktadır. Toprak setler de ancak çok büyük olduklarında teşhis edilebilmektedir (Şekil 4.16).

Elektrik hatları ise sadece arazide uygun kontrast olduğunda ve hatlar 154 kv. ve üzeri olduğunda tanınabilmektedir (Şekil 4.17).

Arazi yapısı ve diğer detaylar sınıfına ilişkin genel değerlendirmeler Çizelge 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.16 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) yarma ve dolgular



Şekil 4.17 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafı (solda) ve SPOT 5 uydu görüntüsü (sağda) elektrik hattı (34.5 kv)

Çizelge 4.8 Arazi yapısı ve diğer detaylar sınıfına ilişkin değerlendirme sonuçları

Kategori	Detaylar	Detay Toplama standartları	Yorumlama ve Değerlendirme olanağı (Hava Fotoğrafı)	Yorumlama ve Değerlendirme olanağı (SPOT 5)
Arazi yapısı ve diğer detaylar	Yarma	Uzunluğu veya genişliği 25 m.den büyük, demiryolu ile karayolunu kısaltmak, eğimini azaltmak için araziyi yararak meydana getirilen geniş alan.	A	B
	Dolgu	Uzunluğu veya genişliği 25 m.den büyük, demiryolu ve karayolunu kısaltmak, eğimini azaltmak için, araziyi doldurarak meydana getirilen yapı.	A	B
	Hendek	Arazide insan eliyle açılmış en az 250 m. uzunluğunda, 1.5 m. derinliğinde 3 m. genişliğinde sulu veya susuz dar ve uzun kazıntılar.	B	C
	Toprak Set	Uzunluğu veya genişliği 25 m. den büyük, dere, ırmak, nehir, göl ve kanal gibi su kenarlarında taşmaları önlemek amacıyla yapılmış ve bazen de taşla pekiştirilmiş, üzerinden araba geçebilen toprak yığını.	B	B
	Enerji Nakil Hattı	34.5 kv. ve daha fazla voltajda elektrik enerjisini iletmeye mahsus, havai hat.	B	D
	Telefon Hattı	Yerleşim yerleri arasında telefon irtibatını sağlayan telli hat.	D	E

4.2.3. Değerlendirme sonuçlarının irdelenmesi

Değerlendirme sonuçlarının her iki kaynakta gerçek alanın ne kadarını yansıttığını belirlemek için yorumlama ve değerlendirme olanaklarındaki harflere, gerçek durumu karşılama yüzdeleri olarak A: 100; B: 80; C: 60; D: 30; E: 10 değerleri verilerek Çizelge 4.9 oluşturulmuştur. Hava fotoğrafı ve uydu görüntüsü grubu arasında anlamlı bir fark olup olmadığını % 5 anlam düzeyinde test etmek amacıyla eşlenik t-testi uygulanmıştır. Eşlenik t-testine ilişkin bilgi aşağıda sunulmuştur:

Eşlenik t-testinde; aynı ya da benzer denekler üzerinde birbirinden farklı iki işlemin uygulanması sonucu elde edilen verilere eşlenik çiftler denir. Eşlenik çift örneklerde ikinci rakamlar birincilerden çıkarılarak bir fark serisi oluşturulur. Fark serisini D ile gösterirsek, bu serinin oluşturduğu ana kütlenin ortalaması μ_D ve standart sapması σ_D olur. Sınırlı sayıda eşlenik çift üzerinden hesaplanan D, μ_D'nin ve S_D, σ_D'nin nokta tahminidir. Fark serisinin ortalaması:

$$\overline{D} = \frac{\sum D}{n} \tag{4.1}$$

eşitliği ile hesaplanırken, standart sapması,

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum (D - \overline{D})^2}{n-1}} \tag{4.2}$$

veya

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum D - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n-1}} \tag{4.3}$$

formüllerinden biri ile hesaplanır.

$$t = \frac{\overline{D} - \mu_D}{S_{\overline{D}}}, \quad \mu_D=0 \text{ olduğundan } t = \frac{\overline{D}}{S_{\overline{D}}} = \frac{\overline{D}}{\frac{S_D}{\sqrt{n}}} \tag{4.4}$$

Eşlenik çift örneklerin testinde kurulabilecek muhtemel hipotez çiftleri şunlardır:

Sıfır hipotezi (H_0), $H_0 : \mu_D = 0$

Karşı hipotez (H_1), $H_1 : \mu_D \neq 0$

H_0 ret kararı $|t_0| > t_{\alpha/2;\,(n-1)}$'dir.

Çizelge 4.9 Değerlendirilen detayların araziyi temsil oranı

Kategori	Detaylar	Yorumlama ve kıymetlendirme olanağı (Hava Fotoğrafi)	Hava Fotoğrafi Araziyi temsil oranı (%)	Yorumlama ve kıymetlendirme olanağı (SPOT 5)	SPOT 5 Araziyi temsil oranı (%)
Ulaşım	Ekspres yol	A	100	A	100
	İki veya daha çok şeritli asfalt,	A	100	B	80
	İki veya daha çok şeritli gevşek	A	100	B	80
	Tek şeritli gevşek yüzeyli yol.	B	80	C	60
	Daimi araba yolu ve yaz araba yolu	B	80	C	60
	Patika	C	60	D	30
	Yapılmakta olan yol	B	80	C	60
	Demiryolu (Çift Hat)	A	100	A	100
	Demiryolu (Tek Hat)	B	80	B	80
	Demiryolu istasyonu	A	100	A	100
	Köprü	B	80	B	80
	Menfez	C	60	D	30
	Viyadük	A	100	A	100
	Tünel	B	80	C	60
	Uçak Pisti	A	100	A	100
	Karayolu göbek alanı	A	100	B	80
Binalar ve Yerleşim Yerleri	Nokta binalar	A	100	B	80
	Alan binalar	A	100	B	80
	Fabrika	A	100	A	100
	Yerleşim alanı	A	100	A	100
	Mezarlık alanı	A	100	A	100
Bitki Örtüsü ve Arazi Kullanımı	Çeltik tarlası	B	80	C	60
	Ekim alanı	B	80	B	80
	Açık alan	A	100	B	80
	Meyve bahçesi	B	80	B	80
	Geniş yapraklı orman	B	80	C	60
	İğne yapraklı orman	B	80	C	60
	Tek ağaç veya çalı	B	80	C	60
	Leçelik arazi	B	80	B	80
	Lavlı arazi	B	80	C	60
	Maden veya taş ocağı	A	100	C	60
Su Kaynakları	Pınar	C	60	E	10
	Çeşme	B	80	D	30
	Bataklık	B	80	C	60
	Geniş ırmak	A	100	B	80
	Basit çizgi ırmak	B	80	C	60
	Ark	B	80	C	60
	Kanalet	B	80	D	30
	Dar Kanal	A	100	B	80
	Geniş Kanal	A	100	A	100
	Göl, gölet vb.	A	100	A	100
Sınırlar	Yeşil Çit	B	80	B	80
	Çit	C	60	D	30
	Tel Çit	C	60	D	30
	Duvar	B	80	C	60
Fizyoğrafya ve diğer arazi detayları	Yarma	A	100	B	80
	Dolma	A	100	B	80
	Hendek	B	80	C	60
	Toprak Set	B	80	B	80
	Enerji Nakil Hattı	B	80	D	30
	Telefon Hattı	D	30	E	10

Burada H_0 hipotezi olarak, 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafı ve SPOT 5 uydu görüntülerinden yapılan değerlendirmelerin %5 anlam seviyesinde farklılık göstermediğini söyleyebiliriz. Bu durumu SPSS istatistik yazılımında test edecek olursak Çizelge 4.10, 4.11'deki sonuçları elde ederiz. Çizelge 4.11'de, "df" serbestlik derecesi olup "*n*-1"e eşittir; $t_{\alpha/2}$, t-testi dağılım tablosundan df=50 ve $\alpha/2=0.025$ değerlerine bakılarak alınmıştır.

Elde edilen sonuçta, $|t_0(8.233)|>t_{\alpha/2;\ (50)}$ (2.009) olduğundan H_0 hipotezi ret edilir. Bu durum, 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları ve SPOT 5 uydu görüntüleri arasında 1:25.000 ölçekli harita üretimi amacıyla yapılan değerlendirmeler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.10 Eşlenik çiftlerin istatistikleri

Eşlenik Çift		Ortalama	Sayı	Standart Sapma	Ortalama Standart Hata	Korelasyon
Çiftler	Hava Fotoğrafı	85,29	51	15,146	2,121	0,836
	SPOT5	68,43	51	24,688	3,457	

Çizelge 4.11 Eşlenik çiftlerin testi

	Çiftlerin Farkları					t	df	$t_{\alpha/2}$
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama Standart Hata	Farkın %95 Güven Aralığı				
				Alt	Üst			
Hava Fotoğrafı SPOT5	16,863	14,627	2,048	12,749	20,977	8,233	50	2,009

4.2.4. Değerlendirmenin nicelik olarak karşılaştırılması

1:35.000 ölçekli stereo hava fotoğrafları ve SPOT 5 2.5 m çözünürlüklü stereo uydu görüntülerinden yapılan değerlendirme sonucunda elde edilen vektör veriler nicelik olarak Çizelge 4.12'de karşılaştırılmıştır. Çizelge 4.12'de nokta detaylar "adet", çizgi detaylar "km" ve alan detaylar "dönüm" cinsinden verilmiştir.

Çizelge 4.12 incelendiğinde; SPOT 5 uydu görüntülerinin 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarını detay değerlendirmesi yönünden karşılama oranı %77 olarak görülmektedir. Bölüm 4.2.3.'te yapılan çalışmada da; 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarının ortalama %85 oranında arazinin detay gereksinimini karşılayabildiği, SPOT 5 uydu görüntülerinde ise bu oranın %68 olduğu görülmektedir. Karşılama yüzdeleri birbirine bölündüğünde (%68 / %85) bu oranın %80 olduğu görülmekte olup, yaklaşık %3'lük bir sapmayla Bölüm 4.2.3.'teki sonuçları desteklediği mütalaa edilmektedir.

Çizelge 4.12 Değerlendirmenin nicelik olarak karşılaştırılması

Detay \ Görüntü		1:35.000 Ölçekli Hava Fotoğrafı	SPOT 5 Uydu Görüntüsü	SPOT 5 / Hava Foto
Nokta	Bitki Örtüsü	1315	980	0.75
	Endüstriyel	34	25	0.74
	Su	24	14	0.58
	Tesisler	34	28	0.82
	Ulaşım	850	610	0.72
	Yerleşim	2318	1256	0.54
Çizgi	Arazi Yapısı	64.2	42.5	0.66
	Sınırlar	50.3	34.6	0.69
	Su	1223.1	1104.2	0.90
	Tesisler	34.0	23.0	0.68
	Ulaşım	465.3	411.4	0.88
	Yerleşim	0.7	0.5	0.71
Alan	Bitki Örtüsü	430.3	392.1	0.91
	Endüstriyel	29.0	25.0	0.86
	Su	287.2	261.3	0.91
	Yerleşim	716.8	680.4	0.95
			ORTALAMA	0.77

4.3. 1:25.000 Ölçekli Topoğrafik Harita Üretimi Maliyet Analizi

Maliyet analizi amacıyla 1 adet 1:100.000 ölçekli paftanın kapsadığı alan örnek olarak seçilmiştir. Bunun sebebi, fotogrametrik nirengi işleminde blok düzgün olacaksa (dört köşeli) 1:100.000 ölçekli paftanın kapsadığı alanın birim alan seçilmesi ve bu alanın köşelerine nirengi noktası atılmasıdır. Söz konusu alan yaklaşık 2400 km^2 olup, 16 adet 1:25.000 ölçekli pafta içermektedir. 1:100.000 ölçekli paftanın kapsadığı alanda 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları ile SPOT 5 uydu görüntülerinden 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritanın üretim maliyetlerinin analizi yapılacaktır.

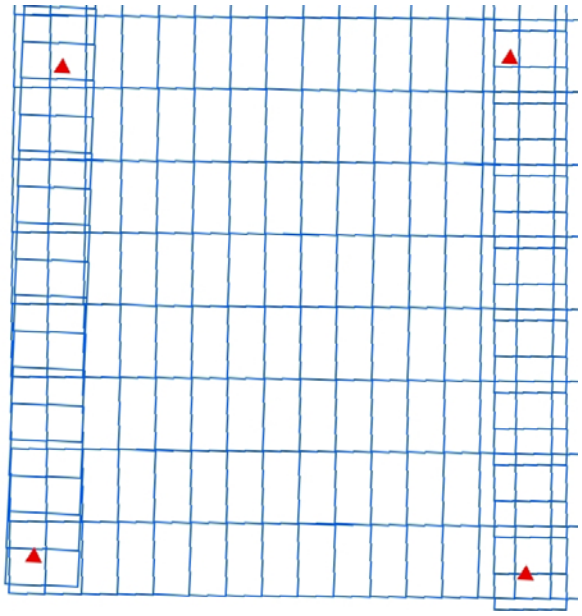
Maliyet hesabında; nirengi noktası tesis ve ölçümü, hava fotoğrafı, uydu görüntüsü, fotogrametrik nirengi, fotogrametrik değerlendirme ve arazi bütünlemesine ilişkin tüm maliyetler dikkate alınacaktır.

4.3.1. Nirengi noktası maliyet analizi

Çalışmada kullanılan 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarının ve SPOT 5 uydu görüntülerinin yöneltilmesi için gerekli nirengi tesis ve ölçüm maliyetleri sırasıyla aşağıda verilmiştir.

Bölgenin 1:100.000 bazında tek blokta uçuşu yapılabilir. Kinematik GPS yöntemiyle bölgenin uçuşu yapıldığında, nirengi dağılımı Şekil 4.18'de gösterilmiştir. İhtiyaç duyulan toplam nirengi sayısı 4'dür. Uçuş öncesi bu nirengilerin her birinin yerde işaretinin yapılarak GPS ile ölçülmesi veya eski nirengiler bulunularak işaretlenmesi gereklidir. Her nirenginin maliyetini 100 YTL (günde 2 nirengi) olarak düşünürsek nirengi maliyeti 4x100=400 YTL olacaktır.

Bir SPOT 5 uydu görüntüsü çifti için 8 adet YKN'nin GPS ile ölçümü yeterli olacaktır. Söz konusu YKN'leri yer yüzeyi üzerinde işaretlemek görüntü konumsal çözünürlüğünün 2.5 m olması nedeniyle mümkün görülmemektedir. Bu nedenle, YKN'ler görüntü üzerinde görülebilen arazi detayları üzerinde GPS ölçümü yapmak şeklinde olacak ve bir nirengi noktası maliyeti 50 YTL'ye düşecektir. Bu durumda toplam nirengi maliyeti 8x50=400 YTL olacaktır.



Şekil 4.18 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları için nirengi dağılımı

4.3.1. Hava fotoğrafları ve uydu görüntüsü maliyet analizi

Bu bölümde, 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üretiminde kullanılan 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları ile 2.5 m çözünürlüklü SPOT 5 uydu görüntülerinin maliyetleri analiz edilmiştir. Hava fotoğraflarına ilişkin hesaplamalarda uçuşu yapılacak bölgenin, kalkış yapılan havaalanına 30 dakika mesafede olduğu, 1 ABD dolarının 1.40 YTL ve 1 Avronun 2.00 YTL olduğu farz edilmiştir. Her bir görüntüye ilişkin ayrıntılı hesaplamalar sırasıyla aşağıda verilmiştir.

%60 ileri ve % 20 yan bindirmeli 23x23 cm'lik ve "Ö" ölçeğinde bir fotoğrafın aktif alanı (FA) Eşitlik 4.5 ile hesaplanabilir. Görüntü alınacak bölgenin alanına (Görüntü alanı: GA) göre toplam fotoğraf sayısı (FS) Eşitlik 4.6 ile hesaplanabilir. Bir rulo hava filminin yaklaşık fiyatı (FM) 1800 dolar, bir rulo filmin foto-laboratuar maliyeti (FLM) 885 YTL ve bir filmin tarama maliyeti (FTM) 16 YTL'dir (www.hgk.mil.tr). Uçağın bir saatlik uçuş maliyeti ise 4500 YTL'dir. Uçuş esnasında yaklaşık 30 saniyede bir resim alınmaktadır. Bu durumda toplam maliyet (TM) Eşitlik 4.7 hesaplanabilir. Burada dikkat edilmesi gereken konu bir rulo hava filmi ile

yaklaşık 250 adet hava fotoğrafı alınabileceği, ancak 250'den az fotoğraf alınması durumunda da filmin tamamıyla kullanılmış kabul edilerek hesaplamanın yapılmasının gerektiğidir.

FA=(100-60)/100 x 0.23 x Ö x (100-(20+20)/100) x 0.23 x Ö (4.5)

FS=GA/FA (4.6)

TM=(1+FSx30/3600)x4500+FSxFTM+(FM+FLM)xTAMSAYI(FS/250+1) (4.7)

Burada;

FA : Fotoğraf Aktif Alanı (km^2)

Ö : Ölçek

GA : Görüntü Alınacak Bölge Alanı (km^2)

TM : Toplam Maliyet

FS : Fotoğraf Sayısı

FTM : Fotoğraf Tarama Maliyeti

FM : Rulo Hava Film Maliyeti

FLM : Rulo Hava Film Foto-laboratuar Maliyetidir.

SPOT 5 uydu görüntülerinin fiyatı internetten (Şekil 4.19) alınmıştır (http://www.spotimage.fr). Fiyatlar Euro/görüntü'dür. SPOT görüntülerinin büyüklüğü yaklaşık 60 km.x 60 km. olup toplam görüntü alanı 3600 km^2'dir. Bu durumda toplam maliyet Eşitlik 4.8 ile hesaplanabilir. Burada da dikkat edilmesi gereken konu bir görüntünün en küçük 1/8 ve katları oranında satın alınabileceği, bundan daha küçük istekler için bile 1/8 görüntü ücretinin ödenmesi gerektiği ve stereo görüntü fiyatının mono görüntü fiyatının ortalama 1.7 katı olduğudur.

TM = GA/3600 x SGF x 1.7 x 2.00 YTL (4.8)

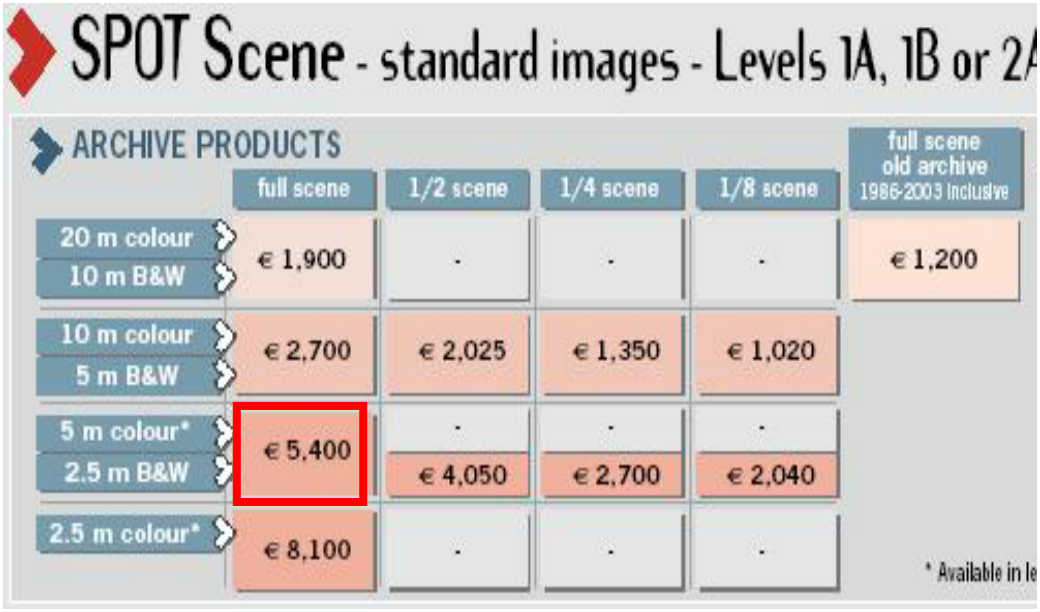
Burada;

GA : Görüntü Alınacak Bölge Alanı (km^2)

TM : Toplam Maliyet

SGF : SPOT Görüntü Fiyatı (Şekil 10)

1 Avro : 2.00 YTL'dir.



Şekil 4.19 SPOT uydu görüntüsü fiyatları

4.3.2. 1:25.000 ölçekli pafta değerlendirme maliyeti

Hesaplamalarda bir operatör maliyeti 70 YTL/gün ve bir mühendis maliyeti 110 YTL/gün kabul edilerek 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları ve SPOT 5 uydu görüntüleri için değerlendirme maliyeti sırasıyla aşağıda verilmiştir.

- Öncelikli olarak hava fotoğraflarının fotogrametrik nirengi işlemleri yapılacaktır. Bir operatör günde yaklaşık 20 fotoğrafın ölçümünü yapabilmektedir. 1:100.000 ölçekli bir pafta alanı %60 ileri, %20 yan bindirmeli 154 adet 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafı ile kapatılabilmektedir.

Fotogrametrik Nirengi Ölçüm Süresi =154/20=8 gün

Operatör Maliyeti =8 gün x 70 YTL/gün =560 YTL

Ölçüm sonrası 1 mühendisin dengeleme ve kontrol işlemleri için her blokta bir gün çalışması gerekmektedir.

Blok sayısı = 1 => Müh.Mal.=1 gün x 110 YTL/gün =110 YTL

Toplam Fotogrametrik Nirengi Maliyeti = 560+110=670 YTL

1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarında orta zorlukta bir arazide bir operatör günde ortalama 15 km^2 değerlendirme yapabilmektedir.

Değerlendirme Süresi = 2400/15=160 gün

Operatör Maliyeti =160 gün x 70 YTL/gün =11.200 YTL

- SPOT 5 uydu görüntüleri için maliyet aşağıdadır.

Günde bir operatör ortalama 2 stereo çiftin ölçümünü gerçekleştirebilmektedir.

Fotogrametrik Nirengi Ölçüm Süresi =1/2=0.5 gün

Operatör Maliyeti=0.5 gün x 70 YTL/gün =35 YTL

Ölçüm sonrası bir mühendisin dengeleme ve kontrol işlemleri için her blokta 0.5 gün çalışması gerekmektedir.

Blok sayısı = 1 => Müh.Mal.=0.5 gün x110 YTL/gün =55 YTL

Toplam Fotogrametrik Nirengi Maliyeti = 35+55=90 YTL

SPOT uydu görüntülerinde orta zorlukta bir arazide bir operatör günde ortalama 15 km^2 değerlendirme yapabilmektedir.

Değerlendirme Süresi = 2400/15=160 gün

Operatör Maliyeti=160 gün x 70 YTL/gün =11.200 YTL

4.3.3. Arazi bütünleme maliyeti

1:35.000 ölçekli stereo hava fotoğraflarından üretilmiş, orta yoğunlukta bir adet 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritanın arazi bütünlemesi süresi ortalama 6 gün olarak belirlenmiştir. Gerçek arazinin detaylarının %85'inin değerlendirilebildiği öngörülen hava fotoğraflarında 6 gün olarak belirlenen arazi bütünlemesi, SPOT 5 uydu görüntülerinden yapılan değerlendirmede söz konusu oranın yaklaşık %70 olması nedeniyle 12 gün olacaktır. Bütünleme ekibi, biri şoför olmak üzere toplam üç personel, bir arazi aracı ve bütünleme aletlerinden oluşmaktadır. Hesaplamada; bir personelin maliyeti 70YTL/gün, arazi aracının fiyatı 40.000 YTL, bütünleme aletlerinin fiyatı 20.000 YTL, aşınma süresinin 10 yıl, araç bakım giderlerinin 300YTL/yıl, motorinin 3 YTL/litre, aracın günde 100 km yol yaptığı ve aracın 100 km de 8 litre motorin yaktığı kabul edilecektir.

- 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları için bütünleme maliyetleri aşağıda verilmiştir.

Personel maliyeti=3 (personel)x 70 (YTL/gün) x 6 (gün)=1.260 YTL

Arazi aracı aşınma payı=(40.000 (YTL) / 10 (yıl) + 300 (YTL/yıl))/365 (gün)≈12 YTL/gün → 6 (gün) x 12 (YTL/gün)=72 YTL

Yakıt maliyeti= 8 (litre/gün) x 3 (YTL/litre)=24 YTL/gün → 6 (gün) x 24 (YTL/gün) =144 YTL

Bütünleme aleti maliyeti=20.000 (YTL) / 10 (yıl) / 365 (gün)≈6 YTL/gün → 6 (gün) x 6 (YTL/gün)=36 YTL

Toplam Maliyet= personel maliyeti+ arazi aracı aşınma payı+ yakıt maliyeti+ Bütünleme aleti maliyeti=1.260 + 72 + 144 + 36=1.512 YTL

2.400 km^2 alan 16 adet 1/25.000 ölçekli pafta kapsadığı için toplam maliyet: 16x1.512=24.192 YTL olarak hesaplanır.

- SPOT 5 uydu görüntüleri için bütünleme maliyetleri aşağıda verilmiştir.

Personel maliyeti=3 (personel)x 70 (YTL/gün) x 12 (gün)=2.520 YTL

Arazi aracı aşınma payı=(40.000 (YTL) / 10 (yıl) + 300 (YTL/yıl))/365 (gün)≈12 YTL/gün → 12 (gün) x 12 (YTL/gün)=144 YTL

Yakıt maliyeti= 8 (litre/gün) x 3 (YTL/litre)=24 YTL/gün → 12 (gün) x 24 (YTL/gün) =288 YTL

Bütünleme aleti maliyeti=20.000 (YTL) / 10 (yıl) / 365 (gün)≈6 YTL/gün → 12 (gün) x 6 (YTL/gün)=72 YTL

Toplam Maliyet= personel maliyeti+ arazi aracı aşınma payı+ yakıt maliyeti+ Bütünleme aleti maliyeti=2.520 + 144 + 288 + 72=3.024 YTL

2.400 km^2 alan 16 adet 1/25.000 ölçekli pafta kapsadığı için toplam maliyet: 16x3.024=48.384 YTL olarak hesaplanır.

4.3.4. Toplam maliyet

Maliyet hesabında kullanılan bütün kalemler toplanarak bir adet 1:100.000 ölçekli paftayı kapsayan yaklaşık 2400 km^2'lik bir alanın 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritasının üretiminin maliyetleri Çizelge 4.13'de verilmiş olup parantez içindeki değerler üretim süreleridir.

Çizelge 4.13 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritanın üretim maliyetleri

Maliyet / Görüntü	Nirengi Noktası	Görüntü	Değerlendirme	Arazi Bütünlemesi	Toplam	Birim (km^2/ YTL)
1:35.000 Ölçekli Hava Fotoğrafı	400 YTL (2 Gün)	16.162 YTL	11.870 YTL (169 Gün)	24.192 YTL (96 Gün)	52.624 YTL (267 Gün)	22
SPOT 5 Uydu Görüntüsü	400 YTL (2 Gün)	12.240 YTL	11.290 YTL (161 Gün)	48.384 YTL (192 Gün)	72.314 YTL (355 Gün)	30

Çizelge 4.13 incelendiğinde; SPOT 5 uydu görüntüleri için görüntü maliyeti ve değerlendirme maliyeti düşük olmasına rağmen, arazi bütünlemesi nedeniyle birim maliyetlerde 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından %32 oranında fazladır. Söz konusu maliyet artışı nedeniyle, SPOT 5 uydu görüntüsü kullanıcılarının arazi bütünlemesi maliyetini yardımcı kaynak veriler (mevcut topoğrafik haritalar, yerleşim yerlerinde yüksek çözünürlüklü görüntüler vb.) kullanarak asgari seviyeye indirmeye çalışmaları gerekmektedir.

4.4. Tartışma

Geometrik doğruluk sonuçları incelendiğinde; yaklaşık olarak 10 adet 1/25.000 ölçekli raster paftadan seçilen YKN'ler kullanılarak yatayda ortalama ±7 m. hata ile; fotogrametrik bloktan seçilen YKN'ler kullanılarak yatayda ortalama ±3.5 m. hata ile yöneltme yapılabileceği görülmektedir. Nokta sayısını 10 adetten fazla artırmanın geometrik doğruluğu çok fazla etkilemediği dikkati çekmektedir. Nokta sayısı 10 ve daha az rakamlara düştüğü zaman geometrik doğruluk, nokta dağılımına ve noktalardaki yerel hatalara bağımlı hale gelmektedir.

Bu çalışmada, Büyüksalih ve ark. (2004) tarafından yapılan araştırma ile paralel sonuçlar elde edilmiştir. Aradaki küçük farklılıkların nokta işaretleme ve kullanılan yazılımın modelleme doğruluğundan kaynaklandığı düşünülmektedir. SYM oluşturulmamasına rağmen bloktan elde edilen yükseklik hataları söz konusu

araştırmadan yüksek çıkmıştır. Bu durumun düşük B/H oranından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Ayrıca söz konusu makalede SYM'ler arasındaki fark alınmış olup, SYM oluşturulurken enterpolasyonlar sebebiyle ortalama değerler arasındaki farklar alınmakta, böylece iki SYM arasındaki fark küçük çıkabilmektedir.

Poli ve ark. (2004) tarafından yapılan testte 5 m. çözünürlüklü SPOT 5 uydu görüntüleri kullanıldığı için elde edilen 1 pikselin altındaki doğruluk seviyesinin yapılan çalışmaya uygun olduğu, SPOT 5'de çözünürlüğü 5 metreden 2.5 metreye yükseltmenin doğruluğu çok fazla etkilemediği, yalnızca nokta işaretleme doğruluğunu arttırdığı değerlendirilmektedir.

Fard ve ark. (2004) tarafından elde edilen 0.93 piksel doğruluk seviyesinin elde edilen sonuç ile aynı olduğu söylenebilir. Yapılan çalışmada daha az nokta kullanılmasına rağmen doğruluk seviyeleri aynı kalmıştır. Bu durumun nokta işaretleme doğruluğu ve kullanılan altlık 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritanın koordinatlandırma doğruluğundan kaynaklandığı mütalaa edilmektedir.

Yukarıdaki çalışmalardan farklı olarak, kullanılan fotogrametrik bloktan seçilen YKN'ler ile doğruluklar yaklaşık iki kat artmakta ve tüm durumlarda 1 pikselin altında kalmaktadır. Kaliteli noktaların (yüksek doğruluklu), geometrik yöneltmenin doğruluğunu olumlu etkilediği ve gerekli nokta sayısını azalttığı gözlemlenmektedir.

Forgani (2001) tarafından yapılan çalışmada 10 m. çözünürlüklü SPOT uydu görüntüleri, %87-%92 detay tespit doğruluğunda yol ve arazi örtüsü haritalarının yapılması amacıyla kullanılmıştır. Söz konusu çalışmada elde edilen oran arazinin gerçek durumunu tespit edilmesi ile ilgili oran olmayıp, sadece teşhis edilen detayların hangi oranda doğru olduğunu belirleyen bir orandır. Çalışmada 1:25K için 10 m. çözünürlüklü SPOT uydu görüntüleri yetersiz bulunmuş ve renkli (SPOT XS) görüntüler ile birleştirilmesi önerilmiştir.

IGN tarafından Sırbistan 1:25K haritalarının güncellemesi için 2.5 m. çözünürlüklü SPOT 5 uydu görüntülerinden üretilen ortofotoların kullanıldığı ve hava fotoğraflarına göre maliyeti beşte bir oranında düşürdüğü ifade edilmektedir (SPOT Magazine 2005). Bu çalışmada, arazinin gerçek durumunu kontrol etmek için yapılan arazi bütünlemesi çalışmalarının hesaba katılmadığı ve görüntüler üzerinden hiç teşhis edilemeyen detayların hesaplanamayan maliyetinin ne olacağının dikkate alınmadığı değerlendirilmektedir.

Forghani ve ark. (2003) tarafından yapılan proje, uygulamamızı destekler tarzda, ulusal haritacılık kuruluşlarının 50K ve 25K gibi orta ölçekli çalışmalarda revizyon amacıyla haritadaki bir çok detayı değerlendirme olanağı sağladığını söylemektedir.

Lasselin ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada farklı çözünürlük ve renk özellikli görüntülerin incelendiği ve özellikle renkli 2.5 m. çözünürlüklü görüntülerin 1:25.000 ölçekli haritaların geometrik ve detay tamlığı gereksinimlerini karşılayabildiği bildirilmektedir. Kaliteli YKN'ler kullanarak geometrik doğruluğun sağlanabileceği konusu bizim çalışmamız tarafından da teyit edilmiş olmakla beraber, coğrafi detay tamlığı gereksinimlerini ne oranda karşılayabileceği çalışmada ortaya çıkmış olmasına rağmen sonuçta genelleme yapılmıştır.

Axes ve ark. (2004) tarafından SPOT 5 verilerinin değerlendirilmesi amacıyla yapılan testin sonuçları bizim çalışmamızla paralellik göstermesine rağmen detay seviyesinin 1:25.000 ölçekli haritalar için yeterli olduğu fakat biraz fazla arazi çalışması gerektireceği belirtilmektedir. Bizim çalışmamızda tespit edilen hava fotoğraflarına göre yaklaşık %15 daha fazla seviyedeki arazi çalışması haritadaki toplam eksikliği %30 seviyesine çıkarmaktadır. Bu durumda SPOT 5 görüntülerinin 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritanın coğrafi detay gereksinimini tam olarak karşılayamayacağı söylenebilir.

Fard ve ark. (2004) ve Lacroix ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada SPOT 5 görüntülerinin 1:25.000 ölçekli haritanın coğrafi detay gereksinimini yaklaşık %85 ve daha büyük oranda karşılayabildiği belirtilmektedir. Bizim çalışmamızda bu durum hava fotoğraflarında bile %85 civarında olduğuna göre mono SPOT 5 görüntülerinin %85 ve üzeri detay seviyesini karşılaması pek mümkün görülmemektedir.

Yapılan tüm çalışmalarda belirtilen 1:50.000 ölçekli haritaların coğrafi detay gereksinimini karşılayabileceği görüşleri yaptığımız çalışma tarafından desteklenmektedir. 1:50.000 ölçekli harita 1:25.000 ölçekli haritanın dört katı büyüklükte alanı kapsamakta ve detay yoğunluğu olarak çoğu noktasal detaylar ve patika, yaz araba yolu gibi çizgisel detaylar genelleştirilerek verilmekte ya da haritada hiç yer almamaktadır. SPOT 5 uydu görüntüleri kullanılarak yapılan fotogrametrik değerlendirmede, 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritada gereksinim

duyulan ve görüntü üzerinden teşhisi zor olan arazi detaylarına 1:50.000 ölçekli topoğrafik haritada ya genelleştirme uygulanmakta ya da haritada hiç yer verilmemektedir. Sonuç olarak; SPOT 5 uydu görüntülerinin 1:50.000 ölçekli haritaların üretilebilmesi için önemli bir kaynak olacağı söylenebilir. Konuya ilgi duyan araştırmacıların yapacağı detaylı çalışmalar ilave bilgiler verebilecektir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hava platformlarından uzay platformlarına geçişte önemli bir yer tutan SPOT uydu sistemleri gerek geometrik tutarlığı, gerek coğrafi bilgi içeriği ve gerekse maliyet etkin bir şekilde geniş alanları (60 km. x 60 km.) kapsaması sebebiyle topoğrafik harita üretiminde önemli bir yer tutmaktadır. Hava platformlarından uzay platformlarına geçişte kesin bir sınır bulunmamaktadır. Halen hava platformlarının harita üretiminde vazgeçilemediği uygulamalar mevcuttur. Çözünürlük seviyesi, geometrik yöneltme kolaylığı, kullanım esnekliği gibi nedenlerle hava platformlarının uzun süre kullanılmaya ve gelişmeye devam edeceği değerlendirilmektedir. Son zamanlarda piyasada yaygınlaşan digital kamera sistemleri, gerek görüntü kalitesi gerekse GPS/INS sistemleri yardımıyla sağladığı yöneltme parametreleri sayesinde önemini hâlâ devam ettirmektedir.

Ülkelerin sınır bölgelerindeki uçuş yasakları, küçük alanlar için hava fotoğrafı çekiminin ekonomik olmadığı durumlar ve küreselleşen dünyada firmaların dünya üzerinde herhangi bir yere ait harita yapımı gereksinimleri hava fotoğrafları yerine uydu görüntülerinin kullanımını zorunlu hale getirmektedir. SPOT 5 görüntüleri ise yukarıda sayılan özellikleri sebebiyle orta ölçekli harita üretiminde önemli uydu görüntülerindendir. Söz konusu nedenlerden dolayı, topoğrafik harita üretiminde 2.5 m. çözünürlüklü stereo SPOT 5 uydu görüntülerini kullanmak isteyen kişi ve kuruluşlara yardımcı bir karşılaştırma verisi olması amacıyla bu uygulama gerçekleştirilmiştir.

Geometrik yöneltmeye ilişkin uygulamada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- 1/25.000 ölçekli raster paftadan seçilen YKN'ler ile yapılan yöneltmede, genel olarak nokta sayısının fazla olmasının geometrik doğruluğu arttırıcı etki yaptığı gözlemlenmektedir. Ancak, 38 nokta ile 20 nokta arasında doğruluk açısından önemli bir fark bulunmamaktadır. Nokta sayısı 10 ve 6 adete düştüğü zaman doğruluk, nokta dağılımına ve kullanılan YKN'lerdeki yerel nokta hataları ve nokta işaretleme doğruluğuna duyarlı hale gelmektedir. Yükseklik değerleri (z) yataydaki doğruluğa uygun bir yapıda olmakla beraber, YKN'lerin düşey dağılımına karşı daha duyarlıdır. Düşey doğrultudaki hatalar çoğunlukla YKN'lerin uydu görüntü

alanındaki yükseklik değerlerini homojen temsil etmesine bağlıdır. 1/25.000 ölçekli raster haritadan seçilen YKN'ler ile yöneltme yapılacak ise güvenli tarafta kalmak için 10 adet veya daha fazla nokta kullanmanın gerekli olduğu değerlendirilmektedir.

- Fotogrametrik bloktan seçilen YKN'ler ile yapılan yöneltmede, nokta konum doğruluğunun (≈1 m) görüntü konumsal çözünürlüğünün (2.5 m.) altında olması sebebiyle, hataların büyük kısmının noktaların işaretleme hassasiyeti, yazılımın SPOT 5 uydu görüntülerini modelleme yeteneği ve efemeris bilgilerinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Nokta sayısını 20 noktadan 10 noktaya düşürmenin doğruluğu fazla etkilemediği, 6 noktada bazı sıçramalar gösterdiği gözlemlenmektedir. Yatay ve düşeyde hata değişimleri çok dar bir alanda olmaktadır. Yine de, 6 adet nokta ile geometrik doğruluk nokta dağılımına ve noktalardaki bireysel hatalara daha duyarlı hale gelmektedir.
- Sonuçlar genel olarak incelendiğinde; 1/25.000 ölçekli raster haritadan seçilen yaklaşık olarak 10 adet YKN'ler kullanılarak yatayda ortalama ±7 m. hata ile, fotogrametrik bloktan seçilen YKN'ler kullanılarak yatayda ortalama ±3.5 m. hata ile yöneltme yapılabileceği izlenmektedir. YKN'ler görüntü koordinat dönüşümünü ve böylece görüntü içindeki konumlarını etkilemektir; daha fazla YKN'nin eklenmesi dengeleme işleminin geometrik kuvvetine bir etki yapmamaktadır. Bunun yerine, ekstra kontrol noktaları uygun bir ortalama görüntü koordinat düzeltmesi için daha fazla bilgi sağlamaktadır. Yine de, çok miktarda kontrol noktasının kullanılması ile coğrafi konumlandırma işleminin güvenilirliği hakkında daha emin olunabilir (Fraser 2004).
- Düşey hataların nispeten yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bunun nedeninin stereo çiftin B/H oranının (0.4) düşük olmasına bağlı olduğu değerlendirilmektedir.

1:25.000 ölçekli topoğrafik harita üretimine yönelik yapılan değerlendirme çalışması sonuçlarının her iki kaynakta gerçek durumun ne kadarını yansıttığını belirlemek için, yorumlama ve değerlendirme olanaklarındaki harflere, gerçek durumu karşılama yüzdeleri olarak A: 100; B: 80; C: 60; D: 30; E: 10 değerleri verilerek % 5 anlam düzeyinde test etmek amacıyla eşlenik t-testi uygulanmıştır. Sonuç olarak; 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları ve SPOT 5 uydu görüntüleri arasında 1:25.000 ölçekli harita üretimi amacıyla yapılan değerlendirmeler arasında

istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu ortaya çıkmıştır. Ortalamalara bakıldığında hava fotoğrafları ile arazinin %85'i değerlendirilebilmekte, %15 arazide bütünleme çalışmalarına kalmaktadır. SPOT 5 görüntüleri ise arazinin %68'ini karşılayabilmekte, %32 arazi bütünlemesine kalmaktadır. Hava fotoğrafları ile yapılan değerlendirmedeki %15'lik kısmın bütünlemesinin ortalama 6 iş günü gerektirdiği düşünülürse, SPOT 5 uydu görüntüleri ile arazide bütünleme yaklaşık 12 iş günü olacaktır. Bu durum zaman ve maliyet yönünden oldukça zorlayıcı olmaktadır.

Maliyet analizi sonucunda; SPOT 5 uydu görüntüleri için görüntü maliyeti ve değerlendirme maliyeti düşük olmasına rağmen, arazi bütünlemesi nedeniyle birim maliyetlerin 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından %32 oranında fazla olduğu görülmektedir. Söz konusu maliyet artışı nedeniyle, SPOT 5 uydu görüntüsü kullanıcılarının arazi bütünlemesi maliyetini yardımcı kaynak veriler (mevcut topoğrafik haritalar, yerleşim yerlerinde yüksek çözünürlüklü görüntüler vb.) kullanarak asgari seviyeye indirmeye çalışmaları gerekmektedir.

Yapılan çalışma göz önüne alındığında SPOT 5 uydu görüntülerinin 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarına göre 1:25.000 ölçekli topoğrafik harita ihtiyaçlarını karşılamada yetersiz kaldığı görülmektedir. Ancak, hava fotoğrafı olmadığı durumlarda üretim SPOT 5 uydu görüntüleri ile yapılacak ise aradaki detay kaybından üretici haberdar olmalı ve kullanıcı uyarılmalıdır. İlave kaynaklar (eski topoğrafik, kadastral, belki turistik haritalar, Google Earth gibi internet kaynakları vb.) kullanılarak bilgi eksiklikleri minimize edilmeye çalışılmalıdır.

SPOT 5 uydu görüntülerinin 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalar için söz konusu eksikleri olmasına rağmen, coğrafi detay gereksinimi 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritaya göre daha az olan 1:50.000 ölçekli topoğrafik haritanın coğrafi detay gereksinimini karşılayabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Axès F., Baillarin F., de Boissezon H. 2004.S POT 5 Application Valorisation Program Conclusions, XX. Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Commission VI, Working Group VI/4, 12-23 July 2004, İstanbul-Türkiye.

Blanc, S.L. 2003. Considerations about map-updating and images resolution, http://www.gisdevelopment.net/technology/ip/techip010.htm, (28 Aralık 2006).

Büyüksalih, G., Oruc, M., Topan, H., Jacobsen, K. 2004. Geometric Accuracy Evaluation, DEM Generation and Validation for SPOT-5 Level 1B Stereo Scene, EARSeL Workshop "Remote Sensing for Developing Countries", Cairo-Egypt.

Dowman, I. J. ve Peacegood, G. 1988. Information Content of High Resolution Satellite Imagery, Photogrammetria, Vol. 43, pp. 295-310.

Erdas Imagine Field Guide 2006. Satellite Photogrammetry, Leica Geosystems and Geospatial Imaging, USA, pp. 327-334.

Fard, S.N. Abootelebi A., Rad A.E. 2004. Evaluation Of The Potential Of SPOT 5 HRG, High Resolution Satellite Imageries For 1:25000 Scale Maps Revision, XX. Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Commission VI, Working Group VI/4, 12-23 July 2004, İstanbul-Türkiye.

Forghani, A. 2000. Decision Trees for Mapping of Roads from Aerial Photography Employing a GISGuided Technique. Proceedings of the 10th Australasian Remote Sensing and Photogrammetry Conference, Adelaide, Australia 21-25 August 2000, pp.1-12.

Forghani, A. 2001. Evaluation of New Satellite Imagery Applications for Maintenance of AUSLIG Spatial Databases. Technical Report, Research and Development Section, Mapping and Maritime Boundaries Program, National Mapping Division, Geoscience Australia, August 2001, pp. 1-135.

Forghani, A., Reddy, S., Smith, C. 2003. Evaluating SPOT-5 Satellite Imagery for National Mapping Division's Topographic Mapping Program. Spatial Sciences.

Fraser, C. S., ve Hanley, H. B., 2003. Bias compensation in Rational Functions for IKONOS Satellite Imagery, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 69, 53–58.

Fraser, C. S. 2004. Prospects For Mapping From High-Resolution Satellite Imagery. Asian Journal of Geoinformatics, 4(1):3-10.

Grodecki, J., ve Dial, G. 2001. Ikonos geometric accuracy, Joint ISPRS Workshop on HRM From Space, 6-8 October, Hannover, 6 p.

Konecny, G. 1990. Mapping from Space. Review of Latest Technology in Satellite Mapping. Interim Representation International Mapping Remote Sensing Satellite Systems. Institute of Photogrammetry, University of Hannover, pp. 11-22.

Konecny, G. 1999. Mapping from Space, Workshop on International Cooperation and Technology Transfer, ISPRS Com VI, Parma, pp. 286-290.

Konecny, G. ve Schiewe, J. 1996. Mapping from Digital Satellite Image Data with Special Reference to MOMS-02. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, no. 51, pp. 173-181.

Lacroix, V., Hincq, A., Mahamadou, I., Bruynseels, H., Swartenbroekx, O. 2004. A Visibility Test On SPOT 5 Images, XX. Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Commission VI, Working Group VI/4, 12-23 July 2004, İstanbul-Türkiye.

Lasselin, D., Breton, E., Sempère, J.P., Cantou, J.Ph. 2004. Evaluation Of The Geographic Information Potential Of SPOT 5, XX. Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Commission VI, Working Group VI/4, 12-23 July 2004, İstanbul-Türkiye.

Önder, M. 2001. Uzaktan Algılamada Topoğrafik Uygulamalar, Harita Genel Komutanlığı Matbaası, Ankara, sayfa 3-4.

Petzod, B. 2001. Revision of Topographic Databases by Satellite Images, Accessed Online March 2001: www.ipi-uni-hannover.de

Poli, D., Li, Z. Gruen, A., 2004. SPOT-5/HRS Stereo Images Orientation And Automated DSM Generation, XX. Congress of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Commission VI, Working Group VI/4, 12-23 July 2004, İstanbul-Türkiye.

Schiewe, J. 2001. Experiences from the MOMS-02 Project for Future Development. Accessed Online March 2001: www.ivw.uni-vechtech.del/personal/geoinf/jorchen.htm

Solberg, R. 1992. Semi-automatic Revision of Topographic Naps from Satellite Imagery, XVI ISPRS, Washington D. C., USA, 1992.

Spot Magazine 2005. Revising Serbia's Topographic Maps a Successful Case Study, Spot Magazine No.40.

Tao, V.C., H, Y., Jiang, W. 2004. Photogrammetric Exploitation of IKONOS Imagery for Mapping Applications, International Journal of Remote Sensing, Vol. 25, No. 14, 2833-2853.

Tonon, M. 2006. SPOT 5 Data for Line Map Updating: New Perspectives in Mapping, http://www.gisdevelopment.net/technology/survey/me05_122b.htm (24.09.2006).

Toutin, Th. 2004. Review Paper: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods, International Journal of Remote Sensing, 25(10), pp.1893-1924.

Walter, V. 2000. Automatic Change Detection in GIS Databases Based on Classification of Multispectral Data. IARPS, Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000, pp. 1-8.

Yılmaz, A. 2005. Stereo IKONOS Uydu Görüntülerinin 3B Konumlandırma ve SYM Doğruluklarının Araştırılması, Doktora Seminer Çalışması, Selçuk Üniversitesi, Konya.

Yılmaz, A. Yıldız, F., Yakar, M., Mutluoğlu, Ö. 2007. Stereo IKONOS Uydu Görüntülerinin 3B Konumlandırma Doğruluğunun Araştırılması, TUFUAB IV. Teknik Sempozyumu, İstanbul, 5-7 Haziran 2007.

<www.hgk.mil.tr>, Harita Genel Komutanlığı (en son ziyaret edilen tarih; 12 Mart 2008).

<http://www.spotimage.fr/automne_modules_files/standard/public/p336_ba582c667a21f3b7d1108ad9773629fdListePrix_Anglais.pdf>, SPOT Products & Services Price List (en son ziyaret edilen tarih; 12 Mart 2008).