

**UYDU VERİLERİNDEN HARİTA KAPSAMINDA GÖRÜNTÜ
ÜRETMENİN GEOMETRİK DOĞRULUĞU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Cengizhan İPBÜKER

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Mayıs 1994

Tezin Savunulduğu Tarih : 1 Haziran 1994

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Olcay ÖZTAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Cankurt ÖRMECİ

: Doç.Dr. Oğuz MÜFTÜOĞLU

HAZİRAN 1994

ÖNSÖZ

İ.T.U. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeodezi ve Fotogrametri Programında gerçekleştirilerek "Yüksek Lisans Tezi" olarak sunulan bu çalışmada uydu verilerinden harita kapsamında görüntü üretmenin geometrik doğruluğu ele alınmıştır.

Bu çalışmayı yöneten hocam Sayın Prof. Dr. Olcay Öztaş, Uzaktan Algılama Laboratuvarında bana bu çalışmada tüm olanaklardan faydalanma fırsatı veren hocam Sayın Prof. Dr. Cankut Örmeci'ye teşekkür ederim.

Ayrıca, bu çalışmanın gerçekleşmesinde büyük emeği geçen hocam Sayın Doc. Dr. Oğuz Muftuoğlu ve Yuk. Muh. Sinasi Kaya ile çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 1994

Cengizhan İpbüker

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
- SEMBOLLER ve KISALTMALAR	v
- ŞEKİL LİSTESİ	vii
- TABLO LİSTESİ	ix
- ÖZET	x
- SUMMARY	xi
 BÖLÜM 1 : GİRİŞ	1
 BÖLÜM 2 : UZAKTAN ALGILAMANIN FİZİKSEL PRENSİPLERİ	3
2.1 Enerji Kaynakları ve Radyasyon Prensipleri	3
2.2 Atmosfer İçerisinde Enerji Etkileşimi	5
2.3 Yeryüzeyindeki Objelerle Enerjinin Etkileşimi ...	8
2.4 Uzaktan Algılama Sistemleri	10
 BÖLÜM 3 : UZAKTAN ALGILAMA UYDULARININ VE ALGILAMA SİSTEMLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ	13
3.1 LANDSAT Uydularının Özellikleri	13
3.2 SPOT Uydularının Özellikleri	20
3.3 Algılayıcı ve Tarayıcılar	23
3.3.1 Çok Spektrumlu Tarayıcı (MSS)	23
3.3.2 Tematik Haritalayıcı Tarayıcısı (TM)	31
 BÖLÜM 4 : SAYISAL GÖRÜNTÜ VE İŞLENMESİ	32
4.1 Sayısal Görüntülerin Özellikleri	32
4.2 Görüntü Oluşumu ve Distorsiyonlar	37
4.2.1 Geometrik Distorsiyon ve Düzeltilmesi	38
4.2.2 Örnekleme	41
4.2.2.1 En Yakın Komşu Yöntemi	43
4.2.2.2 Bilinear Enterpolasyon	43
4.2.2.2 Kübik Katlama Yöntemi	43
 BÖLÜM 5 : UZAKTAN ALGILAYICILARLA HARİTALAMANIN GEOMETRİK KARAKTERİSTİKLERİ	44
5.1 Harita Projeksiyon Sistemleri	44
5.1.1 Universal Transversal Mercator (UTM) Projeksiyonu	46

5.1.2 Eğik Merkator Projeksiyonu (Space Oblique Mercator(SOM))	49
5.2 Haritalama Amaçlı Uzaktan Algılayıcıların Geometrik Karakteristikleri	53
BÖLÜM 6 : UYDU GÖRÜNTÜ DATALARI İLE HARITALAMANIN GEOMETRİK DOĞRULUĞU	55
6.1 Geometrik Doğruluk Araştırmasının Genel Prensipleri	55
6.2 Uluslararası Araştırmalar ve Sonuçları	55
6.2.1 İlk Jenerasyon Uydu Verileri ile Araştırmalar	56
6.2.2 LANDSAT-4,-5 ve SPOT Uydu Verileri ile Araştırmalar	56
BÖLÜM 7 : UYGULAMA	63
7.1 İstanbul Boğaz Bölgesi Örneğinde Düşeye Çevirme Doğruluğunun Araştırılması.....	63
7.2 İstanbul Adalar Örneğinde Alan Karşılaştırması	65
- SONUÇLAR	73
- KAYNAKLAR	74
- ÖZGEÇMİŞ	78
- EK'ler	79

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

ACSM	American Congress on Surveying and Mapping
ALTA	American Land Title Association
ASP	American Society of Photogrammetry
ASPRS	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
BIL	Band-Interval by Line
BSQ	Band Sequential
Bpi	Bits per inch
CCT-p	Computer Compatible Tape-p
CMAS	Circular Map Accuracy Standard
CRT	Cathode Ray Tube
DEM	Digital Elevation Model
DIRS	Digital Image Rectification System
EBR	Electron Beam Recorder
EDC	EROS Data Center
EMAS	Engineering Map Accuracy Standard
EROS	Earth Resources Observation System
ERTS	U.S. Earth Resources Technology Satellite
FGCC	Federal Geodetic Control Committee
FOV	Field of View
GCP	Ground Control Points
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning System
GSFC	Goddard Space Flight Center
HRV	High Resolution Visible
HOM	Hotine Oblique Mercator
IFOV	Instantaneous Field of View
IR	Infra-red
LACIE	Large Area Crop Inventory Experiment
LFC	Large Format Camera
LIDQA	LANDSAT Image Data Quality Assessment
MLA	Multispectral Linear Array

MMS	Multimission Modular Spacecraft
MSS	Multispectral Scanner
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NCDCDS	National Committee for Digital Cartographic Data Standards
NHMAS	National Horizontal Map Accuracy Standards
NMAS	U.S. National Map Accuracy Standards
NOAA	National Oceanic and Atmosphere Administration
NOS	U.S. National Ocean Survey
OIS	Orbital Imaging System
PERS	Photogrammetric Engineering and Remote Sensing
RBV	Return Beam Vidicon
RMSE	Root Mean Square Error
SOM	Space Oblique Mercator
TFOV	Total Field of View
TIPS	TM Image Processing System
TM	Thematic Mapper
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal Transverse Mercator

SEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Değişik ısılarda cisimlerden yayılan enerjinin spektral dağılım eğrileri	4
Şekil 2.2	: Elektromagnetik spektrum ve algılama bandları	5
Şekil 2.3	: Dalga uzunluğuna bağlı olarak atmosferin geçirgenliği	8
Şekil 2.4	: Dalga uzunluğuna bağlı olarak spektral yansıtma eğrileri	9
Şekil 2.5	: Bir satır-dizi tarayıcının sematik gösterimi	11
Şekil 3.1	: LANDSAT-5 uydusu	14
Şekil 3.2	: LANDSAT-5'in güneşe senkronize yörüngesi ...	15
Şekil 3.3	: LANDSAT-5 algılama kuşakları	15
Şekil 3.4	: LANDSAT-5 verilerinin yeryüzüne gönderilişi	17
Şekil 3.5	: LANDSAT MSS algılama konfigürasyonu	18
Şekil 3.6	: SPOT uydusu	20
Şekil 3.7	: SPOT-HRV sistemi	21
Şekil 3.8	: SPOT pankromatik ve XS	22
Şekil 3.9	: Çok spektrumlu tarayıcının ideal geometrisinin parametreleri	24
Şekil 3.10	: Algılayıcı platformun dinamik düzensizliklerinin etkisi	27
Şekil 3.11	: Farklı yönelim düzensizliklerinden dolayı algılayıcının yeryüzündeki örtmesi	28
Şekil 3.12	: LANDSAT MSS'in sematik diyagramı	29
Şekil 4.1	: Görüntü işleminin iki genel türü a) piksel dönüşümü b) komşu dönüşüm	42
Şekil 4.2	: Örneklemede eski ve yeni görüntü pikselleri arasındaki ilişkiler	42
Şekil 5.1	: Mercator projeksiyonu	45

Sekil 5.2	: UTM Projeksiyonu	47
Sekil 5.3	: Eğik Mercator Projeksiyonu	48
Sekil 5.4	: Projeksiyon yüzeyi olarak silindirin şematik durumu	50
Sekil 5.5	: Oluşturulan projeksiyon yüzeyinde görüntünün nasıl yer aldığı gösterilmektedir	51
Sekil 6.1	: Yol kesim noktaları için kestirme tekniği ..	61
Sekil 7.1	: Uygulama alanının doğal görüntüsü (LANDSAT-5 TM)	64
Sekil 7.2	: Kontrol noktalarının dağılımı	67



TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1 : LANDSAT 1-5 uydularının karakteristikleri.....	16
Tablo 3.2 : LANDSAT 1-5 kullanılan algılayıcılar ve özellikleri	16
Tablo 3.3 : LANDSAT 4-5 MSS ve TM karşılaştırması	19
Tablo 3.4 : TM algılayıcısı kanalları	19
Tablo 3.5 : LANDSAT MSS performans parametreleri	30
Tablo 5.1 : Algılayıcılar için önerilen parametre ve karakteristikler	53
Tablo 6.1 : Kuzey Georgia örneğinde TM görüntüleri için karesel ortalama hata değerleri	60
Tablo 7.1 : Karesel ortalama hatalar	65
Tablo 7.2 : UTM projeksiyonunda ortalama alan değerleri ve karesel ortalama hataları	69
Tablo 7.3 : UTM projeksiyonunda kıyı çizgisi uzunlukları, ortalama nokta sıklığı ve ortalama sayısallaş- tırma aralığı	70
Tablo 7.4 : Lambert azimutal ve silindirik projeksiyonunda hesaplanan alanlar	70
Tablo 7.5 : UTM ve Lambert azimutal projeksiyonunda uydu görüntüsünden hesaplanan alanlar	71
Tablo 7.6 : Her iki projeksiyon için uydu görüntüsünden elde edilen ve hesapla bulunan alan farkları	72

ÖZET

Uzaktan algılama günümüzde birçok bilim dalları için önemli bir araç olmaktadır. Son yıllarda özellikle uydu verilerinden elde edilen bilgilerin görüntü işleme tekniklerine bağlı olarak kullanılması her alanda teknolojik bir yenilik getirmiştir.

Günümüzde çok sayıda uydu çeşitli amaçlarla faaliyetlerini sürdürmektedir. Yeryüzü kaynaklarını incelemek için fırlatılan LANDSAT ve SPOT uydularından veri toplanmaktadır. Bu veriler işlenerek çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. LANDSAT-5 deki Tematik Haritalayıcı ile yüksek geometrik doğruluk elde edilmiştir. Özellikle pankromatik modda SPOT'tan yüksek çözmesi nedeniyle küçük ve orta ölçekli topoğrafik haritaların yapımında yararlanılabileceği ortaya çıkmıştır. Her iki uydudan toplanan verilerin 1:25000 , 1:50000 ve 1:100000 ölçekli haritalara uygulanması veya özellikle bu haritaların güncelleştirilmesinde kullanılmasına gereksinim duyulmaktadır. Ancak bu verilerin söz konusu gereksinime cevap verebilmesi için şu aşamada yetersiz olduğu savunulmaktadır [Bahr,1978; Borgeson,1985].

Bu çalışmada uzaktan algılamanın etkin olduğu bir konu olan harita güncelleştirilmesi ve üretimi uygulamalarında harita amaçlı uydulardan elde edilen verilerin işlenerek harita kapsamında görüntü elde etme amacına yönelik geometrik ve kartografik doğruluğu araştırılmıştır.

Bu amaçla öncelikle uzaktan algılamanın fiziksel prensipleri ele alınarak enerjinin atmosfer içerisinde yeryüzü objeleri ile etkileşimi konusunda özet bilgiler verilmiştir. Bunu takip eden bölümde haritalama amaçlı uydular tanıtılarak bunların algılama sistemleri ve özellikleri hakkında ayrıntılı bilgiler yer almaktadır. Uzaktan algılama verilerinin geometrik özellikleri vurgulanarak geometrik bozulmalar ve düzeltilmesi esaslarından bahsedilmiştir.

Bu konuda, ilk jenerasyon uydu verilerinden başlanarak günümüz uydu verileri kullanılarak yapılan bir dizi uluslararası araştırma özetlenmiş ve bulunan sonuçlar sunulmuştur. Bu çalışmaların doğrultusunda İstanbul boğazı ve çevresini kapsayan LANDSAT-5 TM görüntü dataları kullanılarak düşeye çevirme doğruluğunun araştırılması amacıyla benzer bir uygulama yapılmış ve elde edilen bulgular sonuç bölümünde irdelenmiştir. Ayrıca İstanbul Adalar örneğinde uydu verileri kullanılarak alan karşılaştırması amacıyla bir uygulama yapılmış ve sonuçları verilmiştir.

SUMMARY

THE GEOMETRIC ACCURACY OF PRODUCING A MAP SCENE FROM SATELLITE IMAGE DATA

The space era began three decades ago with the launch of Sputnik I, the first artificial Earth satellite, by the Soviet Union in October 1957. Within a short time span history unfolded numerous exciting events, including the first Earth orbital flight of man. Then in July 1969, under the insightful eye of the television camera, the world viewed man landing on the surface of another planetary body—the moon. By 1990, the international space community had launched more than 3000 satellites from different sites around the Earth .

NASA's LANDSAT remote sensing satellites began in 1972 followed by SPOT (France,1986), MOS-1 (Japan,1987), and others. Each of these has contributed toward enhancing the value of remote sensing data for medium and small scale topographic mapping and for solving Earth's resource problems [Barrett,1982].

Cartography is generally seen as the science, technology and the art of making maps and map related representations. In cartography, remotely sensed images are being increasingly used, in two main ways :

- a) as data sources for interpretation and measurement,
- b) in photo and image mapping [Muller,1991].

In the mapping sciences, the term 'remote sensing' normally refers to the detection of distant objects due to the electromagnetic radiation emitted or reflected by these objects and recorded in some way. In other words, remote sensing is the measurement or acquisition of data about an object or scene by a satellite or other instruments above or far from the object without coming into direct contact with them.

Remote sensing applications in generally consists of two steps: firstly that data acquisition which use of different remote sensors and secondly data analysis as computer image processing, classifications and interpret the data [Brown,1987].

In 1972, NASA (National Aeronautics and Space Administration) initiated the first program specializing in the acquisition of remotely sensed digital satellite data. The previous LANDSAT satellite system is known as the ERTS (Earth Resources Technology Satellite) and later renamed LANDSAT-1. It was equipped with a RBV (Return Beam Vidicon) television camera system and a four waveband Multispectral Scanning System (MSS).

LANDSAT-1,2,3 are called first generation and LANDSAT-4,5 are called second generation LANDSAT series. LANDSAT-5 was launched in March, 1984 with the TM (Thematic Mapper) sensor on board.

In common with the previous satellites, LANDSAT-5 also has a four channel MSS. The MSS is a line array sensor device which uses an oscillating mirror to scan at right angles to the satellite flight directions. LANDSAT MSS scene covers an area 185 km x 185 km, consisting of 2340 scan lines with about 3240 pixel per line. The spatial resolution of MSS data is 57m x 79m with a 79m x 79m IFOV (Instantaneous-Field-of-View). The TM scanner is a multispectral scanning system much like the MSS, but it has higher spatial, spectral and radiometric resolution than MSS.

The TM acquires data in seven spectral bands. Four of these bands are located in portions of the spectrum not sensed by the MSS. The TM instantaneous-field-of view (IFOV) is 30m x 30m for the six reflective spectral bands (bands TM1 to TM5 and TM7) and 120m x 120m for the thermal band (band TM6).

The band designations, spectral ranges and principal applications of TM are as follows :

Band Number	Spectral Range μm	Applications
1	0.45 to 0.52	Sensitive to chlorophyll and carotenoid concentrations for soil/vegetation differentiation, deciduous/coniferous
2	0.52 to 0.60	differentiation. Coastal water mapping. Sensitive to green reflectance by healthy vegetation.
3	0.63 to 0.69	Sensitive to chlorophyll absorption for plant species differentiation.
4	0.76 to 0.90	Sensitive to near infra-red reflectance of healthy vegetation for biomass surveys.
5	1.55 to 1.75	Sensitive to vegetation moisture and snow/cloud reflectance differences.
6	10.40 to 12.50	Thermal mapping.
7	2.08 to 2.35	Sensitive to vegetation moisture to hydroxyl ions in minerals for geological mapping.

The French satellite system SPOT (Système Probatoire de l'Observation de la Terre), which translated literally means the Earth Observation Test System is the first Earth resources satellite launched from Europe. The SPOT system was developed by the French Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) with participation from both Belgium and Sweden [Doyle,1982; Gagan,1987].

SPOT carries two identical pushbroom scanners, these are called HRV (High Resolution Visible) scanners and used to record in either panchromatic or multispectral mode (XS). When in panchromatic mode all of the detectors are sampled, giving a spatial resolution of around 10m and when in multispectral mode only half of the detectors are sampled, giving a spatial resolution of around 20m [Curran,1989].

The properties of this two operational modes compared below :

Panchromatic mode		Multispectral mode	
Waveband name	Waveband width	Waveband name	Waveband width
visible	0.51 - 0.73 μm	green	0.50 - 0.59 μm
		red	0.61 - 0.69 μm
		near infrared	0.79 - 0.89 μm

The terms accuracy, precision, resolution and scale are used almost interchangeably in reference to spatial data. Accuracy refers to the relationship between a measurement and the reality which it purports to represent. Precision refers to the degree of detail in the reporting of a measurement or in the manipulation of a measurement in arithmetic calculations. Finally, the resolution of a data set defines the smallest object or feature which is included or is discernable in the data. Scale and resolution are intimately related because there is a lower limit to the size of an object which can be usefully shown on a paper map. This limit is often assumed to be 0.5 mm as a rule of thumb, so the effective resolution of a 1:1000 map is about 1000 times 0.5 mm, or 50 cm, although the standards of most mapping agencies are substantially better. The effective resolutions of some common map scales, assuming 0.5 mm resolution are as follows ;

Scale	Effective resolution
1 : 1000	62.5 cm
1 : 10000	5 m
1 : 25000	12.5 m
1 : 50000	25 m
1 : 100000	50 m
1 : 250000	125 m

Images such as those derived from remote sensing are composed of pixels of uniform size and shape, with associated measures of reflected or emitted radiation. After classification, each pixel is assigned to one of a number of classes, often of land use or land cover. Unlike the cartographic case, there are no objects or features to be located, and accuracy is simply a function of the errors in the assignment of classes to each pixel. The standard method of measuring accuracy in a classified image is to compare the classes assigned to a sample of pixels to the true classes on the ground ('ground truth') and express the result in the form of a table, the rows representing the assigned class and the columns the ground truth. Pixels which fall on the diagonal of the table are correctly classified; pixels which fall off the diagonal in a column are termed 'errors of omission' since the true value is omitted from the assigned class; and pixels which fall off the diagonal in a row are termed 'errors of commission' since they appear as false occurrences of a given class in the data. The contents of the table can be summarized in statistics such as the percentage of cells correctly classified [Bahr,1991; Muller,1991].

The quantitative use of remote sensing satellite images in many applications requires that the geometric distortion inherent in these images be corrected, or rectified, to a desired map projection. the most widely used technique relies on ground control points to empirically determine a mathematical coordinate transformation to correct the geometry [Ford,1985].

In this study, using the method of least squares, accuracy of the geometric transformation and of the rectification of the satellite image to a map projection are investigated. Explicit relations between the global accuracy of the transformation and the number, location, and local accuracy of the ground control points are obtained. The results are applied to the correction of a LANDSAT TM image including the Bosphorus region, Istanbul. Image is rectified to the Universal Transverse Mercator Projection.

In the least squares transformation approach, the image distortion is modeled empirically as a mapping transformation from the map projection coordinates to the acquired image coordinates. The mapping function is generally chosen to be a polynomial, first employed by Markarian [Markarian,1973].

The transformation coefficients depending on the degree of the polynomial are determined from a set of GCPs, which are physical features that can be correctly located in the image and on the 1:25000 scale map. Typical GCPs are highway intersections, land-water interfaces, or field boundaries.

The geodetic rectification of TM image data involves the following steps :

- Location of GCPs in the image (pixel and line coordinates) and on 1:25000 scale map (UTM coordinates) of the study area;
- Checks to eliminate points of questionable reliability;
- Least square solution of polynomial rectification equations using GCPs scattered throughout the data set to determine the coefficients which must be applied to the image coordinates in order to derive UTM map coordinates.

Coordinates of the GCPs in image and map space have been checked to identify suspect points. The procedure for this is referred to as a point-pair distance check between all possible combinations of point-pairs. Then, it has been investigated, the optimum number of GCPs required and the minimum degree of the polynomials which give the minimum RMSxy value, used in the rectification process.

Hacimsel olarak yayıldığı ve aynı zamanda nitel ve nicel olarak ayırdedilebildiği sürece, HERŞEY kartografik olarak kıymetlendirilebilir ve tasvir edilebilir.

E. ARNBERGER

[Arnberger,1966]

BÖLÜM 1 : GİRİŞ

İnsanoğlunun iki büyük dünya savaşı sonrası teknolojiye göstermeye başladığı gelişime bir göz atacak olursak, eski tarihlerdeki yüzlerce yıllık evrelerden oluşan çağ anlayışının artık on yıllık kesitlere dönüştüğü gerçeği ile karşılaşmaktayız. Bu kesitler günümüze kadar "Atom çağı", "Uzay çağı" gibi isimler almıştır. 2000'li yılların ne isim alacağı şimdiden merak edilmektedir. Bu teknolojik patlama kartografyaya veri aktaran jeodezi, fotogrametri ve uzaktan algılama gibi komşu bilimlere giderek artan önemli bir potansiyel kazandırmıştır.

Uzaktan algılama konusu 1957'lerde başlatılan uzay yarışının bir kesitini oluşturmaktadır. 1970'li yıllardan bu yana uzaya fırlatılan uzaktan algılama amaçlı uyduların temel hedefi yeryüzünün orta ve küçük ölçeklerde topoğrafik haritalarının yapımıdır. Gerçekte bugün için yeryüzünün 1:50000 ölçekli topoğrafik haritaları hemen hemen % 50 oranında mevcuttur. Harita Üretiminin yanısıra güncelleştirme çalışmalarında önemli bir sorun teşkil etmektedir. Fakat henüz orta ve büyük ölçekte harita yapımı ve güncelleştirme çalışmalarında uzaktan algılama uydu verilerinin uzaysal ayırma gücü vb. nedenlerle beklenen atılımın sağlandığı söylenemez. Özellikle insan yapısı cisimler, sadece uygun koşullar altında ve pikselden yani en küçük görüntü elemanından daha büyük olmaları durumunda , herhangi bir topoğrafik haritada ayrıntıların çoğunu oluşturmalarına rağmen nadiren tanımlanabilmektedir.

Bugün için uydulardan elde edilen görüntülerden harita üretiminde dört büyük sorun güncelliğini korumakta ve araştırmalara konu olmaktadır :

- ★ Ayrıntıları tanımlamada uzaysal ayırma gücü,
- ★ Kıymetlendirilen ayrıntıların geometrik ve planimetrik doğruluğu,
- ★ Nokta yükseklik ölçümü ve eş yükselti eğrisi çizimi için yükseklik doğruluğu,
- ★ Stereoskopik olarak görüntü gözleme olanağı.

Bütün bu özellikler topoğrafik ve tematik harita yapımı için maksimum ölçeği belirler ve ortaya çıkacak ürünün türü ve kalitesi üzerinde büyük bir etkinliğe sahiptir. Günümüz algılayıcı teknolojisindeki gelişim, orta ve büyük ölçekli harita yapımı için yeterli ayırma gücünü sağlayan uzay görüntüleri elde etme olanağına sahip yenilikler yönündedir. Böylece kartografik uygulamalarda da hızlı bir artış olacağı açıktır [Bahr,1979].

Bu çalışmada LANDSAT-5 MSS ve TM uydu görüntüleri ele alınarak bu uydu verilerinden harita kapsamında görüntü elde etmenin geometrik ve planimetrik doğruluğu araştırılmıştır. Bu amaçla İstanbul boğazını içeren bölge uygulama alanı olarak seçilmiş ve elde edilen bulgular sonuç bölümünde verilmiştir.

Uydu verilerinden harita üretmenin yanı sıra genel olarak mevcut haritaların revizyonu ve güncelleştirilmesi amacıyla daha yaygın olarak yararlanılmaktadır. Bu konuda örneğin kapalı su havzalarının, köy yerleşim bölgelerinin sınırlarının belirlenmesi ve alanlarının hesaplanması gibi işlemler örnek olarak gösterilebilir. Bu konuya ışık tutması amacıyla İstanbul Adalar örneğinde alan karşılaştırması için bir uygulama yapılmış ve sonuçları verilmiştir.

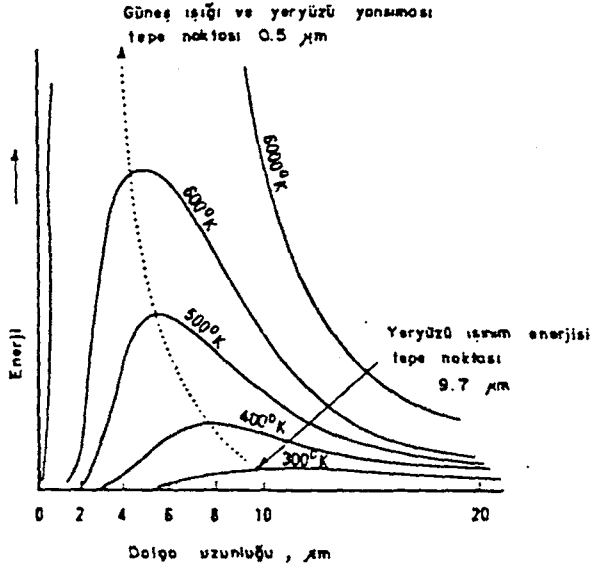
BÖLÜM 2 : UZAKTAN ALGILAMANIN FİZİKSEL PRENSİPLERİ

Uzaktan algılama en genel tanımı ile, bir obje ile herhangi bir fiziksel temasa girmeden onun hakkında bilgi edinebilme bilim ve sanatıdır. Başka bir ifade ile uzaktan algılama, arada mekanik bir temas olmaksızın bir cisimden yansıyan ışının nitelik ve nicelik yönünden değerlendirilmesi ile cismin özelliklerinin ortaya konması ve ölçülmesi şeklinde de tanımlanabilir. Burada cismin kendisinin bir ışınım yayması koşulu olmadığı gibi cisim ile algılayıcı arasındaki uzaklık için de bir kısıtlama yoktur [Örmeci, 1987; Rees, 1990].

Uzaktan algılamanın fiziksel prensipleri büyük ölçüde elektromagnetik enerji konusu ile yakından ilgilidir.

2.1 ENERJİ KAYNAKLARI VE RADYASYON PRENSİPLERİ

Doğadaki varlıkların görülmesine ve renklerin ayırt edilmesine olanak sağlayan, kaynağı Güneş olan elektro-magnetik enerji biçimine görünen ışık denilir. Görünen ışık diğer tüm elektro-magnetik dalga biçimleri gibi boşlukta hiçbir iletici maddeye gereksinimi olmadan yayılabilmektedir. Işığın boşluk içindeki hızı 300 000 km/sn 'dir. Elektromagnetik enerji, ışık hızı ile harmonik dalgalar şeklinde hareket eden bütün enerji şekillerini kapsar. Görünen ışık elektromagnetik enerji şekillerinden sadece bir tanesidir. Radyo dalgaları, ısı, mor ötesi ve X ışınları diğer şekilleridir. Uzaktan algılamada dalga uzunluğuna ve cismin ısısına bağlı olarak ışıyan enerji miktarı önemlidir [Curran, 1989; Örmeci, 1987]. Güneş 6000 K ($1\text{ K}=273\text{ C}$)'lik yüzey ısısı ile tepe noktası $0.5\text{ }\mu\text{m}$ olan ve yeşil ışığa karşılık gelen bir bölgede fazla miktarda enerji yayar. Gündüzleri yeryüzüne gelen ve yansıyan maksimum enerji görünen bölgede olup dalga uzunluğu yine $0.5\text{ }\mu\text{m}$ olan tepe noktasını oluşturur.

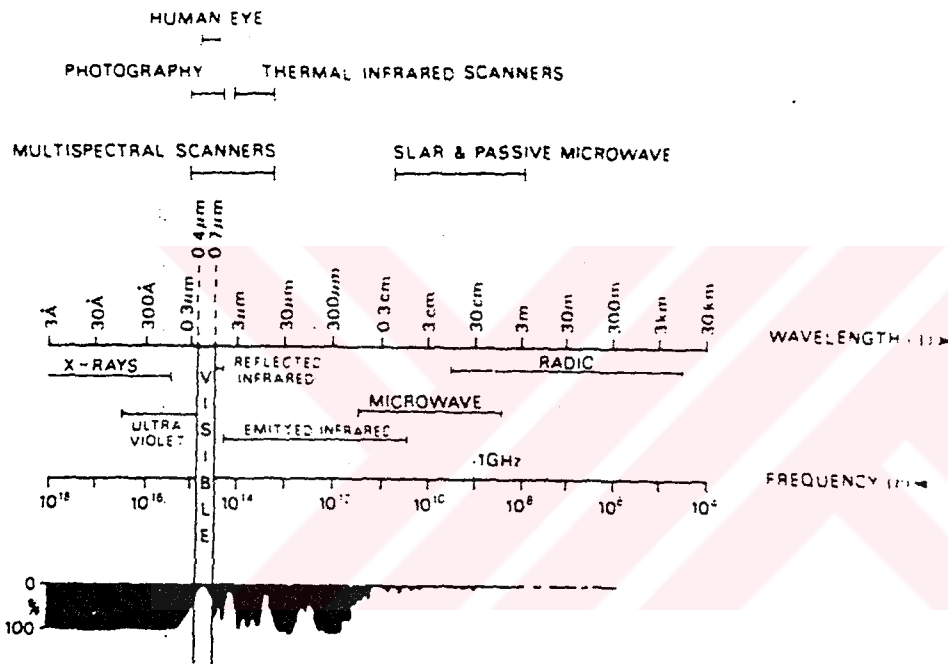


Sekil 2.1 : Değişik ısılarda cisimlerden yayılan enerjinin spektral dağılım eğrileri

Yeryüzeyinin ortalama ısısı yaklaşık 290°K (17°C) olup, bu ısıda ısıyan enerji kızılötesi bölgededir ve tepe noktası yaklaşık $9,7\mu\text{m}$ 'dir. Bu enerji yansıyan güneş enerjisi ile kıyaslandığında çok azdır ve geceleri dominanttır. Kızılötesi kanallarla yapılan algılamada enerji kaynağını oluşturmaktadır [Örmeci, 1987].

Elektromagnetik enerji katı, sıvı ve gaz halindeki cisimlerle temas ettiği zaman siddet, doğrultu, dalga uzunluğu, polarizasyon ve faz gibi özellikleri bakımından bir çok değişikliğe uğramaktadır. Uzaktan algılamada bu değişiklikler saptanarak kayıt edilmektedir. Kayıtlar sonucu ortaya çıkan görüntü ve elde edilen istatistik veriler elektromagnetik ışıınımda değişikliğe neden olan cisim özelliklerinin uzaktan belirlenmesi için yorumlanmaktadır. Elektromagnetik ışıının bazı yüzeyler tarafından geçirilmesi, yutulması, ışıının yayılması, ışıının atmosferde saçılması ve ışıının yansıtılması gibi cisim ve enerji arasındaki bu bağıntılar uzaktan algılamanın temelini oluşturur [Örmeci, 1987].

Elektromagnetik spektrum ise 3×10^8 m/sn hızla hareket eden, dalga uzunluğu nanometrelerden kilometrelere kadar uzanan sürekli enerji ortamıdır. Bütün cisimler az yada çok elektromagnetik enerji yayarlar. Enerji maksimumu artan ısı ile kısa dalga uzunluklarına doğru kayar. Şekil 2.2' de elektromagnetik spektrum, dalga uzunlukları, isimlendirilmeleri ve algılama bandları ile gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Elektromagnetik spektrum ve algılama bandları

2.2 ATMOSFER İÇERİSİNDE ENERJİ ETKİLESİMİ

Kaynağına bakılmaksızın uzaktan algılayıcılar tarafından algılanan bütün ısınım atmosferde belirli bir yol kateder. Bu yol uzaydan çekilen fotoğraflar için güneş ışığının bütün atmosferden geçip, kaynaktan tekrar algılayıcıya ulaşmasında olduğu üzere atmosferde çok uzun bir yol olabilir veya uçakta taşınan ısı bir algılayıcı ile yeryüzündeki bir cisimden

doğrudan doğruya nesredilen ışıının algılanmasında olduğu Uzere atmosferde kısa bir yol olabilir. Bu nedenle atmosfer etkisi izlenen yol farkına bağılı olarak değışiklikler gösterir. genel anlamda atmosfer bir algılama sistemi tarafından algılanan ışıının yoğunluk ve spektral bileşimine etki yapar. Bu etkiler atmosferik saçılma ve yutulma sonucu ortaya çıkar [Curran,1989; Örmeci, 1987].

Güneş ışıını, atmosferde gaz molekülleri ve duman, buhar, toz, tuz kristalleri, yağmur damlaları gibi askıda maddeler (aerosol maddeler) nedeni ile saçılır. Saçılan ışık şiddeti,

$$I = I_0 \cdot \exp (-k \lambda^n S)$$

deyimi ile verilir.

Burada :

I_0 : Başlangıç anındaki ışık şiddeti
 λ : Işığın dalga uzunluğu
 k, n : Atmosfer koşuluna bağılı katsayılar
 S : Alınan yoldur.

Atmosferde Üç tür saçılma söz konusudur :

- ★ Rayleigh saçılması
- ★ Mie saçılması
- ★ Seçici olmayan saçılma.

Rayleigh saçılması, büyüklükleri gelen güneş ışıınının dalga uzunluğuna göre çok küçük olan gaz molekülleri nedeni ile ortaya çıkar. Rayleigh saçılması gökyüzünün mavi gözükmesinin nedenidir. Güneş ise mavi ışıının saçılmasından dolayı sarımtırak kırmızı gözükür. Saçılma olmasaydı gökyüzü siyah, güneş parlak beyaz renkte gözükenecekti. Rayleigh saçılması temiz bir atmosfer için geçerlidir.

Mie saçılması ışıınım dalga boyunun, saçan taneciklerle karşılaştırılabilir büyüklükte olması halinde oluşur. Mie saçılması genellikle dalga uzunluğu ile ters orantılı olup

(λ^{-1}) uzun dalga uzunluklu Rayleigh saçılmasına göre daha fazla etkilidir. Öğle Uzeri güneşin tam tepede olması durumunda atmosferde en kısa yol izleneceği için saçılma en alt düzeyde olur ve gökyüzü beyaz gözükür. Öğle Uzeri gökyüzünün mavi renkte gözükmesi Mie saçılmasına neden olan askıda maddelerin bulunmamasına, yani gökyüzünün bu maddeler yönünden temiz olmasına işaret eder.

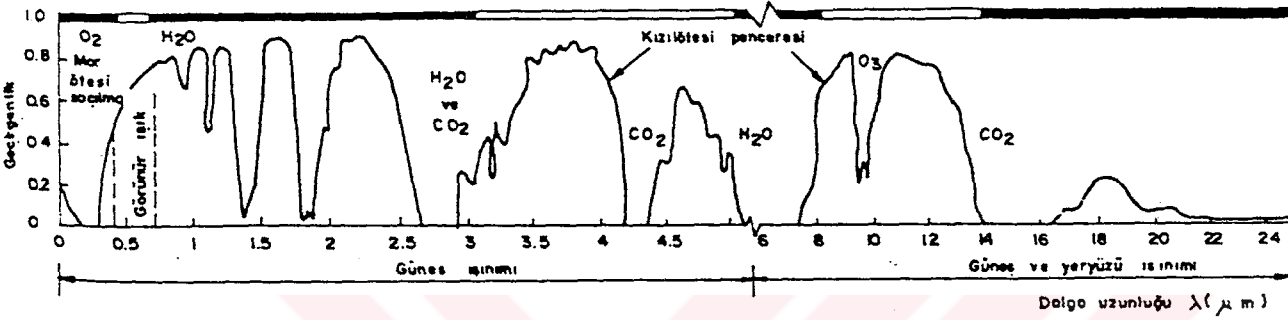
Seçici olmayan saçılım, taneciğin ısıtım dalga boyundan çok daha geniş olması halinde oluşur. Seçici olmayan saçılım genellikle atmosferin çok toz yüklü olması ve bu nedenle elde edilen verilerin önemli ölçüde zayıflaması sonucu meydana gelir.

Saçılmanın aksine yutulma, enerjinin yeryüzüne ulaşmadan atmosferde depolanmasına, bir bakıma kaybolmasına neden olmaktadır. Bir ortam içinde ortama giren büyük frekanslı bir enerji daha küçük frekanslı bir enerjiye dönüştürülmektedir. Örneğin, ışık ısıya dönüşür. Yutulma sonucu atmosfer ısınır. Güneş ısıtımını fazla miktarlarda yutulmaktadır. Atmosferde ısıtımını yutan kısımlar Yutulma Bandları, ısıtımını geciren kısımlar Atmosfer Pencereleleri olarak adlandırılır [Curran, 1989; Örmeci, 1987].

Gözün duyarlı olduğu bölge, güneş ısıtımının en yoğun olduğu ve atmosfer penceresi ile çakıştığı bölgedir. Yeryüzü ve Güneş'in ısı enerjilerinin algılandığı bölgelere kızılötesi pencereler adı verilmektedir. $3,0 \mu m-4,0 \mu m$, $4,4 \mu m-5,0 \mu m$ ve $8 \mu m-14,0 \mu m$ arasında ısı algılayıcılarla algılama yapılmaktadır. Yeryüzü ısıtımının %9'u $8,0 \mu m-14,0 \mu m$ arasındaki bölgeden uzaya ulaşmaktadır. Bu nedenle yeryüzü gece ve gündüz bu aralıktan algılanabilir.

Uzaktan algılamada, algılayıcıyı seçerken algılanmak istenen spektral bölgede atmosferin geçirgenliği, algılama yapılacak bölgedeki enerjinin kaynağı, şiddeti ve spektral bileşimi

incelenerek algılanan enerjinin o bölge hakkında ne gibi bilgiler verebileceği önceden ele alınmalıdır. Bu çalışma elde bulunan bir algılayıcı ile yapılacaksa algılayıcının duyarlık bölgesindeki atmosfer koşulları ve elektromagnetik enerjinin cisimlerle olan ilişkisi bilinmelidir [Örmeci, 1987; Swain, 1978].



Sekil 2.3 : Dalga uzunluğuna bağlı olarak atmosferin geçirgenliği

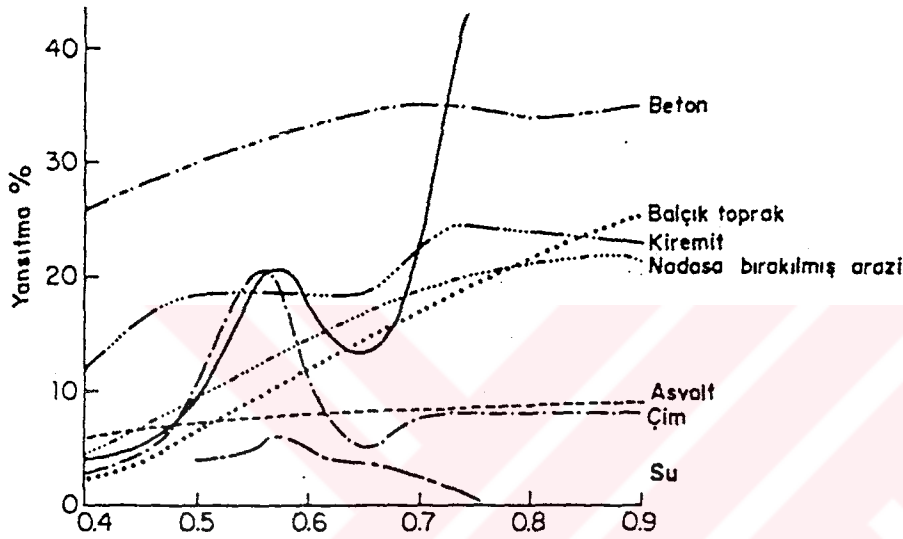
2.3 YERYÜZEYİNDEKİ OBJELERLE ENERJİNİN ETKİLEŞİMİ

Her cisim üzerine gelen ışığı farklı oranlarda yansıtır, yutar ve geçirir. Bu davranış Spektral Yansıtma Eğrisi denilen bir eğri ile gösterilebilmektedir. Bu eğriler cisimlerin spektral özelliklerini belirlemektedir. Uzaktan algılamada, algılayıcının duyarlı olduğu spektral bölgelerde, farklı özellikteki cisimler elde edilen görüntülerde farklı gri tonları (ölçme değerleri-parlaklık) olarak gözükmemektedir. Bu nedenle cisimlerin spektral yansıtma özelliklerinin bilinmesi, kanal seçiminde yardımcı olmaktadır. Sekil 2.4' de bazı cisimlere ait spektral yansıtma eğrileri gösterilmiştir.

Zemin için yalnız yansıtma ve yutulma söz konusudur. Zemin, farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip malzemelerin karmaşık bir karışımı olduklarından yansıtma ve yutulma

özellikleri de farklılık gösterir. Zeminin yansıtma özellikleri su faktörlere bağlıdır :

- ★ Zeminin su muhtevası
- ★ Zemini oluşturan minerallerin cins ve miktarları
- ★ Doku ve yüzey pürüzlülüğü
- ★ Organik madde muhtevası



Sekil 2.4 : Dalga uzunluğuna bağlı olarak spektral yansıtma eğrileri

Genel anlamda, bir zeminde su muhtevası arttıkça yansıtma özelliği azalır. Kuru bir zemin ıslak bir zemine göre daha fazla yansıtır ve bunun sonucunda siyah beyaz fotoğrafta daha açık renk tonunda gözükür. Suyun bulunmaması durumunda kaba dokulu zemin yüzey pürüzlülüğünün fazla olması nedeniyle koyu, ince dokulu zeminler ise açık renk tonunda gözükür [Örmeci, 1987].

Yansıtmayı azaltan diğer bir etkende zemindeki organik madde miktarıdır. Bütün diğer koşulların esit olması durumunda artan organik madde miktarı ile orantılı olarak zeminin yansıtma özelliği azalır ve sonuçta organik madde miktarı fazla olan zemin daha koyu renklerde gözükür [Örmeci, 1987].

2.4 UZAKTAN ALGILAMA SİSTEMLERİ

Uzaktan algılamada doğal kaynak olan güneş ışıınının, yansıtılan, saptırılan ve yüzeyde yutulup tekrar gönderilen kısımları algılanır. Çok geniş olan spektral bölgede yeterli duyarlılığın sağlanması için değişik türde algılayıcılara gereksinim duyulur. Görünür ve kızılötesi bölgede fotoğrafik emülsiyon, fotoelektrik aygıt gibi küçük alıcı açıklıklı ışıının algılayıcıları kullanılır. Daha büyük dalga uzunluklarında ise anten gibi geniş alıcı açıklıklı elektromagnetik alan algılayıcılara gerek vardır. Bu nedenlerle uzaktan algılama sistemleri, fotoğrafik sistemler ve fotoğrafik olmayan sistemler olarak iki ayrı kategoriye ayrılabilir.

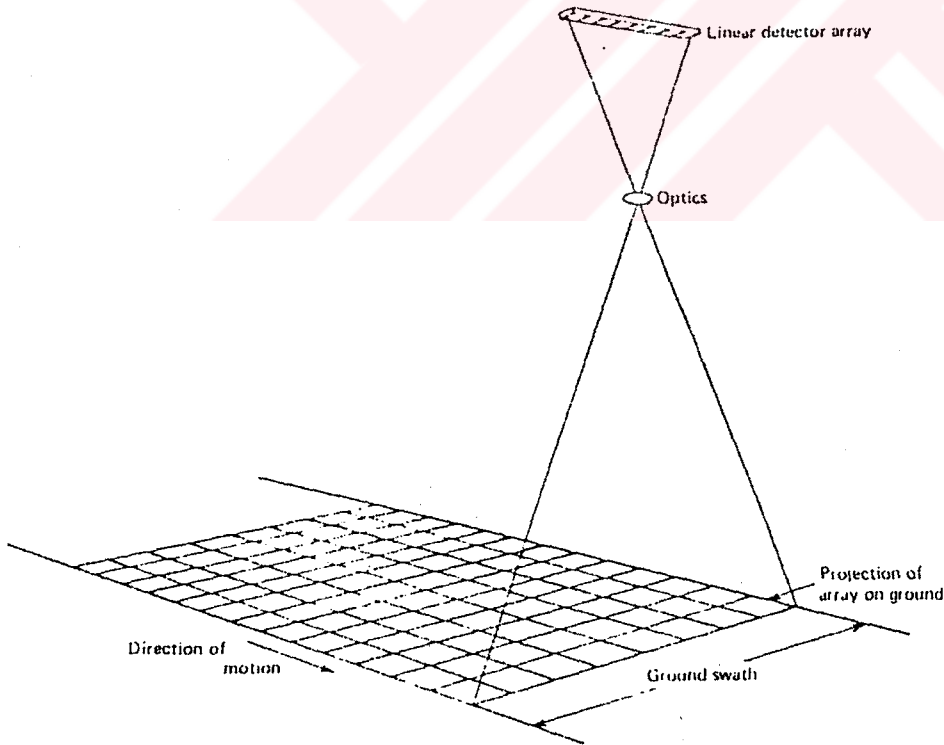
Fotoğrafik olmayan algılama sistemleri yapım ve çalışma sekline göre, elektro-optik sistemler ve mikrodalga algılayıcılar olarak iki ana sınıfta toplanabilir. Bu sistemlerde, yüzeyden yayılan elektromagnetik ışıının tarayıcılar ile algılanarak detektör adı verilen aygıtlarla elektriksel işaretlere dönüştürülür. Spektrumun değişik bölgelerine duyarlı algılayıcıların aynı anda kullanılması ile çok spektrumlu görüntü elde edilir [Örmeci, 1987].

İşınım detektörleri, herhangi bir uzaktan algılama sisteminin kritik bileşenleridir. Sistemin optik bölgesinde çözölen ışıının spektral bileşenleri, işınım detektörlerine gelir ve verilere işlenebilen bir forma dönüştürölür. Uzaktan algılama teknolojisinde genellikle kullanılan işınım detektörleri kabaca iki kategoriye ayrılır. Bunlar, ısı (termal) detektörler ve kuvantum (foton) detektörlerdir. Isıl detektörler, sıcaklığını, esas olarak gelen işınıma duyarlı olarak değıştirir ve çoğu durumlarda, elektriksel direnci, sıcaklığının bir fonksiyonudur. Bu detektörler bütün işınım dalga boylarına duyarlıdır fakat genel olarak çabuk değışen bir işınım girdisine çabuk duyarlı olmamaktadır. Foton detektörleri duyarlanmanın hızlı olması nedeniyle sayısallığa yönelik uzaktan algılama detektör sistemlerinde yaygın olarak

kullanılmıştır. Fakat bunların da bir dezavantaj olarak duyarlı olduğu spektral bölgeler dardır [Swain, 1978].

Elektron görüntüleyici kameralarda, ortikon ve vidikon adı verilen iki ana tür görüntü tüpü kullanılmıştır. En yaygın kullanım alanı bulan görüntü tüpü ise geri dönen demetli vidikon (Return-Beam Vidicon, RBV) tüpüdür.

Elektro-optik sistemlere örnek olarak, optik-mekanik tarayıcılar, optik-elektronik tarayıcılar, televizyon kamerası ve spektrometre sayılabilir. Optik tarayıcılar yeryüzünün uçus doğrultusuna dik doğrultuda ince şeritler halinde taranarak görüntü elde edilmesini sağlarlar. Bir satır dizi tarama (push-broom) prosedürünün şematik gösterimi şekil 2.5' de verilmiştir.



Sekil 2.5 : Bir satır-dizi tarayıcının şematik gösterimi

Cismin ısınım gücünün hızla azaldığı uzun dalga uzunluklarını içeren spektral bölgede optik sistemlerle algılama yapma olanağı kalmaz. Bu durumda algılayıcı sistem olarak antenlerin kullanıldığı mikrodalga algılama sistemleri söz konusu olur. Bu sistemler aktif ve pasif mikrodalga algılama sistemleri olarak iki kategoriye ayrılır. Burada "aktif" terimi, kendi enerji ve ısıma kaynağını kendi sağlayan bir algılayıcıyı tanımlamaktadır. RADAR (Radio Detecting And Ranging) kelimelerinin baş harflerinden oluşan ve telsizle saptama ve uzaklık ölçme anlamına gelen aktif bir algılama sistemidir. Uzaktan algılamada kullanılan radar sistemlerine örnek olarak SLAR (Side-Looking Airborne Radar) sistemi başta sayılabilir. Sistem genel olarak SAR (Synthetic Aperture Radar) olarak da anılmaktadır [Örmeci, 1987; Swain, 1978; Lillesand, 1987].

Pasif sistemler için de mikrodalga radyometresi örnek gösterilebilir. SEASAT, ERS (European Space Agency), RADARSAT (Kanada) ve JERS (Japonya) uydu serilerinde mikrodalga algılayıcılar kullanılmıştır [Rees, 1990].

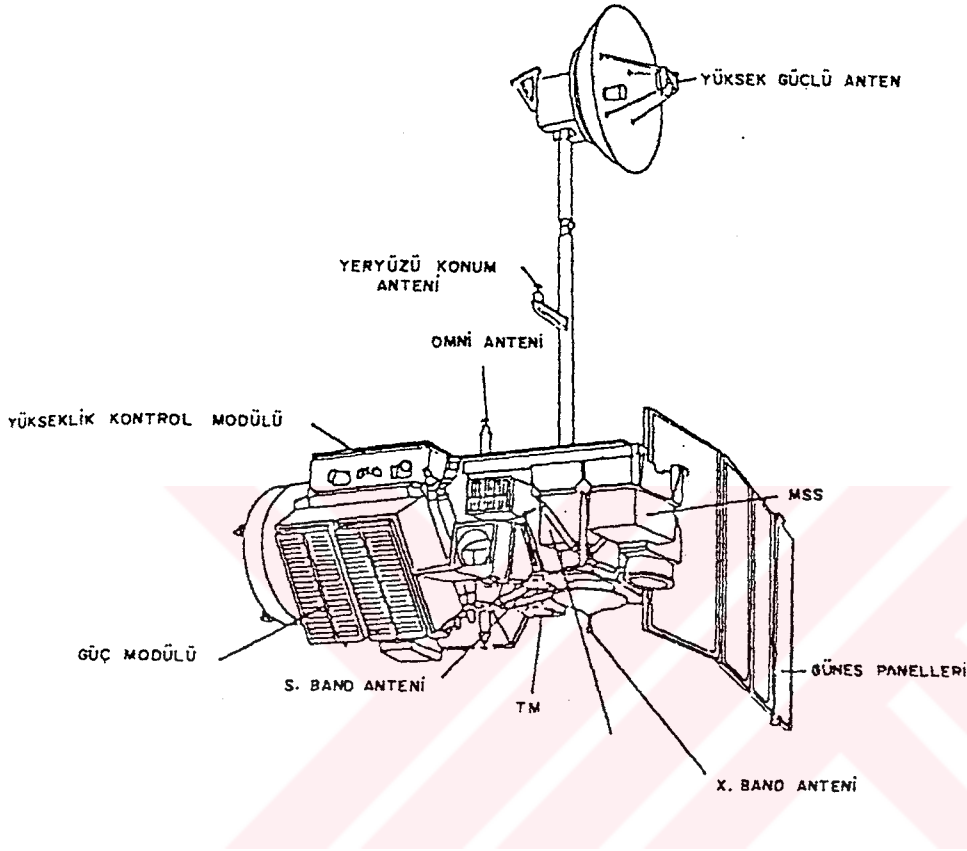
BÖLÜM 3 : UZAKTAN ALGILAMA UYDULARININ VE ALGILAMA SİSTEMLERİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Onlarca yıldan beri insan, yeryüzünü bir uzaklıktan gözlemek ve böylece hakkında daha çok şey öğrenmek için yeryüzünden yukarı doğru yükselmektedir. Hava fotoğrafçılığı, bu amaçla yoğun bir biçimde kullanılmış ve yıllardan beri uzaktan algılama için fotoğrafik algılayıcılar kullanılarak ileri bir teknoloji geliştirilmiştir. Yeryüzünü gözleyen algılayıcı sistemleri taşıyan uyduların son yıllardaki gelişimi ile, yeryüzeyi hakkında çok fazla miktarlarda fotoğrafik ve diğer formda verilerin elde edilmesi sağlanmıştır. Bu uydu verileri gereksinime yönelik yararlı bilgilere indirgenebilmeleri halinde insanlık için çok değerlidir. Modern, hızlı digital bilgisayarlar, bu veri indirgeme işi için çok uygundur ve bilgisayar teknolojisinin, yeni gözlem sistemleri ile sentezi, yaşadığımız dünya hakkında doğruluklu ve güncel bilgiler elde edebilme yeteneğimizi tamamen değiştirmiştir [Maktav, 1989].

3.1 LANDSAT UYDULARININ ÖZELLİKLERİ

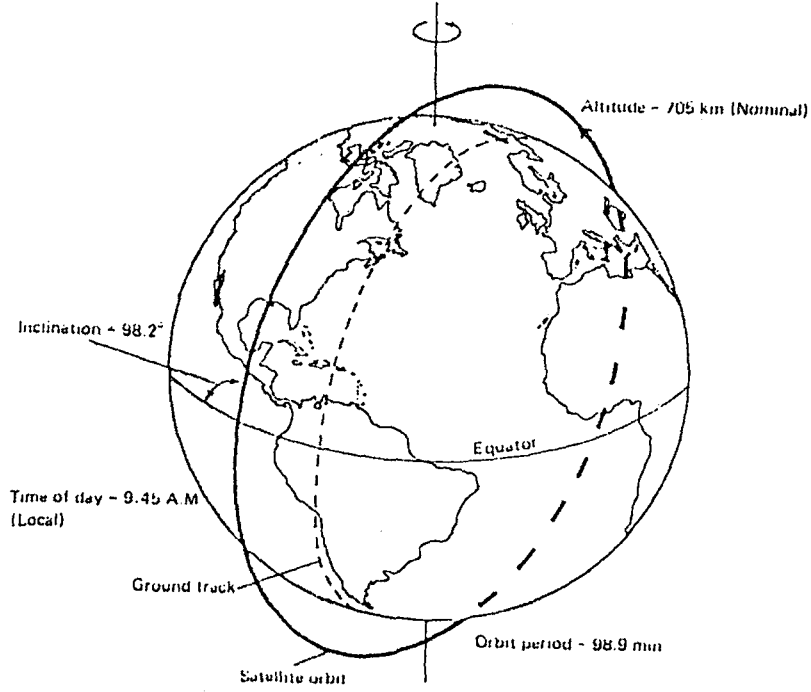
Uzay uçuşları ilk olarak 1965 yılında NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından başlatılmıştır. İnsanlı uzay aracı Gemini yeryüzünün yaklaşık 2500 fotoğrafını çekmiştir. Bunu izleyen yıllarda LANDSAT uyduları serisi projelendirilmiş ve LANDSAT serisinin ilkinin oluşturan ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellites) uydusu 1972 tarihinde yörüngeye oturtulmuştur. Bu uydu serisinin adı SEASET (Sea Satellite) osinografik uyduları ile karışmaması için 1975 tarihinde LANDSAT-1 olarak değiştirilmiştir. Birinci jenerasyon LANDSAT-1-2-3 uydularını ikinci jenerasyon ise LANDSAT 4-5 uydularını kapsar. LANDSAT-5 'de LANDSAT-4 gibi MSS ve TM

algılayıcıları taşımaktadır.LANDSAT-5 uydusu Şekil 3.1' de gösterilmiştir.

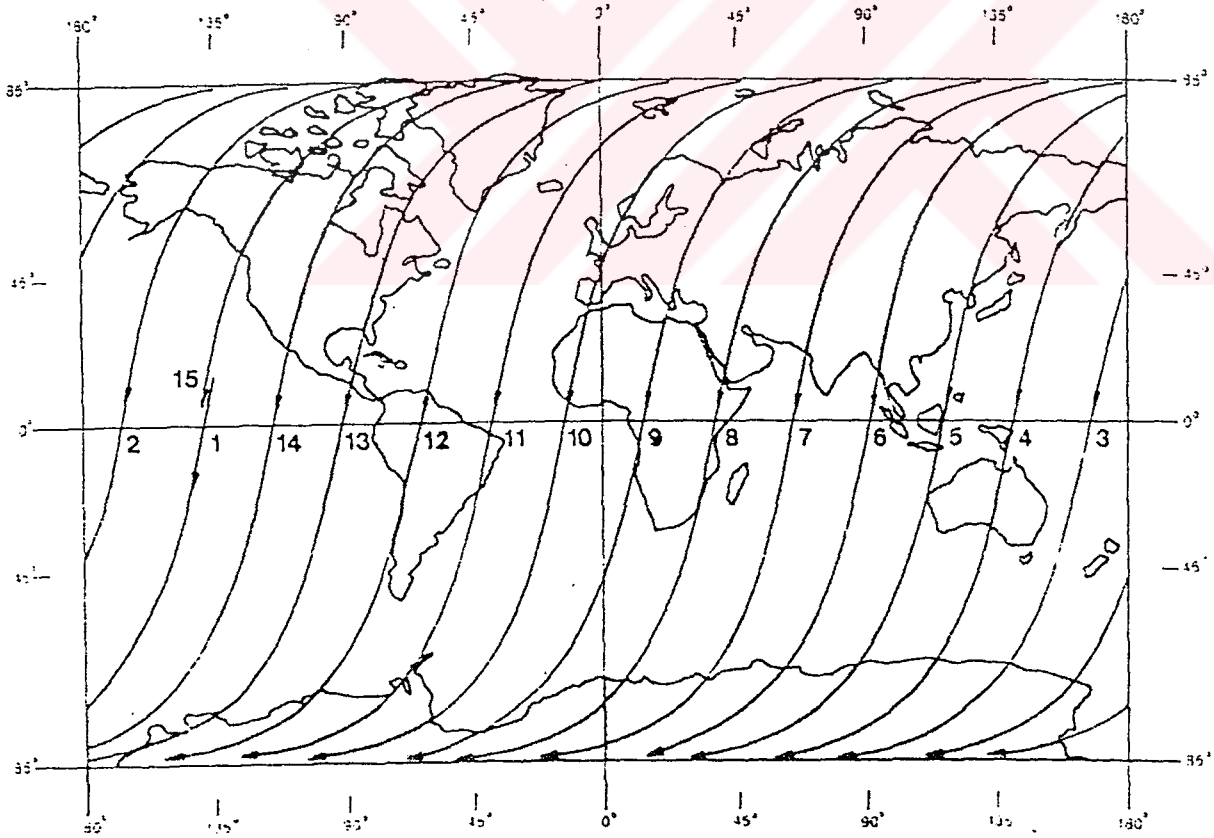


Şekil 3.1 : LANDSAT-5 uydusu

LANDSAT-5, kuzey-güney doğrultusunda bir günde yaklaşık 14.6 dilime ayırarak dünyayı taramaktadır.Dünya etrafında 1 saat 39 dakikada bir tur atmaktadır. Ekvatordan geçen iki yörünge arasındaki uzaklık 2752 km. dir. Yeryüzünün tamamen taranması 16 gün sürmektedir. Bunun için gerekli yörünge sayısı ise $14.6 \times 16 - 1 = 233$ 'tür. Yörüngeler her gün 1.54^0 ötelenmektedir. 1.günün 2.yörüngesi ile 16. günün 1.yörüngesi üst üste çıkıyarak yeryüzünün tamamı örtülmektedir [Denegre,1989 ;Doyle,1982].



Sekil 3.2 : LANDSAT 5'in günese senkronize yörüngesi



Sekil 3.3 : LANDSAT 5 algılama kuşakları

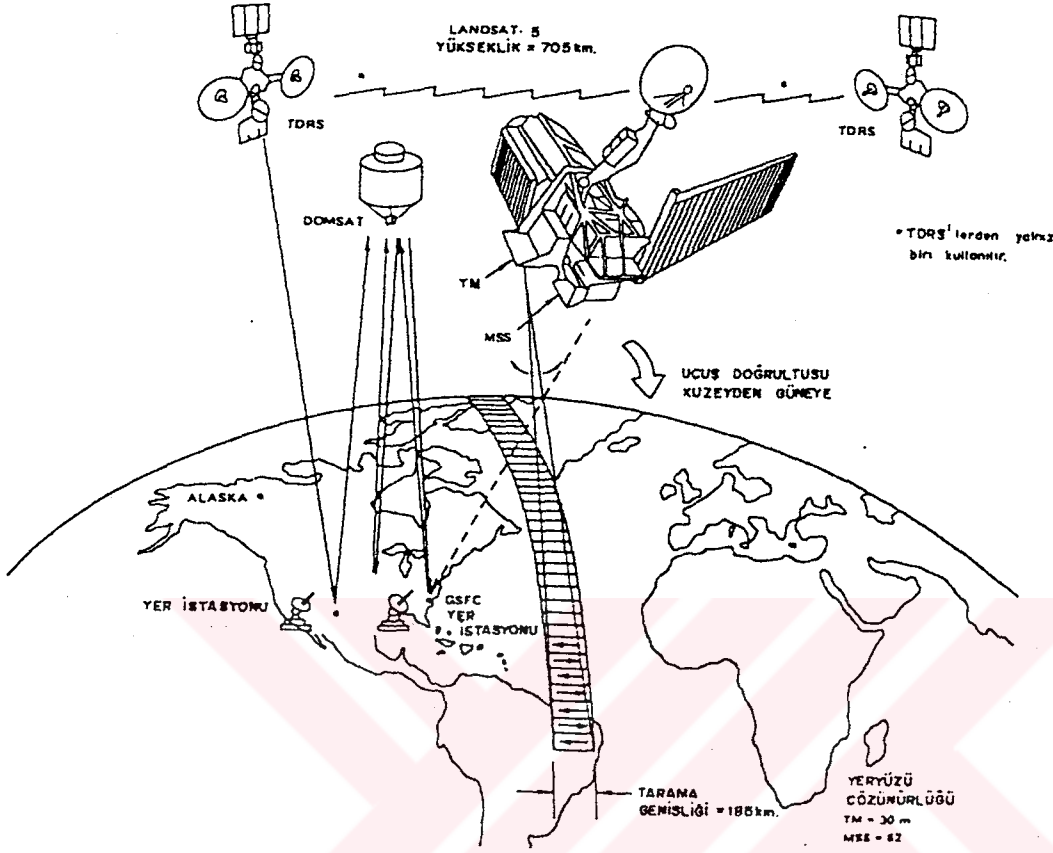
Tablo 3.1 : LANDSAT-1,-5 Uydularının karakteristikleri
[Lillesand,1987]

Uydu	Göreve		RBV	MSS	TM	Yörünge
	Başlama	Bitiş				
LANDSAT-1	23.07.1972	06.01.1978	1-3	4-7	-	18 gün 900 km
LANDSAT-2	22.01.1975	25.02.1982	1-3	4-7	-	18 gün 900 km
LANDSAT-3	05.03.1978	31.03.1983	A-D	4-8 ^a	-	18 gün 900 km
LANDSAT-4	16.07.1982	-	-	1-4	1-7	16 gün 705 km
LANDSAT-5	01.03.1984	-	-	1-4	1-7	16 gün 705 km

.^a 8.ci band fırlatılıştan kısa bir süre sonra devre dışı kaldı

Tablo 3.2 : LANDSAT 1-5 kullanılan algılayıcılar ve özellikleri
[Lillesand,1987]

Algılayıcı	Uydu	Duyarlılık (μm)	Çözünürlük (m)
RBV	1,2	0.475-0.575	80
		0.580-0.680	80
		0.690-0.830	80
	3	0.505-0.750	30
MSS	1-5	0.5-0.6	79/82
		0.6-0.7	79/82
		0.7-0.8	79/82
		0.8-1.1	79/82
	3	10.4-12.6	240
TM	4,5	0.45-0.52	30
		0.52-0.60	30
		0.63-0.69	30
		0.76-0.90	30
		1.55-1.75	30
		10.4-12.5	120
		2.08-2.35	30

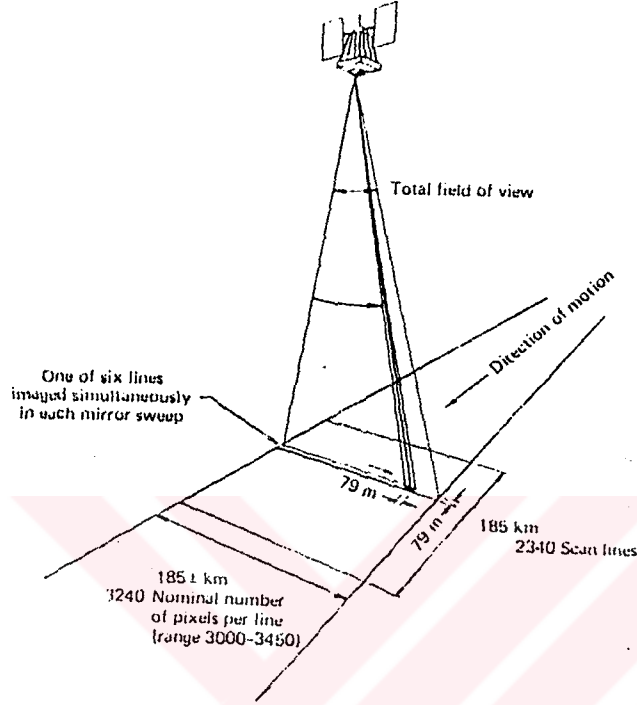


Şekil 3.4 : LANDSAT-5 verilerinin yeryüzüne gönderilişi

LANDSAT 4-5 iki veri gönderme uydusundan birine TDRS (Tracing and Data Relay Satellite) veriyi aktarmakta, oradan da veriler yeryüzüne gönderilmektedir. Bir yeryüzü haberleşme uydusu olan DOMSAT (Domestic Communication Satellite) sistemi ile verinin Goddard Uzay Uçuş Merkezi'ne (GSFC, "Goddard Space Flight Centre") iletilmesi sağlanmaktadır (Şekil 3.3). Elde edilen veri GSFC'den alt bölüm olan EROS veri merkezine iletilmektedir.

Herbir LANDSAT görüntüsü yaklaşık 33000 km^2 gibi büyük bir alanı kapsamaktadır. LANDSAT verileri başta EROS veri merkezi

olmak üzere bir çok bölgesel uzaktan algılama merkezinden elde edilmektedir. Çözünürlükleri TM'lerle 30 m'ye ulaşmıştır. Bu çözünürlük klasik yolla elde edilen 1:100000 ölçeğindeki haritanın inceliğine karşılık gelmektedir.



Sekil 3.5 : LANDSAT MSS algılama konfigürasyonu

TM, "Tematik Haritalayıcı" geliştirilen en yeni algılama sistemi olup veriler 7 ayrı kanalda toplanmıştır. 6. kanalın dışındaki kanalların çözünürlüğü, diğer bir deyişle görünür ve kızılötesi kanalların görüntü elemanlarına karşılık gelen her bir pikselin yeryüzünde kapladığı alan $30 \times 30 \text{ m}^2$, termal kanala karşılık gelen 6. kanalda ise $120 \times 120 \text{ m}^2$ dir. Tablo 3.3'de LANDSAT MSS ve TM algılayıcılarının bir karşılaştırması verilmiştir. TM algılayıcıları ile kaydedilen dalga uzunlukları ve uygulama alanları Tablo 3.4' de özetlenmiştir [Malaret, 1985].

15 x 15 pankromatik modda da algılama yapabilecek yeni bir tematik haritalayıcıyı (Extended Thematic Mapper, TM) taşıyacak LANDSAT-6'nın Aralık 1991'de fırlatılması planlanmış fakat bir

kaza sonucu uydu yörüngesini yakalayamayıp uzayda kaybolmuştur.

Tablo 3.3 : LANDSAT- 4,5 MSS ve TM karşılaştırması

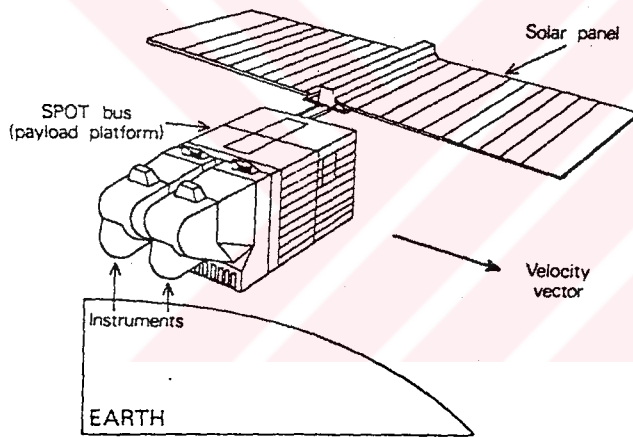
	Cok spektrumlu tarayıcı (MSS)	Tematik haritalayıcı (TM)
dalga bandı	4	7
uzaysal çözünürlük (IFOV) metre	79	30m 1-5 ve 7 120m 6.band
Standart CCT piksel boyutu	59 x 79	30 x 30
IFOV derece	11	17
gri level	64	256
Detektör sayısı	6	16
Ayna kayıt modu	ileri	ileri ve geri
Görüntü başına CCT (1,600 bpi)	1	7
Görüntü başına rölatif fiyat (1984)	1	5

Tablo 3.4 : TM algılayıcısı kanalları

KANAL No.	ALGILANAN SPEKTRAL BÖLGE nm	TEMEL UYGULAMA ALANLARI
1	0,45-0,52	SU PENETRASYONU, SIĞ SULARLA KAPLI ALANLARIN HARİTALANMASI BİTKİ AYIRIMI
2	0,52-0,60	SULARDA YOSUN VE BENZERİ CANLILARIN BELİRLENME- Sİ,ARAZİ KULLANIMI, SAĞLIKLI BİTKİ BELİRLENMESİ
3	0,63-0,69	JEOMORFOLOJİK HARİTA, BİTKİ ÖRTÜSÜ HARİTASI, KİRLİ SULARIN BELİRLENMESİ
4	0,76-0,90	SU KALİTESİ VE BİTKİ AYIRIM ÇALIŞMALARI
5	1,55-1,75	KİRLİ SULARIN BELİRLENMESİ
6	10,4-12,5	SULARDA ISI FARKLILIK HARİTASI BİTKİSEL ISI DA- GILIM ÇALIŞMALARI
7	2,08-2,35	KAYA-TOPRAK AYIRIMI, BİTKİSEL ÇALIŞMALAR

3.2 SPOT UYDULARININ ÖZELLİKLERİ

1978 yılında Fransız hükümeti SPOT (Systeme Probatoire d'Observation de la Terre) programını başlatmıştır. Bundan kısa bir süre sonra İsveç ve Belçika'da bu programa katılmaya karar vermişlerdir. Fransız "Centre National d'Etudes Spatiales" (CNES) tarafından tasarımılanan SPOT programının ilk uydusu olan SPOT-I, 21 Şubat 1986'da Fransız Guyan'ında Kourou Launch Range'den bir Ariane roketi ile fırlatılmış ve yörüngeye oturtulmuştur. 30 dan fazla ülkeye dağılmış yer istasyonları ile bu uydu sayesinde uzaktan algılamada yeni bir uzay çağı başlatılmıştır [Munier,1989].



Sekil 3.6 : SPOT uydusu

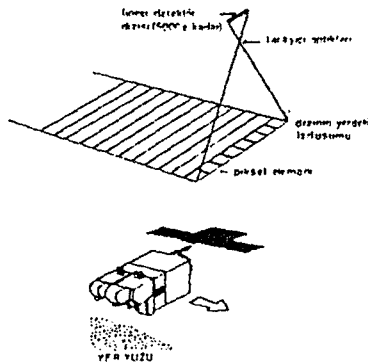
LANDSAT uyduları gibi SPOT uydusu da dairesel, kutba yakın güneşe senkronize, 832 km yükseklikte, 98.7° eğimde 26 günlük bir yörüngeye sahiptir. Sistem yaklaşık 1750 kg ağırlığında ve $2 \times 2 \times 3.5$ m boyutlarındadır. Solar panel yaklaşık 15.6 m uzunluğundadır. Uyduda iki tane HRV (High Resolution Visible) ana tarayıcı mevcuttur. HRV iki ayrı modda algılama yapacak biçimde dizayn edilmistir. Bunlar $0.51 \mu m - 0.73 \mu m$ spektrumun görünür bölgesinde, 10 m çözünürlüklü pankromatik (siyah-beyaz)

mod ve $0.50 \mu m - 0.59 \mu m$, $0.61 \mu m - 0.68 \mu m$ ve $0.79 \mu m - 0.89 \mu m$ spektral bölgelerinde 20 m çözünürlüklü çok spektrumlu (renkli kızılötesi moddur [Lillesand, 1987; Bahr, 1991]).

Her algılayıcı 4.13° 'lık bir IFOV ile 60 km.'lik bant genişliğine sahiptir. Her iki HRV için optik sistemin birinci elemanı olan ayna yersel kumanda ile her seferinde 0.6° ile 45 defada toplam 27° her iki yana döndürülmektedir. Maksimum 27° değerinde bant genişliği 80 km'dir. İki algılayıcı, komşu örtü alanında birlikte çalıştığında yer örtüsü 117 km 'dir ve her iki komşu alan birbirlerini 3 km örtmektedir [Lillesand, 1987].

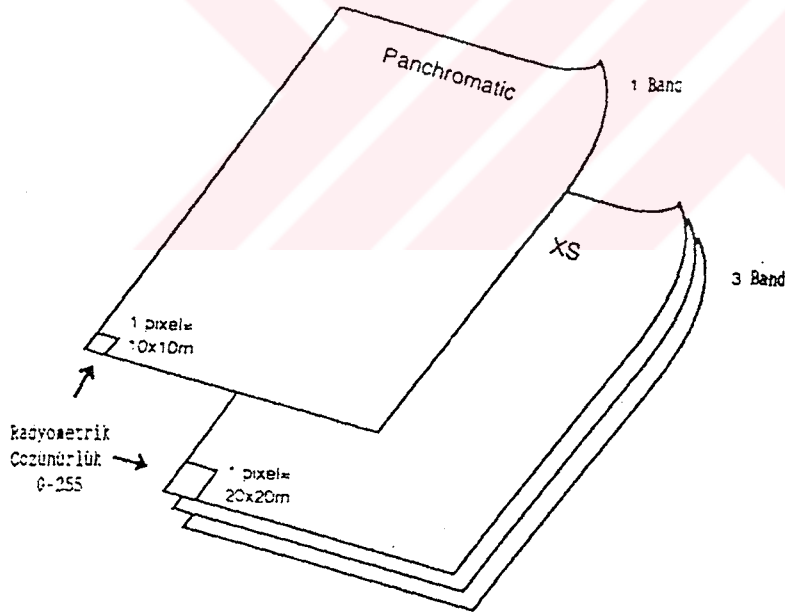
Pankromatik modda çalıştığında her satırdaki piksel sayısı 6000-10400'dür. Bu modda detektörlerin tümü örneklendiğinde 10 m'lik uzaysal çözme elde edilir. 1:250000 ölçeğindeki haritaların yapımında ve 1:50000 - 1:100000 ölçeğindeki haritaların da güncelleştirilmesinde kullanılmaktadır.

Çok spektrumlu modda yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi olmak üzere üç bölgede algılama yapar. Her satırdaki piksel sayısı 3000 - 4900'dür. Uzaysal çözme 20 m'dir. Bu mod kirlilikten bitki örtüsüne kadar birçok çevresel sorunların incelenmesinde kullanılır [Maktav, 1989].



Şekil 3.7 : SPOT HRV sistemi

LANDSAT serilerinde olduğu gibi SPOT programı da bir dizi sistemin daha yörüngeye oturtulmasını kapsamaktadır. Bu amaçla SPOT-2 tasarımlanmıştır. Bunun yanında SPOT-3 ve -4 için birçok dizayn değişiklikleri planlanmaktadır. Bu değişiklikler $1.58 \mu m - 1.75 \mu m$ arasındaki yakın kızılötesi bölgede 20 m çözünürlüklü bir band ile datanın vejetasyonu izleme kapasitesinin arttırılmasını içermektedir. Ayrıca yaklaşık 2200 km gibi çok geniş bir anlık görüş alanı yaratılması düşünülmektedir. Yukarıda bahsedilen yakın kızılötesi band ve osinografik çalışmalar için tasarlanan $0.43 \mu m - 0.46 \mu m$ arasındaki bir mavi band ile toplam 5 spektral bantta 10 byte data kaydedilmesi planlanmaktadır [Theodossiou,1990; Lillesand, 1987].



Sekil 3.8 : SPOT pankromatik ve XS

3.3 ALGILAYICI VE TARAYICILAR

Uzaktan algılamada alet donanımı, spektral veri sistemleri ve görüntü oluşturan sistemler adı verilen iki genel kategoriye ayrılır. Spektral veri sistemleri, genellikle görüntü oluşturmaz ancak hedef hakkında detaylı spektral bilgiler verir. Görüntü oluşturan sistemler ise, hedefin uzaysal yapısı ile ilgili bilgilerin yanı sıra bazı spektral bilgiler de verirler.

Spektral veri sistemleri, verileri spektral tarama ile elde ederler. Uzaktan algılamada bu sistemler genellikle arazi araştırmalarında kullanılmaktadır.

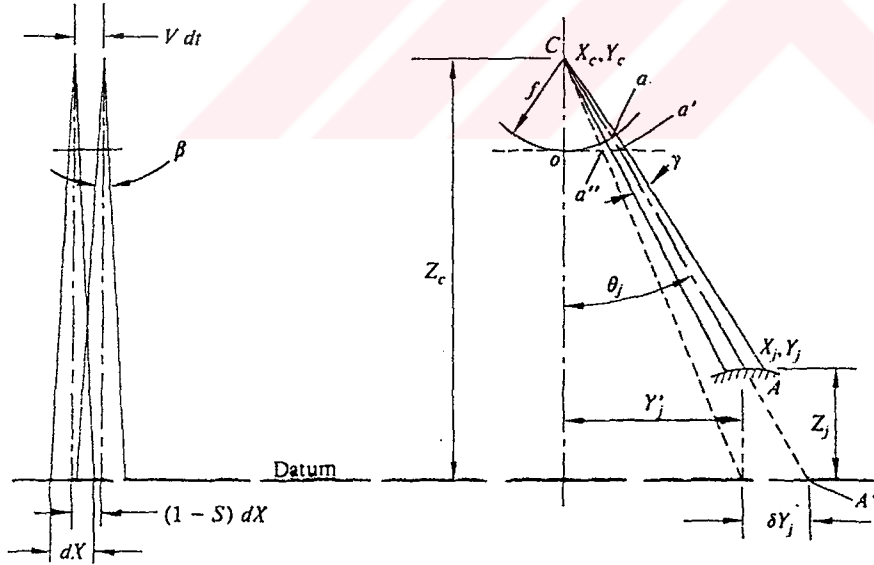
Görüntü oluşturan sistemler ise iki tiptir : çerçeveleme sistemleri ve tarama sistemleri. Bir çerçeveleme sisteminde pikseller temel görüntü birimi olan çerçeve içinde eş anlı elde edilirler. Bir tarama sisteminde ise pikseller ardışık elde edilirler ancak elde edildikten sonra bir çerçeve formatında düzenlenebilirler. Görüntü oluşturan sistemlerin bu her iki tipi de genellikle spektrumda seçilen dalga boyu bölgelerinde bir dizi ölçmeden oluşan çok spektrumlu pikseller üreterek spektral bilgiler verirler.

3.3.1 ÇOK SPEKTRUMLU TARAYICI (MSS)

Çok spektrumlu tarayıcılar görüntüyü ardışık bir biçimde oluştururlar. Hedef genellikle bir optik-mekanik bir sistemle, satır tarama şeklinde (her defasında bir satır olmak üzere) taranır. Işınım, anlık görüş alanını (IFOV) oluşturan yakınsak optikten geçer. Toplam görüş alanı (TFOV) ise optik sistemin tarama hareketi ile oluşturulur. Daha sonra ışınım, prizmalar, optik ağırlar, filtreler kullanılarak kendi spektral bileşenlerine ayrılır. Bir dizi detektör, ayrılan ışınımı algılar. Her detektör duyarlı olduğu dalga boyu bölgesini algılayabilecek şekilde düzenlenmiştir. Detektörlerden gelen sinyaller kuvvetlendirilir, sayısala dönüştürülür ve sonra

aracın içinde kaydedilir ve alıcı istasyona iletilir. Doğal görüntü ve kalibrasyon kaynakları da taranarak ilgili bilgiler kaydedilir ve iletilir [Swain, 1978].

Çok spektrumlu tarayıcıyı taşıyan aracın hareketi algılayıcının iz boyunca tarama hareketini sağlar. Satır tarayıcının kendisi ise ize dik tarama hareketi yapar. Şekil 3.9'da ideal koşullarda, bir çok spektrumlu tarayıcının geometrisini göstermektedir. Burada keyfi bir i tarama satırındaki j . 'ci' çözölen elemanın kaydı göz önüne alındığında, algılayıcının tam düz doğrultuda, datum olarak adlandırılan bir referans düzleminden sabit bir yükseklikte ve sabit bir yer hızında hareket ettiğı varsayıldığında koordinatları (X_c, Y_c, Z_c) dir. Burada ayrıca algılayıcının enine eğikliği, boyuna eğikliği veya dönüklüğü göz önüne alınmamakta ve her tarama satırının anlık kaydedildiğı varsayılmaktadır.



Şekil 3.9 : Çok spektrumlu tarayıcının ideal geometrisinin parametreleri

β , tarayıcının serit boyunca veya X doğrultusundaki açısal çözmesini, γ açısı ise tarama boyunca veya Y doğrultusundaki açısal çözme göstermektedir. γ ve β açıları anlık görüş alanını (IFOV) tanımlar. Taranan toplam açı (2α) toplam görüş alanıdır (TFOV). Tarayıcı optiğin odak uzaklığı f , tarama hızı V dir. Her tarama satırı için ortalama öteleme $(1-S)dX$ dir. Burada S bir çeşit örtü alanı faktörüdür. Z_c tarayıcının i tarama satırını kaydettiği anda datumdan olan yüksekliğini göstermek üzere datumdaki tarama genişliği

$$dX = Z_c \beta$$

olarak tanımlanır. Serit boyunca görüntü elemanı büyüklüğü

$$dX = f \beta$$

olmaktadır. Sekil 3.9'dan

$$V dt = (1-S) dX$$

bulunur. Bu parametrelere bağlı olarak algılanan bir görüntü elemanının yer koordinatları

$$X_j = X_c = X_0 + (1-S) \frac{Z_c}{f} X$$

$$Y_j = Y_c + (Z_c - Z_j) \tan \theta_j$$

Burada X_0 ilk tarama satırının X koordinatıdır.

$$\theta_j = \frac{Y_j}{f}$$

ile verilen θ_j açısı kayıt anındaki tarama açısıdır. Sekil 3.9 da belirtilen Uslu büyüklükler tarayıcıya aittir.

Uygulamada bu ideal geometri, değişik dış yöneltme etkileri nedeniyle gerçekleştirilemez. Sapmalar nedeniyle farklı tarama açılarında yerde çözülen elemanın büyüklüğü değişir. Bu durumda

X doğrultusundaki eleman büyüklüğü,

$$e_{Xj} = \beta (Z_c - Z_j) \sec \theta_j$$

olur. Tarama satırı boyunca Y doğrultusundaki eleman büyüklüğü eşitliğin θ_j 'ye göre türevi alınarak

$$e_{Yj} = (Z_c - Z_j) \sec^2 \theta_j d\theta_j$$

elde edilir.

Geniş çözme açıları ve geniş tarama açıları önemli distorsiyonlara yol açar. Bu durum uydu tarayıcılarında bir problem değildir. Çünkü uydu tarayıcılarda tarama açıları oldukça küçüktür. Örneğin LANDSAT için toplam tarama açısı yaklaşık 11° dir. Verilerin bir silindirik yüzey üzerine görüntülenmesi nedeniyle ek bir distorsiyon ortaya çıkar. Bu distorsiyon şekil 3.9'dan görüldüğü gibi d' görüntü konumu ile a gerçek konumu arasındaki farktır. Bu öteleme

$$\delta y = Oa' - Oa = f(\tan \theta_j - \theta_j)$$

ile ifade edilir. Arazideki değişimin göz önüne alınması durumunda, yersel öteleme

$$\delta Y_j = Z_j \tan \theta_j$$

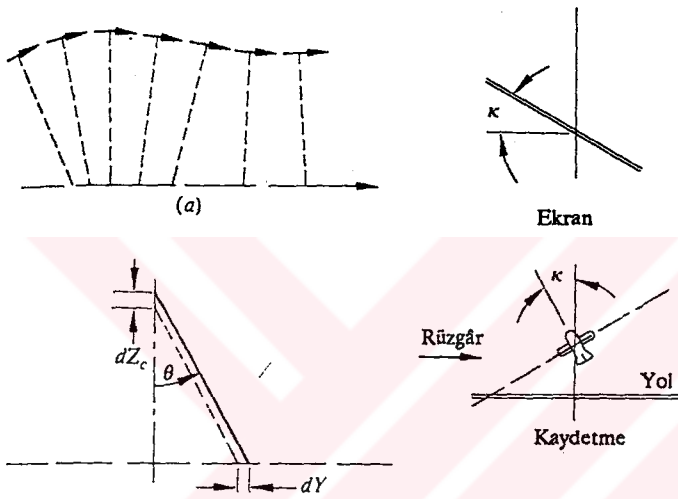
ile verilebilir. Burada Z_j datuma göre eleman yüksekliğidir. ve Y_j de, yer ölçeğinde sonuc olarak elde edilen Y ötelemesidir.

Böylece bu elemanın doğru görüntü konumu d' noktasında olacaktır. Tek bir tarama için gereken çok kısa zamanda aracın hızının sabit kalacağı varsayımı ile herhangi bir noktada X_j koordinatı,

$$X_j = X_c + \frac{Y_j}{2\pi f} t_r v$$

olarak yazılabilir. Burada Y_j tarama boyunca j noktasına olan görüntü uzaklığıdır. t_r terimi tarayıcı aynanın dönme periyodu, f ise tarayıcı optiğin odak uzaklığıdır.

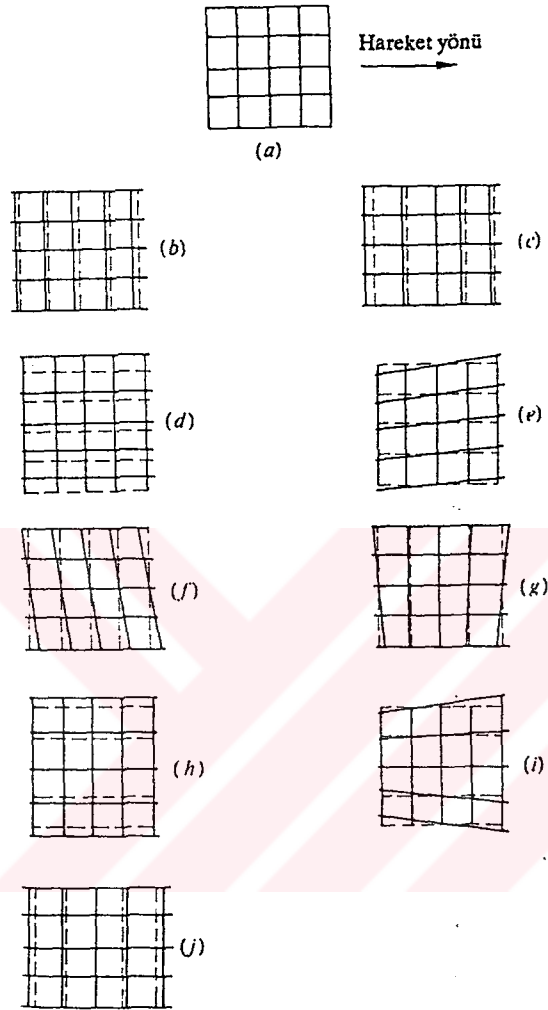
Algılayıcı platformun hareketindeki düzensizlikler şekil 3.10 da gösterilmiştir. Platformun bu düzensizliklerinin, teorik olarak kafes biçiminde varsayılan görüntüyü ne şekilde etkilediği gösterilmektedir [Snyder,1982; Swain, 1978].



Şekil 3.10 : Algılayıcı platformun dinamik dengesizliklerinin etkisi

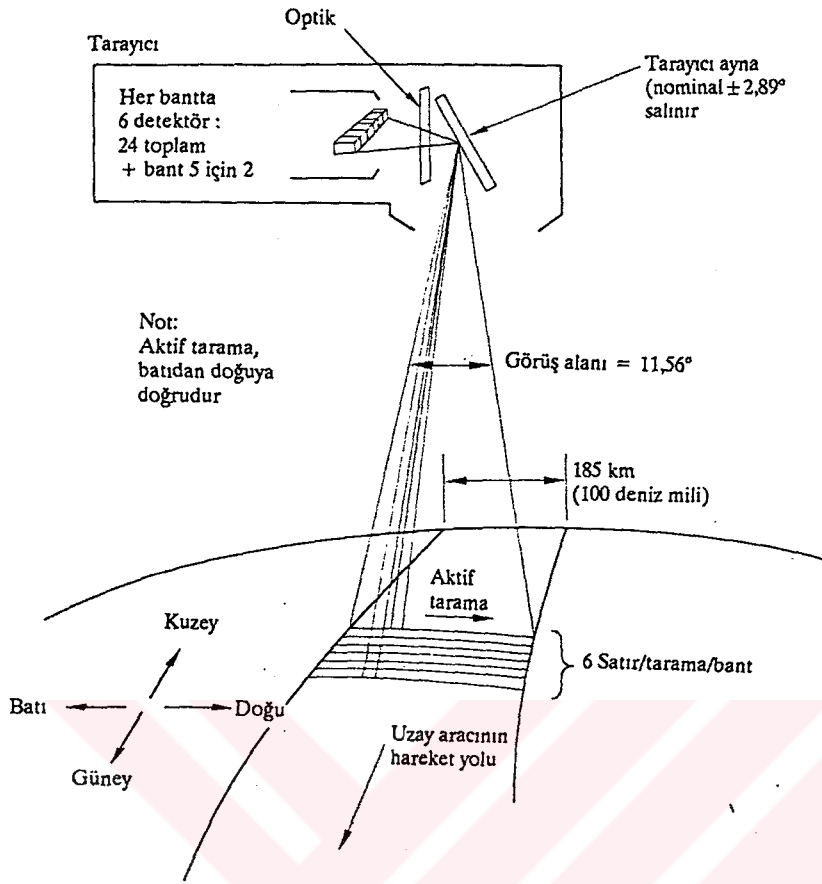
Sekil 3.11'de farklı yönelim düzensizlikleri sonucu oluşan algılayıcının yeryüzündeki örtmesi gösterilmektedir. Burada

- a) Teorik görüntü örtüsü
- b) Boyuna eğiklik
- c) Doğrusal hız değişimi
- d) Enine eğiklik
- e) Doğrusal enine eğiklik değişimi
- f) Dönüklük
- g) Doğrusal dönüklük değişimi
- h) Yükselti
- i) Doğrusal yükselti değişimi
- j) Hız veya doğrusal boyuna eğiklik değişimi ile ilgilidir.



Sekil 3.11 : Farklı yönelim düzensizliklerinden dolayı algılayıcının yeryüzündeki örtmesi

Sekil 3.12 LANDSAT MSS'in sematik bir diyagramını göstermektedir. Tarayıcının dört spektral bandı vardır ve aynanın her salınımında altı tarama satırı oluşturulmaktadır. Tarayıcı ayna dönel olamayıp düzlemsel titreşen tiptendir. Tablo 3.5'de tarayıcının bazı parametreleri özetlenmiştir.



Sekil 3.12 : LANDSAT MSS tarayıcısının şematik diyagramı

LANDSAT'ın V/H'sı sabit olduğundan ve analogtan dijitalle dönüştürme aracın içinde yapıldığından veri hızını minimum yapmak için bitişik tarama tercih edilir.

Bir düzlem ayna kendi düzlemindeki bir eksen etrafında bir θ açısı kadar döndüğünde, demetin geliş düzlemine dik ise, yansıtılan demetin, 2θ lık bir açı ile dönmesine neden olur. Bu LANDSAT taki durumdur. LANDSAT 185 km lik bir tarama genişliğine sahiptir ve yükseltisi 915 km dir. FOV ise,

$$2\theta = 2 \tan^{-1} \frac{185}{2 \times 915} = 11.56^\circ$$

olacaktır.

Tablo 3.5 : LANDSAT MSS performans parametreleri

Parametreler, birimler	Band	Nominal
Anlık görüs alanı, mrad	1-4 5	0.086 0.258
Spektral bantta ortalama fotokatot duyarlılığı, mA/W	1 2 3	34.5 25.0 12.0
PMT duyarlılık iyileştirme faktörü	1-3	2.40
Elektriksel bant genişliği, kHz	1-4 5	42.3 14.1
Kararmayı içeren optik verim	1-4 5	0.26 0.34
Elektron çoğaltıcı gürültü faktörü	1-3	1.40
Ön kuvvetlendirici gürültü faktörü	4 5	1.35 1.30
Gürültüye esdeğer güç $10^{-14} \text{ W/Hz}^{1/2}$	4 5	11.0 1.0
Tam bölçekli çıktı üretmek için algılayıcıya giren ısınlılık $\text{mW}/(\text{cm}^2 - \text{sr})$	1 2 3 4	2.48 2.00 1.76 4.60
Giris açıklığı, cm	1-5	22.82
Filtre etkin bant genişliğinin, bilgi bant genişliğine oranı	1-5	1.05
f sayısı	5	2.0
Birim sıcaklık değişimine göre siyah cismin ısınlılık değişimi $10^4 \text{ W}/(\text{cm}^2 - \text{K} - \text{sr} - \mu\text{m})$	5	0.131

Her detektörden alınan analog sinyaller, örneklenir, gönderilir ve sabit bir hızda analogtan digitale dönüştürme sisteminde digitalleştirilir. Aynanın tarama hızı tam sabit değildir, bu nedenle her tarama satırında oluşan örnekleme sayısı az miktarda değişir. Uydu yaklaşık 86 derece eğik bir yörüngede olduğundan tarama satırları, uydunun yoluna göre biraz eğildiğinden ve uydunun geçişi sırasında dünya altta döndüğünden, yerde işlenerek düşeye çevrilebilen bir görüntü oluşur [Swain,1978]

3.3.2 TEMATİK HARİTALAYICI TARAYICISI (TM)

LANDSAT 4,5 platformlarında yer alan ve 7 spektral bantta algılama yapabilen yeni bir çok spektrumlu tarayıcı ise Tematik Haritalayıcıdır (Thematic Mapper, TM). TM'den elde edilen radyometrik veriler 8 bit (256 seviye) ile sayısallaştırılmaktadır. Tarayıcı açıklığı yaklaşık 40 cm dir. Tarayıcının uzaysal çözmesi, görünür, yakın kızılötesi ve orta kızılötesi bantlarda 30 m ve uzak kızılötesi bantta 120 m'dir. Uzak kızılötesi bant için dört, diğer bantlarda 16 detektör vardır. Tarama iki doğrultuludur; yani veriler aynanın hem geri hemde ileri taramaları ile toplanmaktadır [Swain, 1978; Bahr,1991].

BÖLÜM 4: SAYISAL GÖRÜNTÜ VE İŞLENMESİ

Uzaktan algılama teknolojisinin gelişmesi büyük ölçüde bilgisayar alanındaki "Sayısal Görüntü İşleme" (Digital Image Processing) tekniklerinin gelişmesine bağlı olmuştur. Çok bantlı tarayıcılar ile alınan sayısal resimlerden bilgi çıkarma anlamında taşıyan Sayısal Görüntü İşleme görüntü biçimindeki verilerin bilgisayar ortamında işlenmesi anlamına da geldiği için "Bilgisayarla Görüntü İşleme" (Computer Image Processing) olarak da anılmaktadır. Gerçekte görüntülerin sayısal işlenmesi için genel amaçlı bilgisayarlar yanında, dizi işlemci (Array Processor) ve gösterge işlemci (Display Processor) denilen özel sayısal elektronik cihazlar da geniş ölçüde kullanılmakta ve gerekli olmaktadır [Curran,1989; Kolouch,1981].

4.1 SAYISAL GÖRÜNTÜLERİN ÖZELLİKLERİ

Sayısal görüntüler piksel olarak deyimlendirilen görüntü elemanlarından oluşmaktadır. Pikseller görüntüyü oluşturan en küçük parçalardır. Yeryüzünde küçük bir alana karşılık gelen bölgenin ortalama parlaklık değeri bir sayıdır ve bir piksele karşılık gelmektedir. Sayısal görüntü, değişik dalga boyundaki ışınım vektörlerinin sayısal ifadesidir. Işınım vektörlerinin parametreleri görüntüdeki farklılıkları (değişik sayıları) oluşturmaktadır. Sayısal görüntü iki boyutlu bir işaret kayıdır. Bilgisayardan kağıt baskı ya da televizyon ekranı gibi gözle görülen bir biçimde olabileceği gibi manyetik bantta yazılı bir kayıt ya da bilgisayar belleğinde duran sayısal değerler biçiminde olabilir.

Matematiksel olarak bilgisayar açısından sayısal görüntü iki boyutlu bir vektör dizisidir. Diğer bir deyişle her elemanı vektör olan bir matristir. Görüntünün iki bağımsız değişkeni X ve Y geometrik boyutları oluşturur. Uzaktan algılamada buna coğrafi boyutlar da denmektedir. Matris elemanlarının her bir

değeri her (X,Y) noktasındaki fiziksel değişkenlerin değerlerini gösterir. Her bir görüntüde her matris elemanı karşılık geldiği coğrafi noktanın veya alanın elektromagnetik spektrumdaki yansımaya veya ısıya değerlerinden oluşan bir vektördür. Siyah beyaz bir resim için elemanlar vektör değil skaler değerlerdir.

Matematiksel olarak bir sayısal görüntüyü şöyle ifade edebiliriz. (x,y) koordinatlarındaki bir cisimden t zamanında olan bir ışıma (radiance) L ;

$$L(x,y,t,\lambda) = \epsilon(x,y,\lambda) M(\lambda) + r(x,y,t,\lambda) i(x,y,t,\lambda)$$

dır. Burada ;

- L = Spektral ışıma (radiance)
- M = Objenin ısıması (emittance)
- r = Yansımaya (reflectance)
- i = Aydınlanma (irradiance)
- x,y = Koordinat eksenleri
- t = Zaman
- λ = dalgaboyu
- ϵ = emisivite (emissivity)

olarak tanımlanmaktadır. Böylece belirli bir alan içerisindeki (x,y) noktalarında belirli bir $\Delta \lambda_1$ spektral bantta ve belirli bir t zamanında ölçülen L değerleri geometrik konumlarına karşılık geldikleri biçimde kaydedildiğinde buna bir görüntü denir. Yani her ölçülen L değeri, belirli sayıda ayrık değerden birine eşitlenirse elde edilen matris bir sayısal görüntü olur.

Yukarıdaki açıklamalardan sonra genel anlamda bir sayısal görüntü $G(i,j)$ şöyle ifade edilebilir ;

$$\begin{aligned} i &= 1, \dots, n \\ j &= 1, \dots, m \end{aligned}$$

($n \times m$) boyutundaki görüntü $G(i,j)$ matrisi ile ve bu görüntünün her pikseli, matrisin bir elemanı ile temsil edilmektedir. Matris indisleri i ve j görüntü piksellerinin yerdeki konum koordinatlarını gösterir. Matrisin her $g(i,j)$ elemanı da bir vektördür.

$$G(i,j) = \begin{pmatrix} g(i,j) \\ g(i,j) \\ \vdots \\ g(i,j) \end{pmatrix}$$

Bu vektörün her elemanı bir skalerdir ve i,j koordinatlarındaki belli bir spektral bantta, bir zaman noktasında ölçülen değeri verir. Vektörün diğer elemanları aynı pikselle ilgili diğer ölçümleri simgeler.

Bir sayısal görüntünün en küçük elemanını simgeleyen bir piksel geometrik çözünürlük (resolution) kavramı ile de yakından ilgilidir. Genellikle kare biçimindedir. Yeryüzünde bir piksele karşılık gelen alan ne kadar değişik görünüm ve değerlere sahip olursa olsun, pikselin bir spektral banttaki değeri tek bir sayı ile ifade edilir. Bu sayı bir bakıma o alanın ortalama değeri olur. Sayısal bir görüntü yeterince büyütüldüğünde blok blok görüntümleri ile pikseller ortaya çıkar.

Sayısal görüntü elde eden bir tarayıcı yapısı itibarıyla bir anda yeryüzünde ancak küçük bir alana bakıp oradan spektral değerler okur. Tarayıcı optiğinin açısal çözünürlük gücünü ifade eden bu kavram IFOV (Instantaneous Field of View) yani anlık görüş alanıdır. Genellikle bir IFOV bir piksele karşılık gelir. Ancak birkaç IFOV birleştirilerek bir piksel oluşturulabileceği gibi, sayısal bir görüntü yeniden örneklendiğinde, ya da geometrik düzeltmelerden geçirildiğinde IFOV piksel ilişkisi birebir olmaktan çıkar. IFOV açı ile ifade edilirken piksel boyutsuzdur. Fakat her ikisinin de yeryüzünde karşı düştüğü bir alan vardır [Swain,1991; Rees,1990].

Yersel kavramlardan çok önemli olan birisi de geometrik veya

uzaysal çözünürlüktür (spatial resolution). Uzaysal çözünürlüğün kesin bir tanımı yoktur. Değişik durum ve amaçlara göre değişik tanımlar yapılabilir. Genel olarak algılayıcı tarafından yeryüzünde ayrımı mümkün olan mesafe denebilir. Değişik metodlarla belli parlaklıkta bir fon üzerinde, belli parlaklıkta bir yada iki noktanın (yada çizginin) görüntü üzerinde belli etkileri oluşturduğu mesafe olarak tanımlanır. Uzaysal çözünürlük, IFOV ve piksel büyüklüğüne bağlı olduğu gibi, radyometrik çözünürlük, yer ve atmosfer şartlarına da bağlıdır .

Parlaklık ya da ışıınım şiddeti olarak ölçülen değerlerin, bilgisayar ortamında saklanabilmesi için belirli sayıda ayrık değerler biçiminde ifade edilmesi yani sayısallaştırılması gerekir. Bilgisayarların yapıları dolayısıyla her değer bir byte ile ifade edilmesi uygun görülmektedir. Bir byte sekiz bit'ten oluştuğu için ayırdedilebilen parlaklık seviyesi sayısı $2^8 = 256$ olmaktadır. Genellikle en karanlığa yada sıfır sinyal seviyesine 0, en yüksek sinyal seviyesine de 255 verilir.

Yeryüzündeki cisimlerin ve arazi türlerinin uzaktan algılanabilmelerinin en önemli nedeni spektral özelliklerinin değişiklik göstermesidir. Algılayıcıların tasarımı da bu değişiklikleri fark edecek ve istenilen çözünürlüğü sağlayacak biçimde yapılır. Bu özelliğe spektral çözünürlük (spectral resolution) denir. Her spektral bant (yada kanal) elektromagnetik tayfın bir bölümünde duyarlıdır. Bu bölüm başlangıç ve bitiş dalga boyları, yada merkez frekansı ve bant genişliği biçiminde verilir.

Zaman içerisinde değişim göstermeleri, birçok obje için çözünürlüğü kolaylaştırıcı etken olmaktadır. Görüntülerin birkaç değişik zamanda alınmasıyla çok zamanlı (multitemporal) görüntüler ortaya çıkmaktadır. Burada hem görüntülerin algılanma zamanı hemde iki görüntü arasındaki zaman farkı (temporal resolution) önemli olabilmektedir.

Görüntü verilerinin işlenmesi bilgisayar kapasitesi sorunlarını da beraberinde getirir. Görüntülerin veri hacmi çok fazla olabileceğinden, işlenmesi de yüksek bilgisayar hızı ve bellek kapasitesi gerektirir. Örneğin 185 km x 185 km genişliğinde alanı kapsayan bir LANDSAT MSS görüntüsü yaklaşık 30 Mb, bir TM görüntüsü ise 140 Mb bellek gerektirir. Bu rakamlar yalnızca görüntünün ilk anda depolanması için gereken belleği göstermektedir. Yapılacak işlemler sonucu ortaya çıkacak yeni görüntüler için bu rakamların birkaç katı daha bellek lazımdır. Elbette buradan kastedilen iç bellek değil, disk türü dış bellektir. Sonuç olarak tam bir LANDSAT görüntüsü ile etkin çalışabilmek için mutlaka birkaç yüz Mb disk kapasitesi gerekmektedir.

Bilgisayarla ilgili önemli ikinci bir faktör de hızdır. Veri sayısı yüksek olunca, bu kadar veri üzerinde yapılacak işlem de uzun zaman alacaktır. Bilgisayarda harcanan zaman, disk giriş-cıkış zamanı ve merkezi işlem birimi (CPU) zamanı olarak ikiye ayrılabilir. Bu konuda da çok genel bazı rakamlar vermek gerekirse diske bir varış için ortalama 0.036 saniye gecerse ve bir varışta 500 bit alınabiliyorsa 100 Mb'lık bir görüntüyü diskten almak için $(100 \times 10^6 / 500) \times 0.36 = 7200$ saniye yani 2 saat geçer. İşlendikten sonra aynı büyüklükte bir görüntüyü tekrar diske yazmak için yeniden 2 saat süre gerekecektir. Böylece görüntüyü yalnızca okuyup yazmak için gerekli sürenin 4 saat olduğu görülmektedir.

Hem kapasite hem de hız açısından genel amaçlı çok kullanıcıllı bilgisayar sistemleri bile çoğu zaman kısıtlayıcı olmakta ve yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle özel görüntü işleme sistemlerinin tercih edilmesi zorunludur.

Sayısal görüntüler bilgisayarlarda üç değişik formatta (dosya/veri yapısında) saklanmaktadır.

1. Bant-Bant BSQ (Band Sequential) : Önce birinci bantın birinci satırı, sonra birinci bantın ikinci satırı, ... , birinci bantın sonuncu satırı, ikinci bantın birinci satırı, ... ,ikinci bantın sonuncu satırı, ... vb.

2. Satır-Satır BIL (Band Interval by Line) : Birinci bantın birinci satırı, ikinci bantın birinci satırı, ... , son bantın birinci satırı, birinci bantın ikinci satırı, ikinci bantın ikinci satırı, ... vb.

3. Piksel-Piksel BIP (Band Interval by Pixel) : Birinci piksel (birinci banttan sonuncu banta), ikinci piksel (birinci banttan sonuncu banta), ... , birinci satırın son pikseli (...), ikinci satırın ilk pikseli (...), ... vb.

4.2 GÖRÜNTÜ OLUŞUMU VE DISTORSİYONLAR

Görüntü algılama sistemlerinde, görüntü oluşumu sistemin iki boyutlu impuls etkisi olan nokta dağılım fonksiyonuna bağlıdır. Bu nedenle görüntü nokta civarında dağılarak oluşur. Elde edilen görüntü gerçek nesne görüntüsü değildir ve bozulmuş bir görüntüdür.

Kaynak nedenleri ne olursa olsun, görüntü üzerindeki etkileri bakımından bozulmalar genel anlamda radyometrik ve geometrik olmak üzere iki kategoriye ayrılabilirler. En önemli görülen bazı bozulmaların kaynakları, etki biçimleri ve düzeltme yolları aşağıdaki gibi sıralanabilirler.

Atmosferik etkiler : Bölüm 2.2'de açıklandığı üzere elektromagnetik dalgalar atmosferden geçerken hem dağılır hem de zayıflarlar. Bu etki kontrast ve ayrımı zayıflatır ve görüntü katar. Atmosferde o anki su buharı ve başka faktörlere bağlı olduklarından önceden kestirilemez. Her görüntü için, hatta bazen bir görüntünün değişik bölgeleri için ayrı düzeltme

gerekir. Yansıma ölçülen dalga boylarında (yaklaşık 3 ya da 4 mikrona kadar) birinci mertebe düzeltme basit anlamda, bir sabit sayının her piksel değerinden çıkartılması ile olur. Bu kadarlık bir düzeltme görüntüde önemli bir kalite kazancı sağlar ve yeterli olur. Bu sabit sayının bulunması, görüntü alım sırasındaki atmosferik koşulların ve objelerin genel yansıtma karakterlerinin bilinmesine bağlıdır. Genelde uygulanan yöntem bu sabit sayıyı en az yansıtma alınan objenin yansıtmasının birkaç seviye altına eşitlemektedir. Her spektral bant için değişik bir sayı gerekir. Yakın ve orta kızılötesinde su kütleleri en az yansıtma alınan obje için iyi bir örnek oluştururlar.

Detektör kaynaklı bozulmalar : Detektör, üzerine düşen ısı ışık enerjisini elektriksel değere çeviren bir sistem elemanıdır. Tarayıcılarda spektral bant başına bir ya da birden fazla detektör olabilir. Aynı bant birden fazla detektör tarafından algılanıyorsa detektörler arası kalibrasyon farkı görüntüde bozulmalara neden olur. LANDSAT MSS tarayıcısında altı detektörün paralel çalışması sonucu her altı satırda bir tekrarlanan yatay çizgiler ortaya çıkmaktadır. "Stripping" denen bu bozulmalar sayısal yollarla büyük ölçüde kolayca giderilmektedir.

Sayısala dönüştürme hataları : Detektör ve ona bağlı olan bir kuvvetlendirici (amplifier) devresinden çıkan voltaj, bir analog/sayısal çeviriciden (A/D converter) geçerek sayısal değerlere dönüşür. Burada, sürekli bir değeri ayırık değerlerle ifade etmekten kaynaklanan quantization hatası ortaya çıkar. Bu hata, sayısala dönüştürmede yeteri kadar seviye kullanılarak en aza indirilebilir. Genellikle 8 byte yeterli olmaktadır.

4.2.1 GEOMETRİK DISTORSİYONLAR VE DÜZELTİLMESİ

Görüntüdeki geometrik bozulmaların önemli bazı nedenleri şu şekilde özetlenebilir :

Yükseklik (altitude) değişimleri : Algılayıcı platformunun yüksekliğinde olabilecek değişimler görüntünün ölçeğinin değişmesine neden olur.

Açısal durum (attitude) değişimleri : Normal olarak, algılayıcının bakış eksenini yere, tarama eksenini ise gidiş yönüne diktir. Platformun hareketlerinden dolayı algılayıcının bakış ve hareket eksenleri bu normal durumun dışına çıkınca geometrik bozukluklar doğar. Bu bozuklukların sistematik olarak düzeltilmesi için platformun açısal durumunun sürekli kaydedilmesi gerekir.

Tarama eksikliği (scan-skew) : Tek detektörlü tarayıcılarda optik sisteminin yaptığı tarama sırasında ,öne hareketten dolayı bir eğiklik olur.

Tarama mekanizması hataları : Tarama mekanizmasında olabilecek hız değişikliklerinin doğurduğu hatalardır. Zamanla değişmiyorsa düzeltilebilir.

Platform hızı : Uydunun yere göre hız değişikliği tarama satırlarının sıklığını değiştireceğinden geometrik bozukluklar ortaya çıkar.

Dünyanın dönüşü ve yer küreselliği : Uydu algılayıcılar için bu hatalar yazılımlar yoluyla düzeltilmektedirler.

Panorama hataları : Bir IFOV'un yerde gördüğü alanın büyüklüğü tarama açısının teğetine orantılıdır. Ancak örnekleme eşit zaman aralığında yapıldığından tarama alanının orta pikselleri küçük, yan pikseller daha büyük alanları kapsar. Bu hata bazı modern tarayıcılarla örnekleme mekanizması modifikasyonu yoluyla düzeltilmektedir.

Harita projeksiyon sistemleri : Görüntülerin çoğu kez bir harita bazına oturtulmaları istenir. Bunun içinde geometrik hata olsun ya da olmasın görüntü, bir geometrik dönüşümden

geçmek zorundadır. Geometrik dönüşümler hata düzeltmeleri için de harita projeksiyon sistemleri değişimi için de aynı matematiksel kavramları içerirler.

Geometrik bozulmaların düzeltilmesi, yöntemler ne olursa olsun, kavramsal olarak iki aşamadan oluşur. Birinci aşamada orijinal görüntü ile düzeltilmiş görüntünün konumları arasındaki geometrik ilişki ortaya konur. İkincide ise yeni görüntüdeki her pikselin değeri hesaplanır.

Hataların tek tek düzeltilmesi yerine yer kontrol noktaları kullanılarak hataların oluşum biçimine bakılmaksızın genel amaçlı düzeltmeler yapılmaktadır. Eğer görüntüde kolayca bulunabilecek ve net olarak tanımlanabilecek noktaların harita koordinatları tam olarak biliniyorsa bir dönüşüm modeli oluşturularak modelin gerektiği parametreleri bilinen noktalar kullanılarak hesaplanabilir. yer kontrol noktası olarak seçilecek noktalar yol kavşakları, su kenarlarındaki girinti ve çıkıntılar, köprü, havaalanı gibi kolayca tanımlanabilecek büyük yapılar olabilir. Yer kontrol noktalarının görüntü içerisinde uygun dağılımı sağlanmalıdır [Orti,1981].

Genel olarak yaygın kullanılan dönüşüm modeli afin transformasyondur [Borgeson,1985;Wiesel,1981;Welch,1984b]. Haritalama fonksiyonu Markarian tarafından da tavsiye edildiği gibi genellikle bivaryant polinomdur [Markarian,1973].

(X,Y) harita koordinatlarını, (x,y) ise görüntü (piksel,tarama satırı) koordinatlarını temsil etmek üzere haritalama fonksiyonu

$$X = f_1(x,y) = \sum_{j=0}^q \sum_{k=0}^{q-j} a_{jk} x^j y^k$$

$$Y = f_2(x, y) = \sum_{j=0}^q \sum_{k=0}^{q-j} b_{jk} x^j y^k$$

olarak verilmektedir. Burada q polinomun derecesi, (a_{jk}) ve (b_{jk}) ise bilinmeyen transformasyon katsayılarıdır [Ford,1985; Mathews,1987; King,1984].

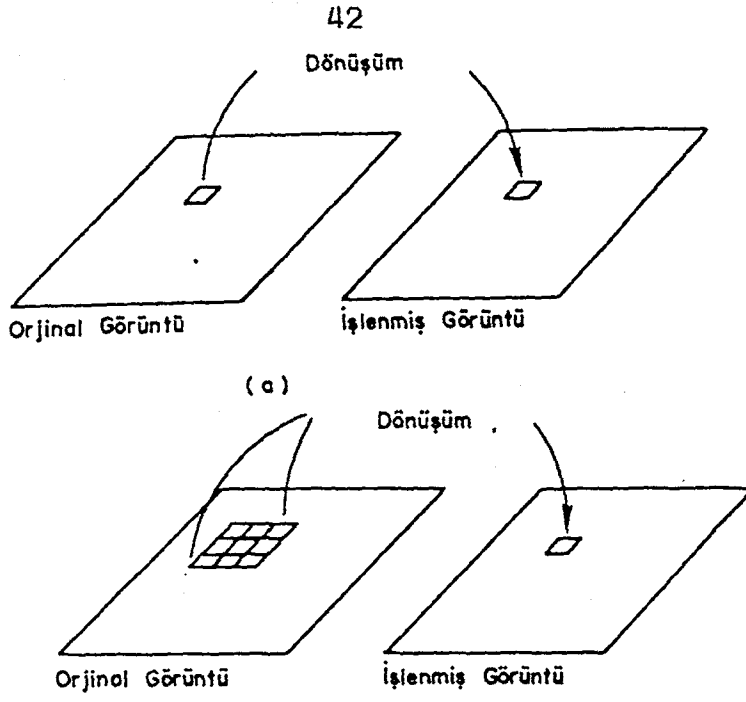
Burada bilinmeyen katsayılar en küçük kareler yöntemine göre çözülerek karesel ortalama hataları ile hesaplanır. Amaçlanan karesel ortalama değerine ulaşılan kadar hata miktarı yüksek noktalar atılarak işlem tekrarlanır.

4.2.2 ÖRNEKLEME

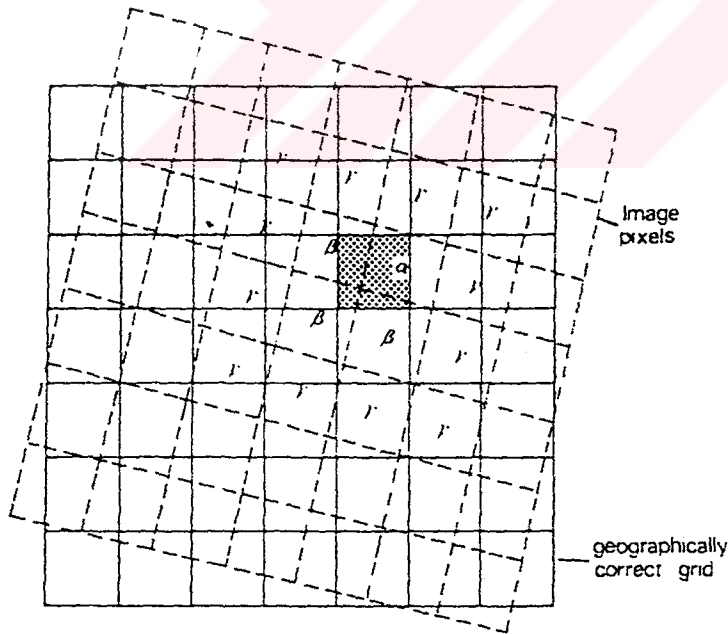
Görüntü işleme yöntemlerinin pek çok türü vardır. Genel olarak ele alındığında karşımıza iki yöntem çıkar. Birincisi en kolay tür olan nokta işlenmesi ; orijinal görüntü pikselinin dönüşümünü içermektedir. Çıkış görüntüsü yeni bir değer almaktadır. Dönüşüm yalnızca orijinal görüntü pikselinin gri tonlarına bağlıdır ve kontrast arttırımı ile farklı kanalların oranlarını kullanmaktadır.

İkinci olarak komşu bölgeleri içeren dönüşüm, pikseli çevreleyen diğer pikselleri de içine alarak yapılan bir dönüşümdür. Pikselin çevresindeki diğer piksellerin gri tonlarındadır. Kontrast arttırımı (edge enhancement) ve interpolasyon gibi yöntemleri de içermektedir. Bu bölgesel etki işlenen pikselin yakınındaki piksellerin ağırlıklı bir toplamı ile giderilirse "lineer filtreleme" (Linear Spectral Filtering) olarak deyimlendirilmektedir.

Geometrik düzeltmenin ikinci aşaması olan örnekleme (resampling) yeni görüntünün piksel değerlerinin eskisinin piksel değerleri kullanılarak hesaplanmasıdır.



Sekil 4.1 : Görüntü işleminin iki genel türü
a) piksel dönüşümü b) komşu dönüşüm



Sekil 4.2 : Örneklemeye eski ve yeni görüntü pikselleri arasındaki ilişkiler [Lillesand,1987]

4.2.2.1 EN YAKIN KOMŞU YÖNTEMİ

Tekniği pikseli en yakın piksele transfer eder, Şekil 4.2'ye göre transfer edilecek örnek piksel α 'dır. Bu yöntem için rölatif hesaplama zamanı 1 kabul edilecektir. Avantajı çok basit hesaplanabilmesidir

4.2.2.2 BİLİNEAR ENTERPOLASYON

Tekniği en yakın komşu 4 pikselin ağırlıklı ortalamasının transferidir. Şekil 4.2'ye göre transfer edilecek örnek pikseller α ve β dir. En yakın komşu yöntemi 1 kabul edilirse rölatif hesaplama zamanı 10 dur. Avantajı düzgün görüntü ve geometrik doğruluktur.

4.2.2.3 KUBİK KATLAMA YÖNTEMİ

Tekniği komşu 16 pikselin transferidir. Şekil 4.2'ye göre transfer edilecek örnek pikseller α, β ve γ dir. Diğerlerine göre rölatif hesaplama zamanı 20 dir. Avantajı çok düzgün görüntü elde edilmesidir.

BÖLÜM 5 : UZAKTAN ALGILAYICILARLA HARİTALAMANIN GEOMETRİK KARAKTERİSTİKLERİ

5.1 HARİTA PROJEKSİYON SİSTEMLERİ

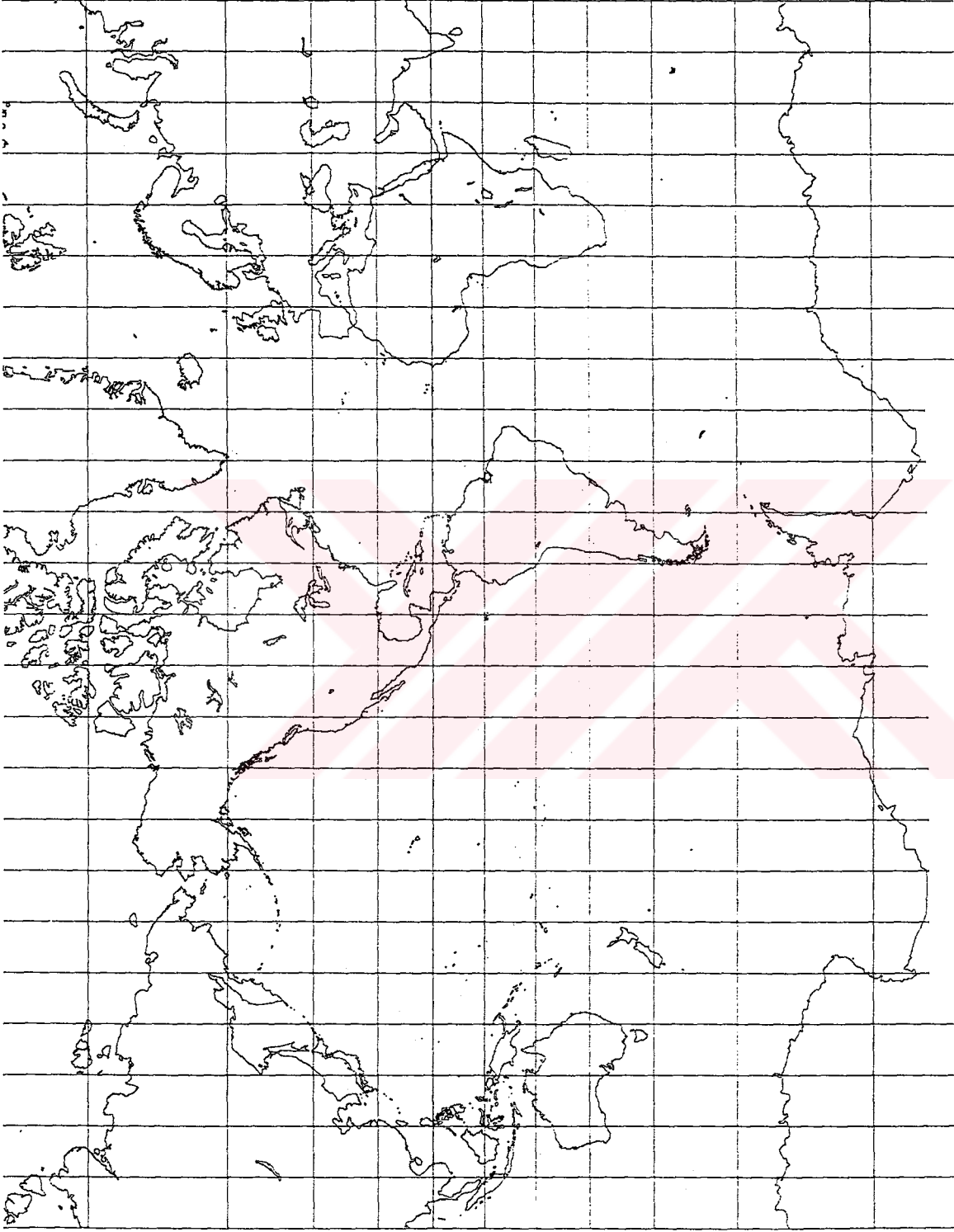
Data uzaktan algılama verileri de olsa sonuçta elde edilecek harita bir projeksiyon sistemi ile ifade edilmek zorundadır. Uluslararası alanda uydu görüntüleri kullanılarak bu verilerden yaratılan haritalara görüntü harita anlamında image map denilmektedir. NATO Üyesi Ülkelerin harita üretiminde kullandıkları projeksiyon sistemi ise Transverse Merkator Projeksiyonudur. Ülkemiz ulusal harita çalışmalarında da bu projeksiyon kullanılmaktadır.

Harita projeksiyonlarında Projeksiyon yüzeyi olarak düzlem, silindir ve koni yüzeyi gibi açılabilir yüzeyler alınır. Mercator projeksiyonu silindirik bir projeksiyondur. Açık koruyan bu projeksiyon 1569 yılında Gerhard Kremer tarafından kullanılmıştır. Kendisine Mercator adını vermiş olması nedeniyle literatürde Mercator projeksiyonu olarak isimlendirilmektedir. [Öztaş, 1994]

Mercator projeksiyonunda meridyenler eşit aralıklı paralel doğrulardır. Paraleller ise ekvatora doğru birbirlerine yaklaşan meridyenlere dik eşit aralıklı olmayan doğrulardır. Kutuplar gösterilemez. Ölçek ekvator boyunca korunur. Herhangi bir paralel boyunca ise aynıdır.

Mercator projeksiyonun tranverse ve eğik şekli UTM projeksiyonu ve SOM projeksiyonudur. Bu projeksiyonlarla ilgili özet bilgiler aşağıdaki bölümlerde verilecektir.

Projeksiyonların izdüşüm eşitlikliklerine burada değinilmeyecektir.



Sekil 5.1 : Mercator projeksiyonu

5.1.1 Universal Transversal Mercator (UTM) PROJEKSİYONU

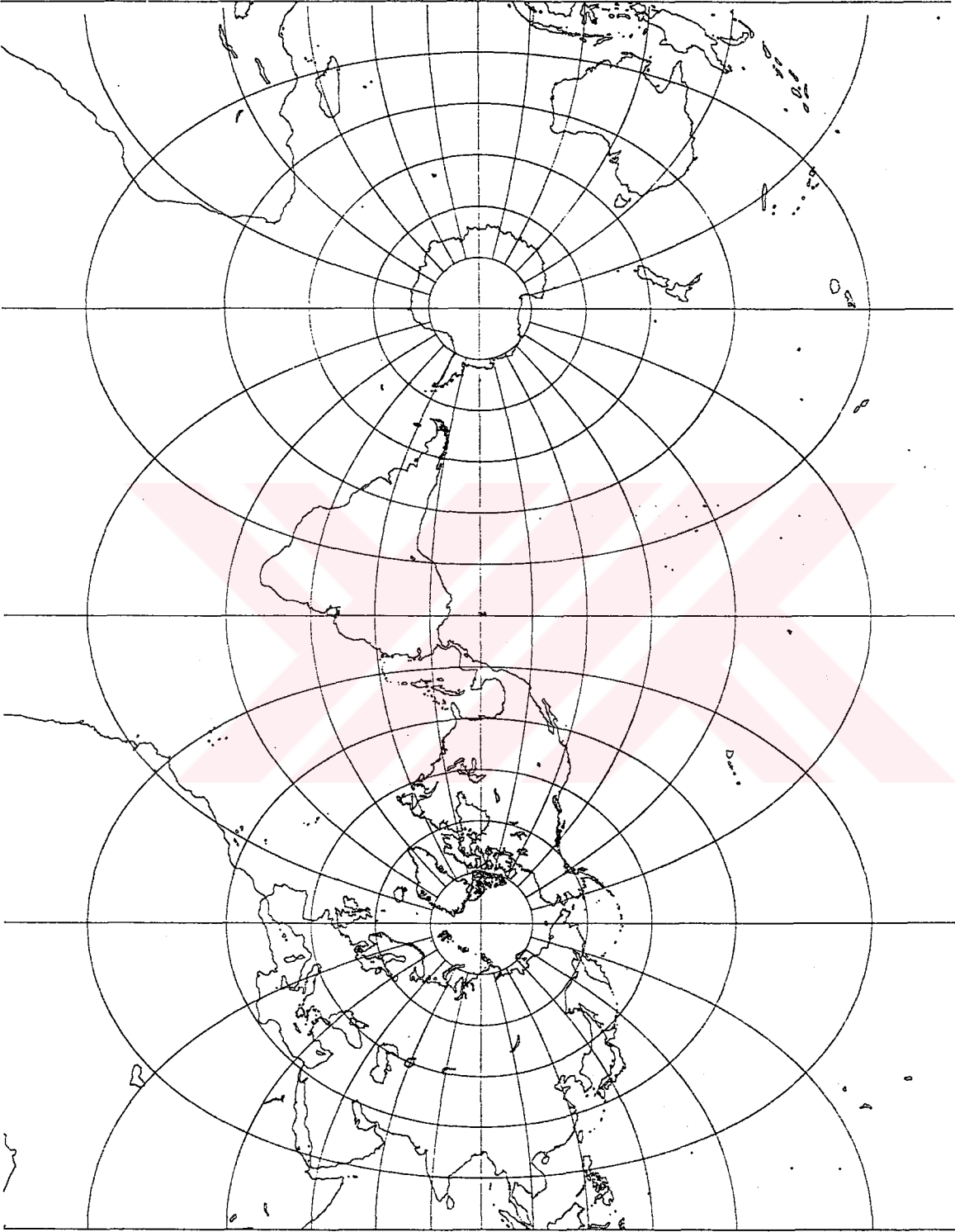
Universal Transversal Mercator projeksiyonu Gauss-Krüger projeksiyonundan geliştirilmiş bir projeksiyon türüdür. Dünyadaki bütün ülkelerin harita üretiminde ortak bir projeksiyon kullanması düşüncesiyle ortaya atılmıştır. Bu projeksiyonun ortaya atılmasında öngörülen koşullar ise

- a) doğrultu deformasyonlarının en az olması yani konform bir projeksiyon olması,
- b) projeksiyon yüzeyinin az sayıda ve yüzeyler arasında dönüşüm yapılabilir olması,
- c) uzunluk deformasyonlarının belirlenen sınırlar içerisinde kalması,
- d) dik koordinat sisteminde bütünlüğün sağlanması,
- e) meridyen yakınsamanın 5° den küçük olmasıdır.

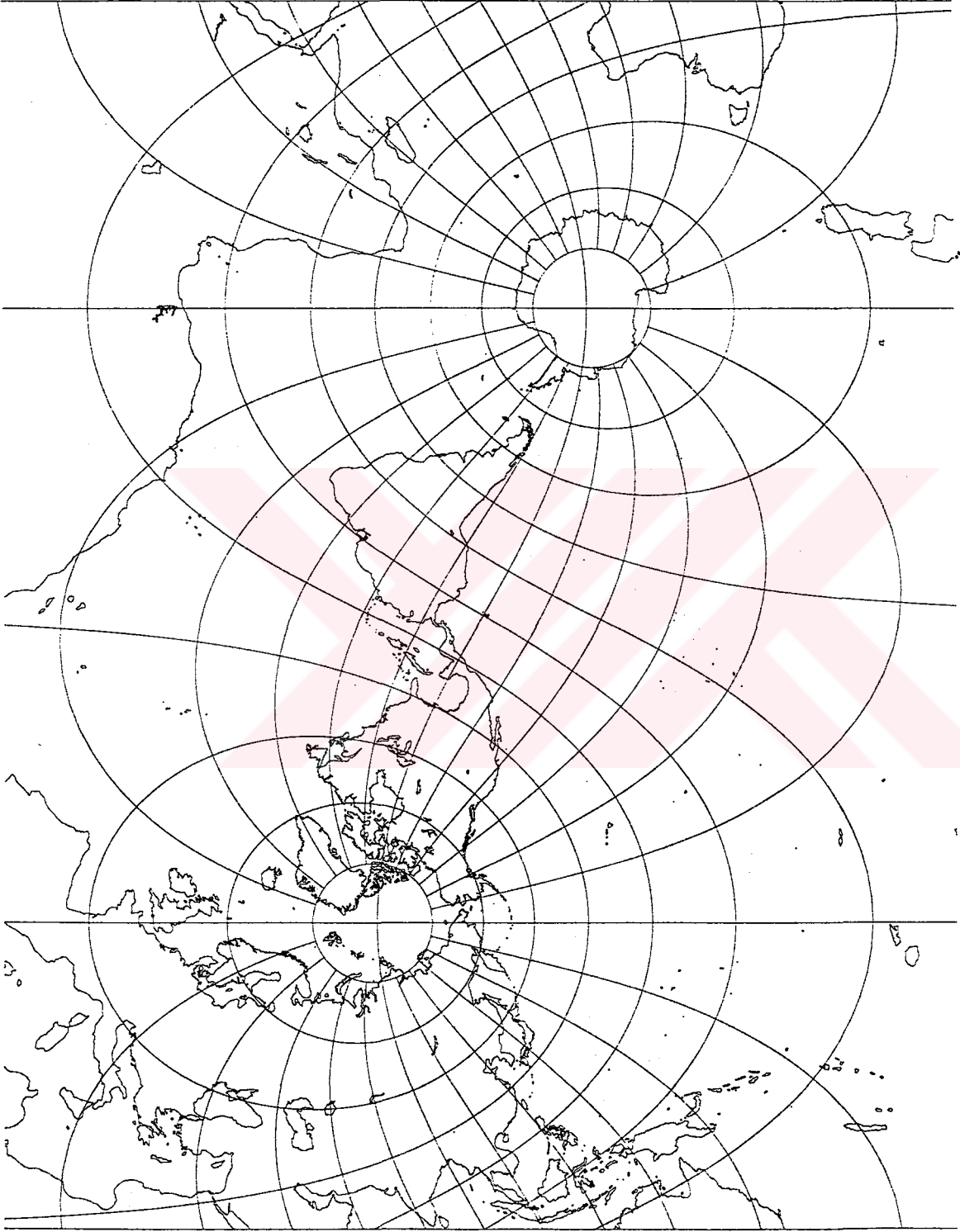
Bu koşulları sağlayacak projeksiyonun, bazı değişiklikler yapmak suretiyle Gauss-Krüger projeksiyonundan elde edilebileceği saptanmış ve sonuçta UTM projeksiyonu ortaya çıkmıştır.

UTM projeksiyonunda ; dünya 180 derece meridyeninden başlamak üzere 6 derece boylam aralıkları ile 60 dilime ayrılmıştır. 174 derece ve 180 derece boylamlarının sınırladığı dilimin numarası 1 olarak alınmış ve sırasıyla numaralanmıştır. Her dilim bir projeksiyon yüzeyini tanımlamaktadır. Silindir dilimin orta meridyeni boyunca dünyaya teğet olmaktadır. UTM sisteminde bir dilime ekvatorun 84 derece kuzeyi ile 80 derece güneyinin izdüşümü yapılmaktadır.

Kuzey ve güney kutup bölgelerinin haritaları UTM sisteminde yapılamaz. Orta meridyen civarında ölçek faktörü $m=1$ dir. Bu değer orta meridyenden uzaklaştıkça büyür. Orta meridyenin Y değeri her dilim için 500000 değerine sahiptir. X değeri ise kuzey yarımküre için ekvatorda 0 güney yarımküre için 4000000 değerini alır [Üztan, 1994; Richardus, 1972; Snyder, 1989].



Şekil 5.2 : UTM projeksiyonu



Sekil 5.3 : Egik Mercator Projeksiyonu

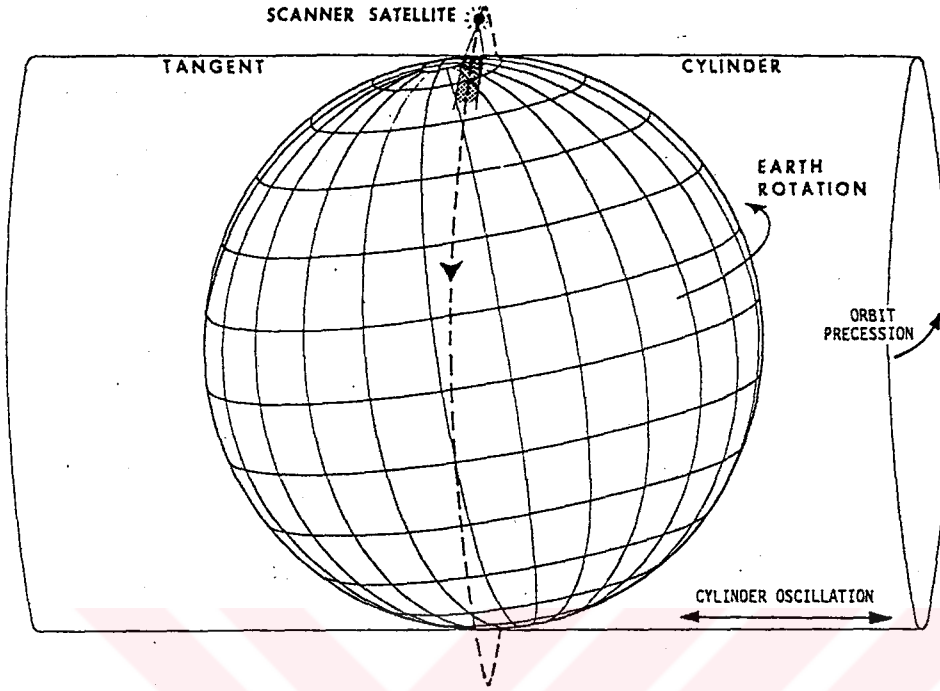
5.1.2 EĞİK MERKATOR PROJEKSİYONU (Space Oblique Mercator (SOM))

Tarihsel olarak harita projeksiyonları statik koşullara dayanır. Dünyanın şekli, perspektif merkezi (eğer varsa) ve izdüşüm yüzeyi birbirlerine göre sabittir. Dünya uzaktan algılanalı beri bu statik durum ortadan kalkmıştır. Böylece harita projeksiyonları bünyesinde rölatif hareket, zamanın da bir parametre olarak yer aldığı yeni bir içeriğe kavuşmuştur ve harita Üretiminin konvansiyonel statik içeriği bir dinamik içerikle yer değiştirmiştir. Çok spektrumlu tarayıcılar ile uydulardan alınan bir görüntü, yeterli çözünürlük ve geometrik doğruluk ile gerçek bir harita projeksiyonu olarak tanımlanabilir.

Aslında (82° paralelleri arasında) her 18 günde tekrarlanan görüntü dünyanın uzaydan silindirik bir yüzeye özel bir projeksiyonla haritalanması olarak tanımlanabilir. Bununda üzerinde bu projeksiyon dünya üzerindeki konumuna tamamen bağlıolarak bir görüntü elemanı (piksel) ile otomatik bir harita sistemi anlamında matematiksel olarak ifade edilebilir.

Projeksiyon, birçok projeksiyon özelliklerinden herhangi birine sahip olabilir ama kartograflar genellikle açı korumayı (konformalite) önemli kabul ederler. Konformalite açısal ilişkileri korur ve bütün doğrultularda lokal olarak eşit ölçeğe sahiptir. Konform silindirik projeksiyon Mercator tarafından ele alınmıştır ve bu uygulamada ise uzayda kutup eksenine göre eğik olarak tanımlanmaktadır.

Şekil 5.2'de dünyanın küresel şekline projeksiyon yüzeyi olarak teğet, gerçekte dairesel olan bir uydu yörüngesiyle tanımlanan bir silindir tasvir edilmektedir.



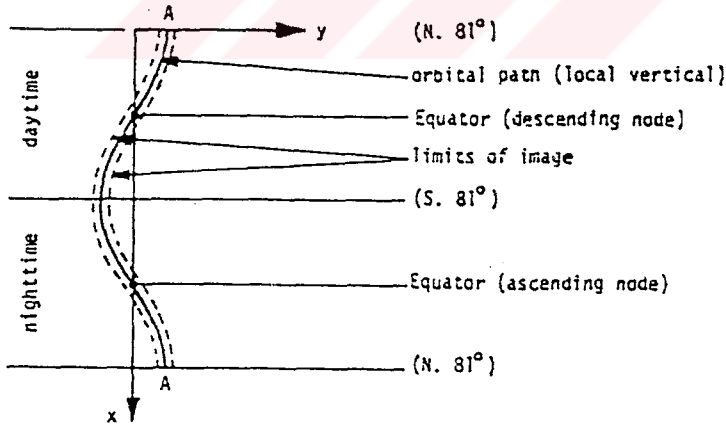
Sekil 5.4 : Projeksiyon yüzeyi olarak silindirin sematik durumu

Her ne kadar (tarama, uydu yörüngesi, dünyanın kendi ekseninde etrafında dönüşü ve yörünge precession'u gibi) dört hareketi içermesine rağmen, görüntü bir harita projeksiyonu anlamında basit bir silindirik yüzey üzerine kaydedilmektedir. Dünyanın kendi ekseninde etrafında dönüşünün görüntüyü bozmaması için silindirik yüzey, eksen boyunca enlemle değişen belli bir dengeleyici oranda döndürülür. Aksi takdirde hareket, yörüngeye bağlı olarak uniform ve simetrik olur ve böylece her yörünge projeksiyon düzlemi üzerindeki kendi kusağını her yörünge için yersel görüntü yaklaşık 26° boylamda değişirken, tam olarak tekrarlar. Bu durumda her yörüngesel geçişte yeryüzeyinin belli bir bölümü haritalanırken projeksiyon koordinatları aynen tekrarlanır. Bunun anlamı λ, ϕ yer koordinatları x, y izdüşüm koordinatlarına (t) zamanının bir fonksiyonu olarak bağlıdır.

$$\lambda, \phi = f(x, y, t)$$

t, 18 günlük sisteme yayılmaktadır ve bir sonraki turda sıfırlanmaktadır.

Yeryüzünün şeklinin küre yerine elipsoid olması bir dizi modifikasyonu gözönüne almayı gerektirir. Öncelikle dünyanın kutupsal yarıçapı ekvatorial yarıçapından 20 km daha kısadır. Dünyanın üzerinde sabit bir yükseklikte yer alan ve böylece yeryüzünü aynı bölgede algılayan bir yörünge 81° noktalarında maksimum sapma ile iki perigesisi olan bir eliptik yörünge olmak zorundadır ve bu ise fizik kurallarına aykırıdır. Pratikte gerçekten dairesel veya eliptik bir yörünge oluşturmak mümkün değildir [Colvocoresses,1974; Colvocoresses,1982; Snyder,1978; Snyder,1981].



Sekil 5.5 : Oluşturulan projeksiyon yüzeyinde görüntünün nasıl yer aldığı gösterilmektedir.

Düşünülmesi gereken ikinci bir konu da, yatay algılayıcılarla kontrol edilen tarayıcının, yörüngenin hesapsal merkezi olan yerin kütle merkezi yönüne göre değilde yerel geometrik düşeye göre referans almasıdır. Bu yönler arasındaki maksimum fark yay cinsinden 12 dakikaya ulaşır. Kutupta yörünge sadece 9° dışmerkez olduğu için, açısal fark prensip olarak yörünge boyuncadır ve uydu ile yeryüzü arasındaki zaman ilişkisini önemsenmeyecek bir şekilde etkiler. Önemsenmeyen, yerel düşeyle yer merkezi doğrultusundaki vektör arasındaki bu cross-track açısı (maksimum 3.6 dakikadır projeksiyon yüzeyinin deforme olmasında etkilidir. Deformasyon uniform bir harita projeksiyonundan sapma teşkil eder ve ayrıca projeksiyondaki konformalite koşullarının presizyonuna zarar verir. Bu düşünceler büyük olasılıkla akademiktir ve harita kullanıcısı tarafından hiç bulunamayabilir fakat harita projeksiyonunu tanımlayan matematikçi için önemlidir. 81° enleminde 3.6 dakikalık yay yeryüzünde yaklaşık 1 km'ye karşılık gelir. Yörünge ekvatora yaklaştıkça cross-track sapması gitgide 1km'den 0'a düşer.

Yerel geometrik düşeyle tanımlanan, uydunun yeryüzü üzerindeki gerçek yolu ayrıca bir ilgiyi gerektirir. Bunu görmek için ilk olarak yerin dönmesini göz ardı etmeliyiz ve sadece, yerin sabit bir şeklini kesen bir yörüngeden yerel geometrik düşeyle üretilen bir şekli düşünmeliyiz. Bu, bir elipsoidi eğik bir düzlemlerle, merkezinden geçecek şekilde kesildiğinde oluşan gerçek bir elips (büyük daire) değildir ve eliptik yeryüzü üzerindeki iki nokta arasındaki en kısa mesafeyi gösteren jeodezik eğride değildir. Gerçek şeklin ne olduğunu göz önünde bulundurmadan, matematik terimlerle tanımlanmalıdır, çünkü görüntü merkezlerinin lokus'unu yaratmaktadır [Hotine,1946; Konecny,1972; Light,1990; Snyder,1982].

5.2 HARİTALAMA AMAÇLI UZAKTAN ALGILAYICILARIN GENEL KARAKTERİSTİKLERİ

Haritalama ve görüntüden istifade eden diğer uygulama amaçları için uzaktan algılayıcıların sahip olması gereken spesifik özellikler uluslararası alanda ayrı bir araştırma konusu olmuştur. Çeşitli tarihlerde değişik araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen çalışmalar sonucu 1:50000 ve daha küçük ölçeğe haritaların üretimine yönelik çalışmalar için uygun uydu verileri elde edebilmek amacıyla algılayıcılar için önerilen parametre ve karakteristikler Tablo 5.1'de özetlenmiştir [Light,1990; Colvocoresses,1982; Doyle,1982].

Tablo 5.1 : Algılayıcılar için önerilen parametre ve karakteristikler

GÖREVİ	: Yeryüzünü 1:50000 ve daha küçük ölçeğe haritalama amacıyla görüntüleme
YÖRÜNGE	: Tipi - Güneşe senkronize ve dairesel Eğim - Kutup yakınında, $i \approx 97.7^\circ$ Yükseklik - 581 km. tercih edilmeli 919 km.'ye kadar uygun Periyot - 96.143 dakika Yörünge/gün - $14 + 44/45 \approx 15$ Örtü tekrarı - Her 45 günde (674 yörünge) Nodal geçiş - 8:30-9:30 a.m. yerel zaman Hız (Vs) - 7.57 km/sec Yersel Hız(Vx) - 6.94 km/sec Küreyi kaplamak için yörünge sayısı - 674
ALGILAYICI	: Tipi - Her bantda satır dizi tarayıcı Tarama genişl. - 64 km (iki 15 dakikalık dörtgen) Piksel boyutu - 5 m pankromatik modda 10 m multispektral band Dizi tarama - epipolar düzlemler Dizideki detektörler - 12.800 Algılayıcının konumlanması - GPS 8 m, 1 σ

YÖRUNGE YUKSEKLİĞİ

ALGILAYICISI : Tipi - Dikdörtgensel dizi (2)
 Yıldızlar - Diziye transvers olarak yıldızları
 ölçer (gerçek zamana göre)
 Çıkışı - Zamanın bir fonksiyonudur
 ω, ϕ, κ - 2 den 4 arc saniyeye kadar

DUYARLILIGI : Band (μm) Renk

 1. 0.47-0.57 Mavi yeşil
 2. 0.57-0.69 Kırmızı
 3. 0.76-1.05 Yakın kızılötesi
 4. 1.55-1.75 Kısa dalga IR
 5. 0.51-0.73 Pankromatic

KUANTİZASYON
 SEVİYESİ : 8 bit/piksel grinin 256 tonu

GÖRÜNTÜ
 BOYUTU : (64x64) km 4-15 dakika dörtgen

ZAMAN
 ARALIGI : 266 Mbit/sec 8 den 5 e kadar sıkıştırılır

ALGILAYICI
 ZAMANLAMASI : 0.0001 sec
 rölatif zamanlama-
 zamanlama yersel algılayıcı
 yıldız algılayıcı ve GPS
 ile senkronize

BÖLÜM 6 : UYDU GÖRÜNTÜ DATALARI İLE HARİTALAMANIN GEOMETRİK DOĞRULUĞU

6.1 GEOMETRİK DOĞRULUK ARAŞTIRMASININ GENEL PRENSİPLERİ

Bilgisayar uyumlu bant (CCT-p) formatında kullanılabilen LANDSAT 4-5 tematik haritalayıcı (TM) ve çok spektrumlu tarayıcı (MSS) datasının geometrik karakteristiklerine ilişkin kartografik potansiyeline değer biçme konusu günümüzde uluslararası platformda araştırmacıların uzun zamandır bir uğraşı konusu olmuştur.

Uydu görüntülerinin çeşitli amaçlar için kullanımını içeren inceleme ve araştırmalarda, değerlendirmeden önce görüntüler geometrik düzeltmelerle digital olarak hazırlanmakta ve sonuçlar sunulmaktadır.

Geometrik düzeltme işlemlerinde uygulanan prosedür bütün araştırmalarda hemen hemen aynıdır. Araştırmacılar ellerinde mevcut sayısal görüntü işleme sistemleri altında uydu görüntülerini farklı sayıda yer kontrol noktası alarak, afin transformasyonda farklı mertebeden polinomlar kullanarak veya farklı transformasyon yöntemleri kullanarak bazen farklı projeksiyonlarda düşeye çevirmişler ve elde ettikleri karesel ortalama hata değerlerini rapor etmişlerdir.

6.2 ULUSLARARASI ARAŞTIRMALAR VE SONUÇLARI

1970'li yıllarda ilk jenerasyon uydu verileri ile 1:250000 ölçekli harita üretimi için doğruluk araştırması amacıyla başlatılan çalışmalar yerini günümüzde LANDSAT-5 TM görüntüleri kullanılarak 1:50000 ölçeğinden daha büyük haritaların üretimine yönelik doğruluk araştırmalarına bırakmıştır. Aşağıdaki bölümlerde yapılan bu çalışmalara ait raporlardan kısa bilgiler verilerek elde edilen bulgular özetlenecektir.

6.2.1 İLK JENERASYON UYDU VERİLERİ İLE ARASTIRMALAR

İlk Amerikan yer kaynakları teknolojisi uydusu ERTS-1, 23 Temmuz 1972'de başarıyla yörüngeye oturtulduktan sonra uydu verileri ile çalışmalara başlanmıştır. Illinois Üniversitesi'nden Dr. Kam W. Wong tarafından ERTS-1 görüntülerinin geometrik ve kartografik doğruluğu için bir araştırma yapılmıştır. Bu araştırma sonuçlarına göre 4 veya daha fazla yer kontrol noktası kullanılarak yapılan geometrik düzeltmede ± 55 m. rölatif konum doğruluğu elde edildiği ve bunun ise NMAS standartlarına göre 1:500000 ölçeğinde harita üretimi için uygun olduğu rapor edilmektedir. Yüksek mertebeden polinomlar kullanıldığında bunun modellemede toplam geometrik distorsiyonu çok fazla etkilediğinden söz edilmektedir [Wong,1975].

IBM Federal Sistem Bölümünden Toyohisha Kaneko, NASA tarafından desteklenen LACIE (Large Area Crop Inventory Experiment) projesi kapsamında LANDSAT görüntülerinin kayıt doğruluğunu araştırmıştır. Bu araştırma sonucunda karesel ortalama kayıt hatasının 1.0 piksel olarak bulunmuştur [Kaneko,1976].

6.2.2 LANDSAT 4-5 VE SPOT UYDU VERİLERİ İLE ARASTIRMALAR

Meksika'da orman ve arazi kullanımı envanteri amacıyla Göttingen Üniversitesi (Almanya) ve Nuevo Leon Üniversitesi (Meksika) tarafından yapılan bir çalışma ve sonuçları aşağıdaki şekilde rapor edilmektedir.

Araştırma bölgesi Kuzey-doğu Meksika'da yer almaktadır. Bölge LANDSAT-MSS szene (Path 29,Row 43) içinde kalmaktadır. Araştırmada Ekim-Kasım 1980 MSS-TM ve Ocak 1986 SPOT görüntüleri kullanılmıştır. Ayrıca bölgenin 1:50000 ölçeğinde topoğrafik haritası temin edilmistir.

Projenin asıl amacı subtropik bölgeler için bir kontrol

sisteminin (Monitoring System) geliştirilmesidir. Projenin hedefi subtropik vegetasyon tiplerinin klasifikasyonunda doğruluk derecesi bakımından çeşitli uydu sistemlerinin mukayesesi ve vegetasyon tiplerindeki değişikliklerin keşfi konusunda uygun olup olmadıklarının incelenmesidir.

Görüntülerin şerit dengelemesi, kontrast yükseltilmesi ve ilaveten her bir görüntü için ilave bir kanal (Kırmızı ötesi/kırmızı, IR/R-oranı) tesisini içeren radyometrik işlemlerden sonra dört Unitede representatif test alanları seçilerek yersel kontrolle kayıt edilmiştir.

Bütün görüntüler bir UTM-koordinat sistemini içeren bir görüntü yardımıyla geometrik olarak düzeltilmiştir. Her görüntüde 21 adet yersel pas noktası kullanılmıştır. Birinci derece polynomial transformasyon yardımı ile LANSAT-MSS için ± 60 m. ve ± 83 m , LANDSAT-TM için ± 25 m ve SPOT (multispektral mode) için 18 m'lik konum doğruluğu elde edilmiştir.

Projenin operational amacı LANDSAT MSS, LANDSAT TM ve SPOT uydu sistemleri arasında bir karşılaştırma yapmaktır. Sonuçlar TM görüntülerinin üstünlüğünü göstermektedir. Spektral çözünürlük gücünün geometrik çözünürlük gücüne nazaran mevcut vegetasyon tiplerinin ayrılmasında daha etkili olduğu savunulmaktadır. İstatistik incelemelerde TM görüntüleri , MSS ve SPOT görüntülerine nazaran daha üstün F-Test değerleri vermiştir.

LANDSAT TM görüntülerinin digital değerlendirmesi ile yapılan haritaların Meksika'da hava fotoğraflarının analog değerlendirilmesi ile yapılan haritalarla mukayese edilebilecek derecede içeriğe sahip oldukları tesbit edilmiştir [Alparslan, 1989; Lopes,1983].

Uluslararası uygulamada bir örnek olarak, Georgia Üniversitesi Coğrafya Bölümü tarafından NASA'nın desteğiyle 1983'te yapılan bir araştırmada Kuzey Georgia'yı merkez kabul eden, kentsel ve

kırsal arazi kullanım özelliklerinin bir karışımını karakterize eden, arazi engebesinin yaklaşık 1000 m'den 30 m'ye kadar değişiklik gösterdiği Appalachians, Tennessee ve kuzey Carolina bölgesi çalışma alanı olarak seçilmiştir [Welch, 1984a].

MSS CCT'ler EROS data merkezinden, TM data dizileri ise NASA Godard Uzay Merkezinden LANDSAT Görüntü Kalitesi Değerlendirme (LIDQA) programının bir parçası olarak temin edilmiştir. Pikseller MSS'de 57m, TM'de 28.5m boyutlarında formatlanmıştır.

Çalışma alanını kapsayan 1:24000 ölçekli topoğrafik haritalar elde edilmiştir. Paftalar üzerinde tam olarak tanımlanabilen noktalar yer kontrol noktaları olarak seçilmiş ve Altek Super mikro digitizer sisteminde UTM koordinatları elle sayısallaştırılmıştır. Bu yer kontrol noktalarının görüntü üzerindeki konumları (piksel ve tarama satırı koordinatları) ERDAS 2400 etkileşimli görüntü işleme sistemi yardımıyla belirlenmiştir.

Yer kontrol noktaları olarak yollar, nehirler ve boru hatları gibi çizgisel özellik taşıyan objelerin kesim noktaları alınmıştır. Bu noktaların görüntü koordinatları yaklaşık olarak orijinal data pikselin yarısına kadar buna karşılık TM için ± 15 m'ye kadar belirlenebileceği deneyimlerle sabittir [Welch, 1984a].

Kötü tanımlanmış veya şüpheli noktalar için bir araştırma prosedürü uygulanmıştır. Bu prosedür nokta çiftleri arasındaki mesafe kontrolüne dayanmakta ve nokta çiftlerinin olası tüm kombinasyonları arasındaki harita ve ölçekli görüntüde mesafelerin hesaplanarak karşılaştırmasını içermektedir. Şüpheli noktalar elimine edilerek mesafe farklarının karesel ortalama hatası hesaplanmıştır. Kuzey Georgia MSS görüntüleri için ± 130 m'lik bir karesel ortalama hata bulunmuştur. TM datası ile tüm dolu görüntüler için karesel ortalama hata

± 30 m bulunmuştur.

Düseye çevirme ile ulaşılan doğruluğun bağımsız bir kontrolünü sağlamak için yer kontrol noktalarından 40 adet test noktası seçilmiştir. Hesaplamalarda

$$UTM = a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2 \dots$$

genel biçimindeki polinom fonksiyonları kullanılmıştır. Burada x,y yer kontrol noktalarının piksel ve tarama satırı olarak bilinen görüntü koordinatlarıdır. En küçük kareler yöntemine göre çözüm yapılarak UTM koordinatları hesaplanmaktadır. Tersine bir işlem de mümkündür.

Düseye çevirme işleminde kullanılan yer kontrol noktalarının sayısı kademe kademe azaltılarak beşinci dereceden birinci dereceye kadar polinomlarla çözüm yapılmış ve 40 test noktası için her aşamada karesel ortalama hatalar hesaplanmıştır.

Tüm çalışma bölgesi için elde edilen değerler Tablo 4.1'de özetlenmiştir [Welch,1984a; Usery,1984].

Prof. Dr. Roy Welch NASA'nın LIDQA programı doğrultusunda, Georgia Üniversitesi Uzaktan Algılama ve Haritalama Bilimi laboratuvarı ekibi ile LANDSAT 4-5 TM görüntü datalarının kartografik potansiyeli ve jeodezik doğruluğunun karşılaştırmalı bir değerlendirmesi için TIPS (TM Image Processing System) sistemi yardımıyla Georgia ve Iowa'ya ait data dizileri ile de ayrıntılı çalışmalar yapmıştır [Welch,1985b; Welch, 1985c].

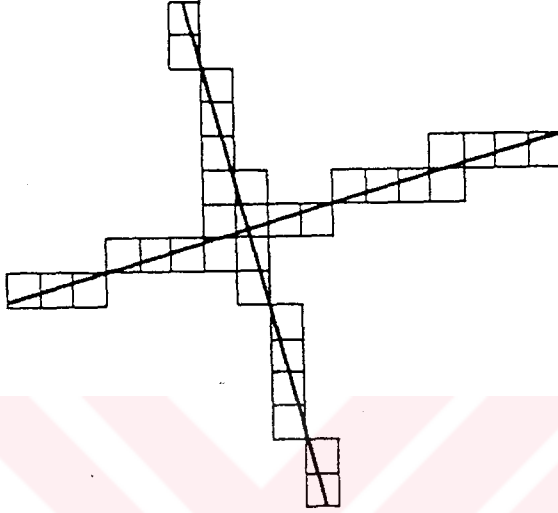
Tablo 6.1 : Kuzey Georgia örneğinde TM görüntüleri için karesel ortalama hata değerleri

Bölge ve boyutu	Kontrol nok.sayısı	Karesel Ortalama Hatalar(m)				
		Polinom Derecesi				
		5	4	3	2	1
3500x1000	12	-	-	37	19	25
	5	-	-	-	-	22
1024x1024	35	27	24	22	21	20
	25	27	24	23	21	20
	20	-	25	24	22	21
	15	-	-	26	23	20
	10	-	-	-	26	21
	4	-	-	-	-	25
512x512	7	-	-	-	-	24
512x300	7	-	-	-	-	19

Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre LANDSAT 4 ve 5 sistemi eski LANDSAT misyonlarından çok daha iyi geometrik kaliteye sahip görüntü datalarının elde edilmesini sağlar. TM dataları için jeodezik rektifikasyonda ± 0.43 piksel doğruluğa ulaşılmıştır. Burada söz konusu olan piksel $42.5 \mu rad$ bir IFOV açısına veya yerde 30 m'ye karşılık gelir. Buna göre jeodezik rektifikasyon için karesel ortalama hata ± 12.9 m'dir. Bu değer NMAS , Amerikan Ulusal Harita Doğruluk Standartlarına göre 1:50000 veya daha küçük ölçekli kartografik ürünler için uygundur.

Dr. Roy Welch bu çalışmasında Georgia ve Iowa TM data dizileri için ± 0.76 piksel (Georgia) ve ± 0.26 piksel (Iowa) karesel ortalama hata değerlerini elde etmiştir. Rektifikasyonda SOM

projeksiyonu kullanılmıştır. Projeksiyon koordinatları UTM koordinatlarından dönüştürülmüştür. Yer kontrol noktalarının konumlarının belirlenmesinde görüntü büyütülerek özellikle yol kesim noktaları için visual kestirme teknikleri kullanılmıştır (Sekil 6.1).



Sekil 6.1 : Yol kesim noktaları için kestirme tekniği

Söz konusu K.O.H. değerleri ile rektifiye edilmiş TM data dizisi, 1:24000 ölçekli harita ürünleri için NMAS standartlarına karşılık gelmektedir. Fakat tipik yer kontrol noktaları konfigürasyonları ve ortalama arazi koşulları gözönüne alındığında 1:50000 ve 1:100000 ölçekleri için harita standartlarını daha iyi sağlamaktadır [Welch,1982; Welch,1985c].

Dyersburg, Washington DC ve Great Salt Lake USGS haritalarının demonstrasyonunda görüldüğü gibi TM data dizilerinin en iyi 1:100000 ölçekli haritaların üretiminde kullanılabileceği tesbit edilmiştir. TM data dizilerinin bir başka potansiyel kullanımı ise mevcut haritaların revizyonudur. Köy yerleşim bölgelerinin ve su alanlarının sınırlarının belirlenmesi ve ana ulaşım hatlarının yeniden konumlandırılması için kullanılmaktadır. Buna ilaveten şu aşamada coğrafi veri tabanı

olarak TM data dizileri ile sayısal yükseklik modelinin ve orto görüntülerin yaratılması için doğruluk araştırması çalışmaları yapılmaktadır [Welch,1985b; Welch,1985c].

NASA'nın LIDGA programı çerçevesinde US Geological Survey ekibi tarafından kuzeybatı Iowa, güneybatı Minnesota ve güneydoğu South Dakota bölgelerini kapsayan bir LANDSAT-5 TM görüntüsü çalışma alanı olarak seçilmiş ve TM görüntüsünün geometrik doğruluğu konusunda benzer bir çalışma yapılmıştır.

Yer kontrol noktaları bölgeyi içine alan 1:24000 ölçekli haritalar üzerinden bilgisayar kontrollu bir digitizer yardımıyla sayısallaştırılmıştır. En küçük kareler yöntemi göre dengeleme prosedürü yoluyla görüntü ve yer kontrol data dizileri MAGCMP adı verilen bir bilgisayar programında birleştirilmiştir. 1.ci derece lineer transformasyon yapılarak min 10.2 m. max. 11.3 m. (yaklaşık 0.4 piksel) karesel ortalama hata değerine ulaşılmıştır.

1:24000 ölçekli haritaların olası hata etkileşimi araştırılarak NHMAS (National Horizontal Map accuracy Standard) standartlarına göre baskı ölçeğinde, test edilen noktaların 1/50 inch (0.508 mm) doğrulukta olduğu tesbit edilmiştir. Bu 0.508 mm değeri 1:24000 ölçeği için yerde 12.2 m'ye karşılık gelmektedir. Elde edilen karesel ortalama hata değerleri ise beklenen bu doğruluğun altında kalmaktadır. Böylece artık dünya yüzeyinden kilometrelerce yüksekten alınan bir uydu görüntüsü ile 1:24000 ölçekli haritaların iç doğruluğuna ulaşılabilceği sürpriz değildir [Borgeson,1985].

Bunlara ilaveten yine Dr. Roy Welch tarafından yapılan bir araştırmada 10 m. uzaysal çözünürlüğe sahip SPOT uydu verilerinden 1.0 piksel karesel ortalama hata değerine ulaşılmıştır. Bu çalışmanın raporunda SPOT programının kartograflara sayısal formatta uzaysal çözünürlük olarak haritalama taleplerine uygun ilk sistematik stereo uydu verilerini sağladığı belirtilmektedir [Welch,1985a].

BÖLÜM 7 : UYGULAMA

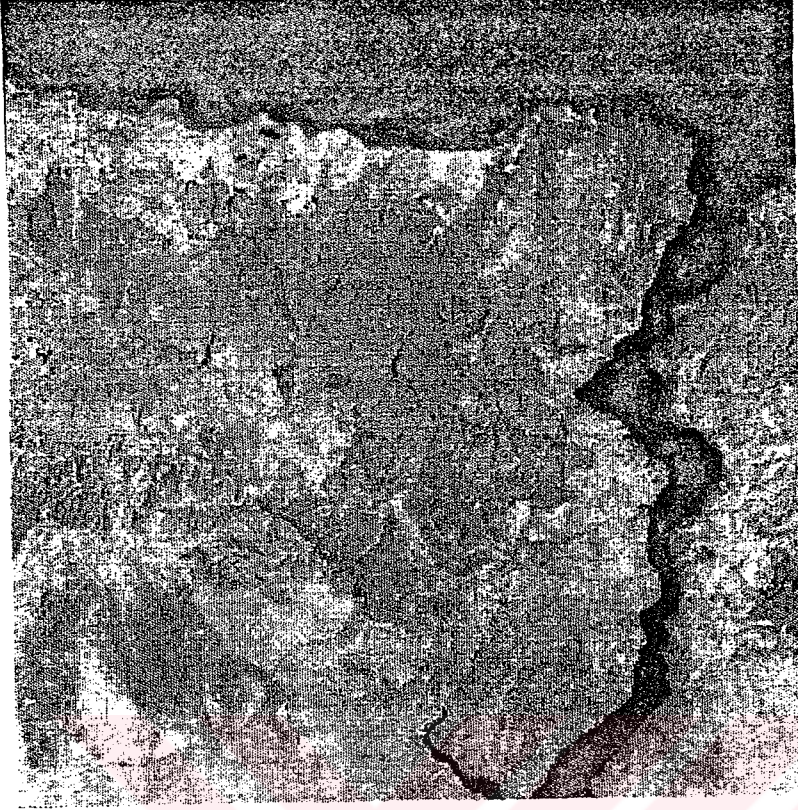
7.1 İSTANBUL BOĞAZ BÖLGESİ ÖRNEĞİNDE DÜŞEYE ÇEVİRME DOĞRULUĞUNUN ARAŞTIRMASI

Uygulama için İstanbul boğazı ve yakın çevresini içeren 1024x1024 piksellik LANDSAT-5 TM doğal görüntüsü (Eylül 1992) ele alınmıştır. Aynı bölgenin 1:25000 ölçekli paftası temin edilmiştir. Görüntü ve pafta üzerinde net olarak tanımlanabilen 20 adet kontrol noktası ve ilave olarak 10 adet test noktası seçilmiştir. Kontrol noktalarının seçiminde görüntü üzerinde su ve kara ayrımı daha kolay tanımlanabilir düşüncesiyle burun ve körfezler tercih edilmiştir. Ayrıca boğazda Galatasaray Deniz kulübü ve Kız Kulesi net olarak tanımlanabilmektedir. Kontrol noktalarının dağılımını gösteren çizim Ek 1.'de verilmiştir.

ERDAS 2400 etkileşimli görüntü işleme sistemi altında doğal görüntü üzerinden bu yer kontrol noktalarının piksel ve tarama satırı (file) koordinatları okunmuştur.

Kontrol noktalarının UTM koordinatları 1:25000 ölçekli paftadan HITACHI sayısallaştırma sisteminde elle sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırma işlemi 20 kontrol noktası ve 10 test noktasında 40 kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

Düşeye çevirme işlemi uygun dağılımdaki sırasıyla 5-10 ve 20 kontrol noktası verilerek 40 kez tekrarlanmıştır. 5 kontrol noktası ile düşeye çevrilen görüntü üzerinde seçilen 30 test noktasının görüntü koordinatları belirlenmiştir. Aynı işlem yine aynı noktalar için 10 nokta ve 20 nokta ile düşeye çevrilmiş görüntü için tekrarlanmıştır.



Sekil 7.1 : Uygulama alanının doğal görüntüsü
(LANDSAT-5 TM)

Her uç grup data dizisi için kontrol noktaları arasında her iki koordinat sisteminde (ölçekli görüntü ve UTM) olası tüm kombinasyonları ile kenar hesaplanmıştır. İki sisteme ait kenarların farkı alınarak bu farkların ortalama farkları hesaplanmıştır. Böylece yapılan koordinat ölçmesinin karesel ortalama hatası belirlenmiş ve aynı zamanda şüpheli nokta olup olmadığı araştırılmıştır. Buradan da ortaya çıkmaktadır ki görüntü koordinatları ancak yaklaşık 1 data pikseli ve buna karşılık ± 30 m'ye kadar (TM) belirlenebilir. Bu çalışmada görüntü yeterince büyütülerek maksimum ± 1 data piksel doğrulukla noktaların tanımlandığı söylenebilir.

Bir bilgisayar programı altında koordinatlar polinomlarla ifade edilerek en küçük kareler yöntemine göre çözüm yapılmıştır. Her uç data grubu için 1.derece, 2.derece ve 3.derece polinomlarla

transformasyon yapılmış ve görüntü koordinatlarının karesel ortalama hataları belirlenmiştir. Aynı bölgenin pankromatik modda SPOT uydusundan alınmış düseye çevrilmiş görüntüsü üzerinde aynı işlem yapılmış ve elde edilen değerler topluca Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Polinom dengelemesi ile ilgili bilgisayar programı ve mesafe farklarının irdeleyen program ekte verilmiştir.

Tablo 7.1 : Karesel ortalama hatalar (m)

Kontrol Noktası	Polinom Derecesi	1.derece	2.derece	3.derece	Mesafe Farklarının K.O.H.
5		19.97	15.48	17.95	29.24
10		19.05	17.35	15.90	31.61
20		19.65	14.61	15.78	31.66
SPOT		9.06	9.20	8.86	14.46

7.2 İSTANBUL ADALAR ÖRNEĞİNDE ALAN KARSILAŞTIRMASI

Düseye çevrilmiş uydu görüntüleri üzerinde bir alan doğruluğu araştırması için İstanbul ili Adalar ilçesi Burgaz, Kaşık, Heybeli, Sedef ve Büyükada adaları örnek uygulama alanı olarak seçilmiştir. Bu amaçla Adalar'ın yer aldığı BURSA-G-22-a serisi (a1-a2-a3-a4) 1:25000 ölçekli paftalar temin edilmiştir. UTM projeksiyonunda dilim orta meridyeninden uzaklaştıkça deformasyonlar arttığı için karşılaştırma büyüklüklerinin ayırdedilebilir anlamlı farklar taşıması amacıyla test bölgesinin mümkün olduğunca sınırda seçilmesi gerektiği görüşü çerçevesinde tercih önem kazanmaktadır.

6° dilim genişliğinde üretilmiş olan 1:25000 ölçekli BURSA-G-22 serisi paftaların dilim orta meridyeninin 27° olduğu gözönüne alınırsa Büyükada'nın dilim orta meridyeninden amaca uygun ölçüde uzak olduğu söylenebilir.

Paftalar ayrı ayrı ele alınarak Adalar'ın kıyı çizgileri HITACHI digitizer sisteminde elle sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırılan kıyı çizgisi koordinatları bilgisayarda Sayısallaştırma EDIGI.EXE paket programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Sayısallaştırma işleminde homojenliği sağlayabilmek amacıyla öncelikle pafta üzerinde tanımlı grid çizgilerinin kesim noktaları arasından seçilen uygun dağılımda 24 noktadan oluşan bir grup, kontrol noktaları olarak sayısallaştırılmıştır. Kontrol noktalarının dağılımını gösteren çizim Sekil 7.2'de görülmektedir. Bu 24 adet kontrol noktasına ait sayısallaştırılan koordinatlar ve bilinen koordinatlardan oluşan data dizisi 1.derece polinomla en küçük kareler yöntemine göre çözülerek afin transformasyonu yapılmıştır. Dengeleme sonucu sayısallaştırılan koordinatların karesel ortalama hatası $\pm 4.342 \text{ m}$ dir. Bu

örnek için transformasyon katsayıları

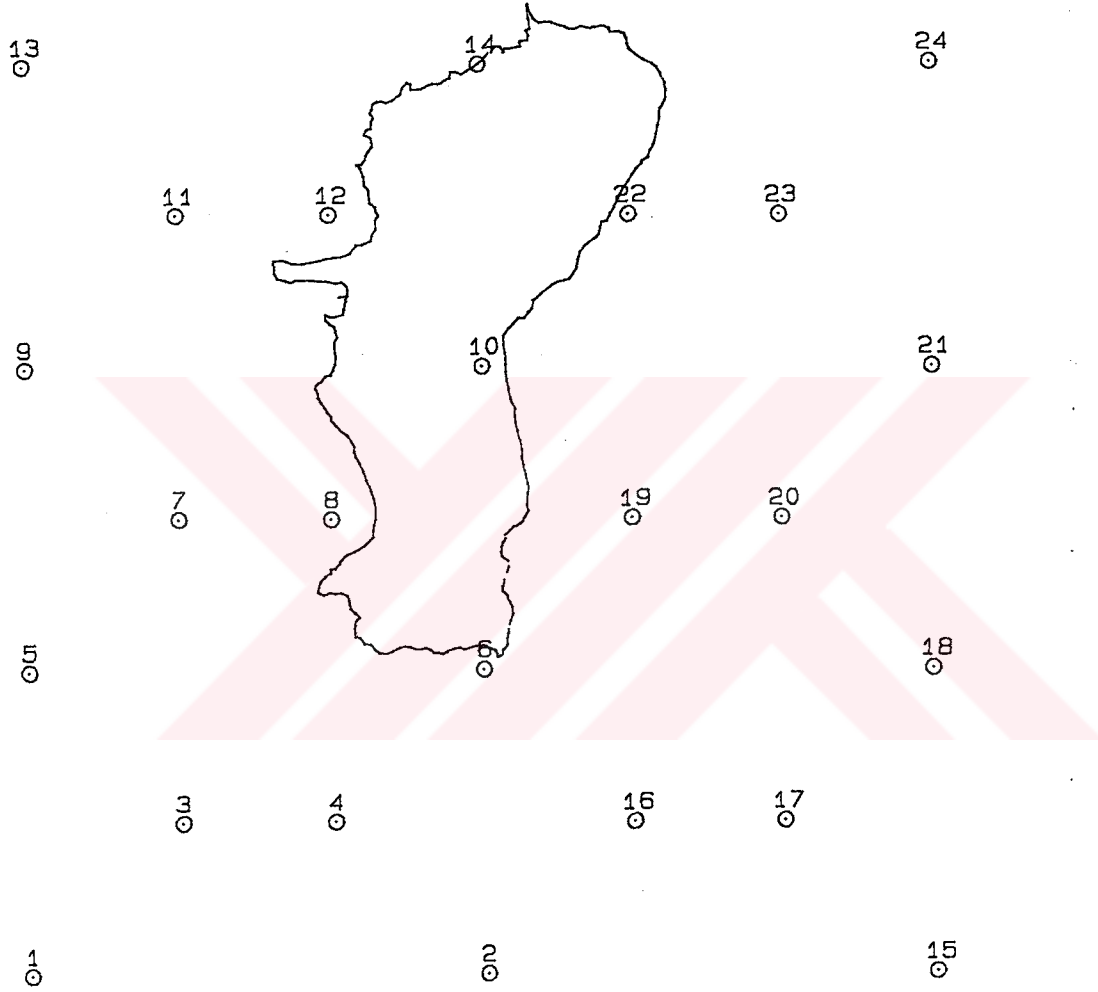
$$X = -4983.6899 + 0.0007 y + 1.0010 x$$

$$Y = -51.7755 + 1.0007 y - 0.0001 x$$

olarak elde edilmiştir.

Bu işlemten önce data dizisi için sayısallaştırma işleminde kaba hata yapıp yapılmadığı yani şüpheli kontrol noktası olup olmadığının tesbiti amacıyla EK 3'de verilen KEN.BAS programı altında bir ölçek analizi yapılmıştır. Bu programla noktalar arasında olası tüm kombinasyonları içerisinde hem sayısallaştırılan hemde bilinen koordinatları ile kenar hesaplanmakta, kenarların karşılıklı olarak farkları alındıktan sonra ortalamadan olan farklarının standart sapması belirlenmektedir. Ele alınan data dizisi için standart sapma $\pm 5.890 \text{ m}$ dir. Aynı data dizisi Helmert

transformasyonu yöntemi ile de değerlendirilmiş ve Helmert ortalama nokta konum hatası $\pm 6.079 \text{ m}$ olarak bulunmuştur.



Sekil 7.2 : Kontrol noktalarının dağılımı

Kontrol noktaları için bulunan polinom katsayıları ile ilk sayısallaştırılan kıyı çizgisi koordinat dosyası afin transformasyon yöntemi ile dönüştürülmüştür.

Afin transformasyon ile iyileştirilen koordinat dosyası Gauss-Krüger koordinatlarından Coğrafi koordinatları hesaplayan bir bilgisayar programı ile noktaların coğrafi enlem, boylam ve yakınsama açıları hesaplanmıştır.

Noktaların coğrafi koordinatları bilindiğinden bu aşamada artık seçilen her türlü projeksiyonda Adaları tanımlamak mümkündür. Alan karşılaştırması yapmak amacıyla alan koruyan Lambert silindirik projeksiyonu ve Lambert azimutal projeksiyonu seçilmiştir. Lambert silindirik projeksiyonunda dik koordinatlar

$$Y = \frac{\lambda}{\rho} R$$

$$X = R \cos \delta$$

esitlikleri ile verilmektedir. Lambert azimutal projeksiyonunda ise dik koordinatlar

$$\rho = 2 R \sin \left(45^\circ - \frac{1}{2} \varphi \right)$$

$$\delta = \lambda$$

olmak üzere

$$X = \rho \cos \delta$$

$$Y = \rho \sin \delta$$

ile hesaplanmaktadır. Bunun için bir bilgisayar programı yapılmış data dosyası okutularak noktaların her iki projeksiyonda Lambert dik koordinatları hesaplanmıştır. Koordinatların hesabında R eğrilik yarıçapı program içerisinde ortalama enlem için tek bir değer olarak ele alınmaktadır.

Adaların kıyı çizgisinin UTM ve Lambert koordinatlarını içeren dosyalar yine bir bilgisayar programı ile okutularak hem UTM hemde Lambert projeksiyonunda alanlar hesaplanmıştır.

Sayısallaştırma işleminde yeterli doğruluğa ulaşabilmek ve karşılaştırma için güvenilir büyüklükler elde edebilmek amacıyla buraya kadar anlatılan tüm işlemler 5 kez tekrarlanmıştır. Bulunan alan değerlerinin ortalaması alınmış ortalamanın karesel ortalama hatası hesaplanmıştır. Bir anlamda sayısallaştırma işleminin presizyonunu ifade eden bu karesel ortalama hata değerleri Tablo 7.2 de verilmektedir.

Tablo 7.2 : UTM projeksiyonunda ortalama alan değerleri ve karesel ortalama hataları

	Alan (m^2)	K.O.H. (m^2)
Büyükada	5398290.83	3237.43
Heybeliada	2550567.00	2074.30
Burgaz	1486845.57	945.76
Sedef Adası	350346.64	139.88
Kasık Adası	59541.41	27.75

Hesaplanan alan değerlerine olan güveni etkileyen bir diğer faktör olarak sayısallaştırma işleminde pafta üzerinde hangi sıklıkta nokta tanımlanması gerektiği söylenebilir. Bu amaçla yine bir bilgisayar programı ile sayısallaştırılan kıyı çizgisi koordinatları ardışık olarak ele alınmış, 1:25000

ölçeği itibarıyla kıyı çizgisinin uzunluğu ve ortalama sayısallaştırma aralığı belirlenmiştir. Elde edilen değerlere göre kıyının yeterli sıklıkta bir detayla tanımlanmış olduğu söylenebilir.

Tablo 7.3 : UTM projeksiyonunda kıyı çizgisi uzunlukları, ortalama nokta sıklığı ve ortalama sayısallaştırma aralığı

	Kıyı çizgisi uzunluğu (m)	Nokta sayısı	Aralık (m)
Büyükada	14301.43	1038	13.78
Heybeliada	9634.37	663	14.53
Burgaz	5914.64	407	14.53
Sedef Adası	2681.04	178	15.06
Kaşık Adası	1300.62	95	13.69

Tablo 7.4 : Lambert azimutal ve silindirik projeksiyonunda hesaplanan alanlar

	Lambert Azimutal (m^2)	Lambert Silindirik (m^2)
Büyükada	5385160.21	5385162.11
Heybeliada	2544432.36	2544430.85
Burgaz	1483265.93	1483266.70
Sedef Adası	349511.61	349511.73
Kaşık Adası	59387.06	59385.96

Buradaki çalışmada da Bölüm 7.2' de bahsedilen uygulama için seçilen aynı bölgeyi kapsayan LANDSAT-5 TM görüntüsü ele alınmış ve içerisinde Adaların yer aldığı 707x589 piksellik bir alt görüntü yaratılmıştır. Aynı bölgenin yer aldığı

1:25000 ölçekli paftalar üzerinde yine kıyı çizgisi üzerinde karakteristik noktalardan 15 tane seçilerek yer kontrol noktaları olarak Hitachi sayısallaştırma sisteminde elle sayısallaştırılmıştır. Düşeye çevirme işlemi için bu noktaların koordinatları bilgisayara girilmiş 1. dereceden polinom ve kübik katlama yöntemi seçilmiştir. Yapılan test ile 3 nokta atılmış ve ± 0.44 piksel K.O.H. ile UTM projeksiyonunda düşeye çevrilmiştir.

Adaları tek tek tanımlamak için düşeye çevrilmiş görüntü içerisinde poligon yöntemi ile görüntü parçalanmıştır. Her bir görüntü ayrı ayrı kontrolsüz sınıflandırma yöntemi ile sınıflandırarak kara ve deniz olan kısımlar ayrılmıştır. Bu işlem esnasında deniz üzerinde şüpheli piksellerde ayıklanarak her bir Ada için karayı temsil eden piksel sayısı istatistik bilgilerden faydalanarak tesbit edilmiştir.

Aynı işlem Lambert azimutal projeksiyonu için de yapılmış ve bu projeksiyonda da karaları temsil eden piksel sayıları belirlenmiştir. Bu düşeye çevirme işleminde de yine 3 nokta atılmış ve 0.4 piksel karesel ortalama hataya ulaşılmıştır. Bir piksel yerde 30 m'ye karşılık geldiğine göre Adaların her iki projeksiyon için piksel bazında alanları saptanmıştır. Sonuçlar Tablo 7.5 de özetlemiştir. Kontrol noktalarının dağılımını gösteren çizim ise Ek 4'de verilmiştir.

Tablo 7.5 : UTM ve Lambert azimutal projeksiyonunda uydu görüntüsünden hesaplanan alanlar

	UTM		Lambert Azimutal	
	piksel	m ²	piksel	m ²
Büyükada	6021	5418900	6000	5400000
Heybeliada				
ve Kaşık adası	2924	2631600	2882	2593800
Burgazada	1636	1472400	1643	1478700
Sedef adası	406	365400	386	347400

Buradan elde edilen değerler ile Tablo 7.2 ve 7.4'te verilen hesapla bulunan alan değerleri karşılaştırılmış ve sonuçlar Tablo 7.6'da verilmiştir.

Tablo 7.6 : Her iki projeksiyon için uydu görüntüsünden elde edilen ve hesapla bulunan alan farkları

	UTM			Lambert Azimutal		
	Hesap	Uydu	Fark	Hesap	Uydu	Fark
Buykada	5398291	5418900	20609	5385160	5400000	14840
Heybeliada						
ve Kasık adası	2610108	2631600	21472	2603819	2593800	10019
Burgaz Ada	1486846	1472400	14446	1483266	1478700	4566
Sedef Adası	350347	365400	15053	349512	347700	1812

Elde edilen alan farklarından, LANDSAT-5 TM verilerinin kapalı şekillerin alanlarının belirlenmesi için de oldukça yeterli olduğu görülmektedir. Özellikle alan koruyan bir projeksiyonda düşeye çevrildiğinde çok daha iyi sonuçlar vermektedir.

SONUÇLAR

Uydu görüntülerinin düşeye çevirme doğruluklarını sınırlandıran faktörler aşağıdakileri içerir :

- 1- Verilerin uzaysal çözünürlüğü,
- 2- Harita ve sayısallaştırma hataları,
- 3- Arazi engebeleri.

Bu faktörlerden datanın uzaysal çözünürlüğü yer kontrol noktalarının konumunu yaklaşık ± 0.5 piksele kadar sınırladığından en önemlisidir.

Teorik bakış açısından koordinatların karesel ortalama hatası bu üç ana kaynağa bağlı olarak

$$KOH_{x,y} = \sqrt{(konum\ h.)^2 + (sayısall.h.)^2 + (engebe\ h.)^2}$$

ile ifade edilebilir.

Topoğrafik haritalardan beklenen standartlar ve geometrik doğruluklar ışığında karesel ortalama hatalar karşılaştırıldığında, olurunca az kontrol noktası (5-10) alınarak ve basit eşitliklerle (2.derece gibi düşük dereceden polinomlar) kullanılarak düşeye çevirme işlemi yapıldığında LANDSAT-5 Tematik Haritalayıcı verilerinin 1:100000 ölçekli harita yapımı ve 1:50000 ölçekli harita yapımı ve güncelleştirilmesi çalışmaları için pratik limitlerde uygun olduğu görülmektedir.

Özellikle son LANDSAT-6,7 serisi uydularda kullanılması amaçlanan ETM (Extended Thematic Mapper) gibi yeni geliştirilmiş tematik haritalayıcılar ile ve 15x15 m pankromatik kanalda algılama yapılacağı gözönüne alınırsa daha mükemmel bir geometrik kaliteye ulaşacağı açıktır.

KAYNAKLAR

- ALPARSLAN, A., SCHNURR, J., (1989); *Uydu görüntüleri yardımıyla (MSS, TM ve SPOT) Meksika'nın bir subtropik bölgesinde orman ve arazi kullanma envanteri*, Sivil Harita Mühendisliğinde Eğitim ve Öğretimde 40. yıl Sempozyumu, 1989
- ARNBERGER, E. (1966) ; *Handbuch der thematischen Kartographie*, Franz Deuticke Wien, 1966
- BAHR, H.P., (1978) ; *Geometric Analysis and Rectification of LANDSAT-MSS Imagery, Comparison of Different Methods*, IGPF Kommission III, Moskau, 1978
- BAHR, H.P., (1979) ; *Wechselwirkung von Photogrammetrie und Fernerkundung durch Anwendung digitaler Bildverarbeitung*, Habilitation Universität Hannover, 1979
- BAHR, H.P., VÖGTLE, T. (1991) ; *Digitale Bildverarbeitung: Anwendung in Photogrammetrie, Kartographie und Fernerkundung*, 2. Auflage Karlsruhe, Wichmann, 1991
- BARRETT, E.C., CURTIS, L.F., (1982) ; *Environmental Remote Sensing*, 2nd edition. London: Chapman and Hall, 1982
- BORGESON, W.T., BATSON, R.M., KIEFFER, H.H. (1985); *Geometric Accuracy of LANDSAT-4 and LANDSAT-5 Thematic Mapper Images*, P.E.R.S. Vol:51, no:12
- BROWN, A., (1987) ; *Remote Sensing, a short overview for Cartography students*, I.T.C Lecture Notes, 1987
- COLVOCORESSES, A.P., (1974); *Space Oblique Mercator*, P.E.R.S., Vol:40, no:8, 1974
- COLVOCORESSES, A.P., (1982); *An Automated Mapping Satellite System (MAPSAT)*, P.E.R.S., Vol:48, no:10, 1982
- CURRAN, P.J., (1989) ; *Principles of Remote Sensing*, Wiley and Sons, 1989
- DENEGRE, J., (1989) ; *Applications of remote sensing to cartography*, Int.Cart.Ass. 14th World Conference 163, 1989

- DOYLE, F.,(1982) ; *Satellite Systems for Cartography*,
Int. Society for Photogrammetry and Remote
Sensing, Commision I, Symposium Canberra,1982
- FORD, G.E., ZANELLI, C.I.,(1985) ; *Analysis and
Quantification of Errors in the Geometric
Correction of Satellite Images*, P.E.R.S.
Vol:51, no:11,1985
- GUGAN, D.J., DOWMAN, I.J.,(1987) ; *Topographic mapping
from SPOT imagery* , P.E.R.S.,1987
- HOTINE,M.(1946) ; *The ortographic Projection of the
Spheroid*, Empire Survey Review, No.8,1946
- KANEKO, T.,(1976) ; *Evaluation of LANDSAT Image
Registration Accuracy* ,P.E.R.S., Vol:42,
no:10,1976
- KING, J.T.,(1984) ; *Introduction to Numerical
Computation*, McGraw-Hill Book Company,1984
- KOLOUCH, D., DENNERT-MÖLLER, E., LOHMAN, P., EHLERS, M., BAHR,
H.P.,(1981) ; *Digitale Verarbeitung von
Fernerkundungsaufnahmen*, ZfV, Heft 3,1981
- KONECNY, G.,(1972); *Geometric Aspects of Remote
Sensing*, Invited paper Comission IV Int.
Cong.of Photogrammetry, Ottawa,1972
- KONECNY, G.,(1979); *Die Methodik der Fernerkundung und
ihre Anwendung zur Erfassung thematischer
Daten*, ZfV Heft 9,1979
- LIGHT, D.L.,(1990) ; *Characteristics of Remote Sensors
for Mapping and Earth Science Applications*,
P.E.R.S, Vol:56, no:12,1990
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W.,(1987); *Remote sensing
and image interpretation*, Wiley, Second
Edition,1987
- LOPES, J.N.,(1983); *Pesquisa Analitico-Fotogrametrica
da Precisao Geometrica de uma Imagem LANDSAT
MSS Processada no Brasil*, Universidade
Federal do Parana, Curitiba,1983
- MAKTAV, D., ULUGTEKIN, N., SUNAR, F.,(1989); *Harita
güncelleştirilmesinde ve yeryüzündeki doğal
kaynakların incelenmesinde SPOT ve LANDSAT
verilerinin rolü*, Sivil Harita Mühendisliği
Eğitiminde 40.Yıl Sempozyumu,1989

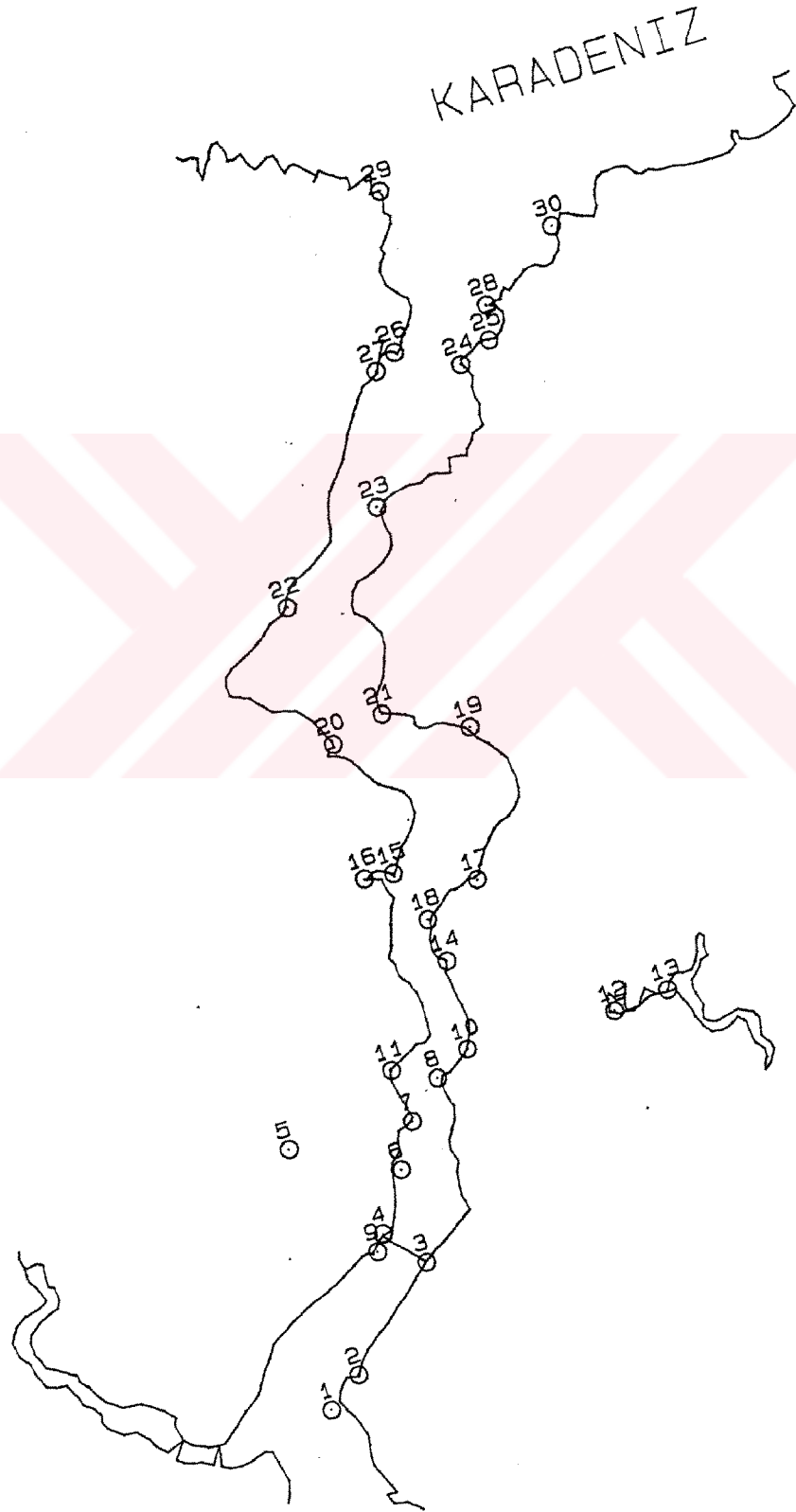
- MALARET, E., BARTOLUCCI, L.A., LOZANO, D.F.,
ANUTA, P.E., MCGILLEM, C.D., (1985) ; *LANDSAT-4
and LANDSAT-5 TM data quality analysis*,
P.E.R.S., Vol.51, No.9 ,1985
- MARKARIAN, H., BERNSTEIN, R., FERNEYHOUGH,
D.G., GREGG, L.E., SHARP, F.S., (1973) ; *Digital
Correction for High Resolution Images*,
Photogrammetric Engineering, Vol:39, 1973
- MATHEWS, J.H., (1987) ; *Numerical Methods for Computer
Science, Engineering and Mathematics*,
Prentice-Hall, Inc, 1987
- MULLER, J.C., (1991) ; *Advances in Cartography*,
International Cartographic Association, 1991
- MUNIER, P., RIVEREAU, J.C., (1989); *Map production and
map updating using SPOT data*, Int. Cart. Ass.
14th World Conference, 199, 1989
- ORTI, F., (1981) ; *Optimal Distribution of Control Points
to Minimize LANDSAT Image Registration
Errors*, P.E.R.S., Vol:47, no:1, 1981
- ORMECİ, C., (1987) ; *Uzaktan algılama : Temel Esaslar
ve Algılama Sistemleri*, Cilt 1, İ.T.Ü.
Matbaası, 1987
- ÖZTAN, O. (1994); *Harita Projeksiyonları* (yayınlanmadı)
- REES, W.G., (1990); *Physical Principles of Remote Sensing*,
Cambridge University Press, 1990
- RICHARDUS, P., ADLER, R.K., (1972); *Map Projections*,
North Holland Publishing Company, London, 1972
- SNYDER, J.P., (1978) ; *The Space Oblique Mercator
Projection*, P.E.R.S., Vol:44, no:5, 1978
- SNYDER, J.P. (1981); *The Space Oblique Mercator
Projection- Mathematical Development*,
U.S.G.S. Bull., 1981
- SNYDER, J.P., (1982) ; *Geometry of a Mapping Satellite*,
P.E.R.S., Vol:48, no:10, 1982
- SNYDER, J.P., VOXLAND, P.M., (1989) ; *An Album of Map
Projection*, U.S. Geological Survey,
Professional Paper 1453, 1989

- SWAIN, P.H., DAVIS, S., (1991) ; *Uzaktan Algılama : Kantitatif Yaklaşım*, Çev. Maktav, D. ve Sunar, F., 1991
- THEODOSSIOU, E.I., DOWMAN, I.J., (1990); *Heighting Accuracy of SPOT*, P.E.R.S., Vol:56, no:12, 1990
- USERY, E.L., WELCH, R., (1984) ; *Map Revision Using Digital Image Processing Techniques*, Technical Papers, 50th Annual Meeting American Society of Photogrammetry, Washington, D.C. Vol:2, 1984
- WELCH, R., (1982) ; *Image Quality Requirements for Mapping from Satellite Data*, Proceedings of International Symposium, Commission I, International Archives of Photogrammetry, Vol:24, 1982
- WELCH, R., USERY, E.L., (1984a) ; *Cartographic Accuracy of LANDSAT-4 MSS and TM image data*, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-22, No.3, 1984
- WELCH, R., (1984b) ; *Mapping the Earth from Space in the 1980's*, Remote Sensing, Proceedings of SPIE, Vol:475, 1984
- WELCH, R., (1985a) ; *Cartographic potential of SPOT image data*, P.E.R.S., Vol.51, No.8, 1985
- WELCH, R., EHLERS, M., (1985b) ; *Digital Image Processing Techniques for deriving Terrain Coordinates from Satellite Image Data*, Technical Papers, 51st. Annual Meeting American Society of Photogrammetry, Washington D.C., Vol:2, 1985
- WELCH, R., JORDAN, T.R., EHLERS, M., (1985c) ; *Comperative Evaluations of the geodetic accuracy and Cartographic potential of LANDSAT-4 and LANDSAT-5 TM image data*, P.E.R.S., Vol.51, No.11, 1985
- WIESEL, J., (1981) ; *Passpunktbestimmung und geometrische Genauigkeit bei der relativen Entzerrung von Abtastdaten*, DGK.Reihe C, heft 268, Munchen, 1981
- WONG, K.W., (1975); *Geometric and Cartographic Accuracy of ERTS-1*, P.E.R.S., Vol.41, 1975

ÖZGEÇMİŞ

1959 yılında İstanbul'da doğdu. Orta öğrenimini İstanbul Alman Lisesinde sürdürdükten sonra ,1985 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 6 yıl Harita Mühendisi olarak serbest çalıştıktan sonra 1991 yılında İ.T.U. İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen bu görevini sürdürmekte olup evli ve iki çocuk babasıdır.

EK 1 : Yer kontrol noktalarının dağılımı



EK.2 : Polinom dengelemesi programı

```

1000 CLS
1010 DEFDBL R-Z
1020 DIM X(30),Y(30),U(42),V(60)
1030 DIM XN(42,42),YL(60),XA(60,42),XK(21),XL(60)
1040 DIM IS(42),IS1(42),IZ1(42),IZ(42),NC1(42),NC2(42)
1050 READ S,M
1060 N=(S+1)*(S+2)
1070 N2=N/2:M2=2*M
1080 FOR I=1 TO M
1090 READ X,Y
1100 GOSUB 3000
1110 FOR J=1 TO N2
1120 XA(I,J)=XK(J)
1130 NEXT J
1140 FOR K=J TO N
1150 XA(I,K)=0
1160 NEXT K
1170 NEXT I
1180 K2=0
1190 RESTORE 1840
1200 FOR K=I TO M2
1210 K2=K2+1
1220 READ X,Y
1230 GOSUB 3000
1240 FOR J=1 TO N2
1250 XA(K,J)=0
1260 NEXT J
1270 K1=0
1280 FOR L=J TO N
1290 K1=K1+1
1300 XA(K,L)=XK(K1)
1310 NEXT L
1320 NEXT K
1330 FOR I=1 TO M
1340 READ Y(I),X(I)
1350 NEXT I
1360 FOR I=1 TO M
1370 XL(I)=X(I)
1380 NEXT I
1390 K=0
1400 FOR J=I TO M2
1410 K=K+1
1420 XL(J)=Y(K)
1430 NEXT J
1440 M=M2
1450 FOR I=1 TO M:FOR J=1 TO N
1460 PRINT XA(I,J);
1470 NEXT J:PRINT XL(I):NEXT I
1480 FOR I=1 TO N
1490 FOR J=1 TO N:XN(I,J)=0
1500 FOR K=1 TO M
1510 XN(I,J)=XN(I,J)+XA(K,I)*XA(K,J)
1520 NEXT K:NEXT J:NEXT I
1530 GOSUB 2400

```

```

1540 FOR I=1 TO N:YL(I)=0
1550 FOR J=1 TO M
1560 YL(I)=YL(I)+XA(J,I)*XL(J)
1570 NEXT J:NEXT I
1580 FOR I=1 TO N:U(I)=0
1590 FOR J=1 TO N
1600 U(I)=U(I)+XN(I,J)*YL(J)
1610 NEXT J
1620 PRINT USING " #####.#### ";U(I);
1630 NEXT I
1640 PRINT:RESTORE 1840:M3=M/2:N3=N/2
1650 FOR I=1 TO M3:READ X,Y:GOSUB 3000:XX=0
1660 FOR J=1 TO N3
1670 XX=XX+U(J)*XK(J):NEXT J:PRINT XX:NEXT I
1680 FOR I=1 TO M:V(I)=0
1690 FOR J=1 TO N
1700 V(I)=V(I)+XA(I,J)*U(J)
1710 NEXT J:NEXT I
1720 FOR I=1 TO M
1730 V(I)=V(I)-XL(I)
1740 PRINT USING " #####.##### ";V(I);
1750 NEXT I
1760 TOPVV=0
1770 FOR I=1 TO M
1780 TOPVV=TOPVV+V(I)*V(I)
1790 NEXT I
1800 MO=SQR(TOPVV/(M-N))
1810 PRINT USING "   m0 = #####.##### ";MO
1820 END
2400 FOR L=1 TO N
2410 IS(L)=0:IZ(L)=0
2420 NEXT L
2430 FOR K=1 TO N
2440 XPIV=0
2450 FOR L=1 TO N
2460 IF IZ(L)=0 THEN GOTO 2480
2470 IF IZ(L)<>0 THEN GOTO 2540
2480 FOR L1=1 TO N
2490 IF IS(L1)=0 THEN GOTO 2510
2500 IF IS(L1)<>0 THEN GOTO 2530
2510 IF ABS(XN(L,L1))<=XPIV THEN GOTO 2530
2520 XPIV=ABS(XN(L,L1)):I=L:J=L1
2530 NEXT L1
2540 NEXT L
2550 IZ(I)=J:IS(J)=I
2560 GOSUB 2630
2570 NEXT K
2580 FOR L=1 TO N
2590 IZ1(L)=L:IS1(L)=I,
2600 NEXT L
2610 GOSUB 2760
2620 GOTO 2990
2630 XPIV=-XN(I,J):XN(I,J)=-1
2640 FOR L=1 TO N
2650 XN(I,L)=XN(I,L)/XPIV
2660 NEXT L
2670 FOR L=1 TO N
2680 IF L=I THEN GOTO 2730

```

```
2690 T=XN(L,J):XN(L,J)=0
2700 FOR L1=1 TO N
2710 XN(L,L1)=XN(L,L1)+XN(I,L1)*T
2720 NEXT L1
2730 NEXT L
2740 RETURN
2750 GOTO 2990
2760 FOR L=1 TO N
2770 ML=IZ(L):NC1(ML)=L
2780 NEXT L
2790 FOR L=1 TO N
2800 N1=IZ1(L):N2=IZ(L):N3=NC1(N1)
2810 IF L=N3 THEN GOTO 2860
2820 FOR L1=1 TO N
2830 ZW1=XN(L,L1):XN(L,L1)=XN(N3,L1):XN(N3,L1)=ZW1
2840 NEXT L1
2850 IZ(L)=N1:IZ(N3)=N2:NC1(N1)=L:NC1(N2)=N3
2860 NEXT L
2870 FOR L=1 TO N
2880 KL=IS(L):NC2(KL)=L
2890 NEXT L
2900 FOR L=1 TO N
2910 N1=IS1(L):N2=IS(L):N3=NC2(N1)
2920 IF L=N3 THEN GOTO 2970
2930 FOR L1=1 TO N
2940 ZW1=XN(L1,L):XN(L1,L)=XN(L1,N3):XN(L1,N3)=ZW1
2950 NEXT L1
2960 IS(L)=N1:IS(N3)=N2:NC2(N1)=L:NC2(N2)=N3
2970 NEXT L
2980 RETURN
2990 RETURN
3000 XK(1)=1:XK(2)=Y:XK(3)=X:XK(4)=Y*Y:XK(5)=X*Y
3010 XK(6)=X*X:XK(7)=Y*Y*Y:XK(8)=X*Y*Y:XK(9)=X*X*Y:XK(10)=X*X*X
3020 XK(11)=Y*Y*Y*Y:XK(12)=X*Y*Y*Y:XK(13)=X*X*Y*Y:XK(14)=X*X*X*Y
3030 XK(15)=X*X*X*X:XK(16)=Y*Y*Y*Y*Y:XK(17)=X*Y*Y*Y*Y
3040 XK(18)=X*X*Y*Y*Y:XK(19)=X*X*X*Y*Y:XK(20)=X*X*X*X*Y
3050 XK(21)=X*X*X*X*X
3060 RETURN
```

EK.3 : Mesafe farkı irdelenmesi programı

```

1000 DEFDBL S-Z
1010 DIM X(100),Y(100),XK(100),YK(100)
1020 READ N
1030 FOR I=1 TO N
1040 READ X(I),Y(I),XK(I),YK(I)
1050 NEXT I
1060 OPEN "O",#1,"KEN.KOH"
1070 FOR I=1 TO N
1080 FOR J=1 TO N
1090 IF I=J OR I>J THEN 1150
1100 XF1=X(I)-X(J):YF1=Y(I)-Y(J)
1110 XF2=XK(I)-XK(J):YF2=YK(I)-YK(J)
1120 S1=XF1*XF1+YF1*YF1:S2=XF2*XF2+YF2*YF2
1130 S1=SQR(S1):S2=SQR(S2):SF=S1-S2
1140 WRITE #1,I,J,SF
1150 NEXT J
1160 NEXT I
1170 CLOSE #1
1180 N1=N*(N-1)/2
1190 OPEN "I",#1,"KEN.KOH"
1200 TOPS=0
1210 FOR I=1 TO N1
1220 INPUT #1,A,B,SF
1230 TOPS=TOPS+SF
1240 NEXT I
1250 ORT=TOPS/N1
1260 CLOSE #1
1270 OPEN "I",#1,"KEN.KOH"
1280 TOPVV=0
1290 FOR I=1 TO N1
1300 INPUT #1,A,B,SF
1310 SFF=SF-ORT
1320 TOPVV=TOPVV+SFF*SFF
1330 NEXT I
1340 CLOSE #1
1350 M0=TOPVV/(N1-1)
1360 M0=SQR(M0)
1370 PRINT USING "   MO : ###.##### m";M0
1380 END

```

Ek 4. : Yer kontrol noktalarının dağılımı

