

**DEPREM SONRASINDA UYDU VERİLERİ VE YERSEL VERİ  
ENTEGRASYONU İLE ARAZİ ÖRTÜSÜ/ARAZİ KULLANIMI ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ  
Y. Müh. Cihangir AYDÖNER  
501982613**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Nisan 2005  
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Temmuz 2005**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Derya MAKTAV**  
**Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ayhan Alkış (Y.T.Ü.)**  
**Prof.Dr. Sıtkı KÜLÜR**  
**Prof.Dr. Filiz Sunar ERBEK**  
**Doç.Dr. Semih ERGİNTAV (TÜBİTAK MAM)**

**TEMMUZ 2005**

## ÖNSÖZ

Marmara Bölgesi'nde 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen deprem, özellikle can kayıpları açısından gönüllerde onarılması güç izler bırakmıştır. Bu tür facialarla tekrar karşılaşmamak için, ülke olarak risklerin azaltılması ve gerekli önlemlerin zaman kaybedilmeden alınması ise herkesin ilk dileğidir. Bu kapsamda, hazırlanan bu tezin de, yapılacak çalışmalarda yararlı olmasını diliyorum.

Bu çalışmanın tamamlanmasında emeği geçen herkese minnettar olduğumu belirtmek isterim. Özellikle bilgi ve deneyimleri ile bana sürekli yol gösteren, desteğini bir an olsun esirgemeyen çok değerli danışman hocam sayın Prof.Dr. Derya Maktav'a ne kadar teşekkür etsem azdır.

Ayrıca, farklı uzmanlık gerektiren konularda bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan TÜBİTAK MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde görev yapan mesai arkadaşlarıma ayrı ayrı teşekkür ederim.

Öte yandan, çalışma kapsamında gereksinim duyulan, gerek uydu verileri, gerekse yersel verilerin sağlanmasında vermiş oldukları destekten dolayı TÜBİTAK MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'ne, İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkürü borç bilirim.

Nisan 2005

Y.Müh. Cihangir AYDÖNER

## İÇİNDEKİLER

<b>KISALTMALAR</b>	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>ix</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b>	<b>xii</b>
<b>ÖZET</b>	<b>xiii</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>xvii</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1 17 Ağustos 1999 Marmara depreminin etkileri ve alınabilecek önlemler	1
1.2 Deprem hasarlarının azaltılmasında doğru arazi kullanımı	3
1.3 Uzaktan algılama ve CBS teknolojilerinin afet amaçlı kullanımı	4
1.4 Araştırmanın amacı ve kapsamı	6
<b>2. VERİLER VE YÖNTEMLER (TEORİK BİLGİLER)</b>	<b>10</b>
2.1 Uydu verileri	10
2.1.1 ERS verileri	10
2.1.1.1 ERS uyduları ve algılama sistemleri hakkında genel bilgiler	10
2.1.1.2 ERS SAR verileri ile ilgili temel kavramlar	13
2.1.2 NOAA-AVHRR verileri	16
2.1.3 LANDSAT verileri	20
2.1.4 SPOT verileri	23
2.1.5 IRS verileri	25
2.2 Yersel veriler	26
2.2.1 Dijital yükseklik verileri	26
2.2.2 Jeolojik veriler	26
2.2.3 Yer ivmesi verileri	27
2.2.4 Toprak verileri	28
2.3 Kullanılan yöntemler	28
2.3.1 İnterferometrik SAR (InSAR) tekniği	28
2.3.1.1 Tarihçe	28
2.3.1.2 InSAR geometrisi ve bazı terimler	29
2.3.1.3 InSAR verilerinin işlenmesi	35
2.3.1.4 InSAR yazılım paketleri	38
2.3.1.5 InSAR uygulamaları	39
2.3.2 NOAA-AVHRR verileri ile deniz yüzeyi sıcaklığının hesaplanması	40

2.3.3 NOAA-AVHRR verileri ile kara yüzeyi sıcaklığının hesaplanması	43
2.3.4 Değişim saptama analizleri	44
2.3.4.1 Fark alma yöntemi	45
2.3.4.2 Ana bileşenler analizi	45
2.3.5 Çok kriterli karar verme yöntemi	46
2.3.5.1 Değerlendirme kriterleri	49
2.3.5.2 Kriter haritalarının üretilmesi	52
2.3.5.3 Kriter ağırlıklarının hesaplanması	54
2.3.5.4 Karar verme kuralı	55
2.3.5.5 Duyarlılık analizi	56
<b>3. UYGULAMA: KOCAELİ İLİ ÖRNEĞİ</b>	<b>58</b>
3.1 Çalışma alanı ve bu alanda daha önce yapılan çalışmalar	58
3.2 ERS SAR verileri ile yerkabuğu deformasyonunun haritalanması	61
3.3 NOAA-AVHRR verileri ile deprem öncesi ve sonrası termal anomalilerin izlenmesi	72
3.4 LANDSAT ve SPOT verileri ile yerleşim ve kıyı çizgisi değişimlerinin haritalanması	78
3.4.1 LANDSAT verileri ile kıyı çizgisi ve yerleşim birimlerinde oluşan değişimlerin incelenmesi	78
3.4.2 SPOT verileri ile kıyı çizgisi ve yerleşim birimlerinde oluşan değişimlerin incelenmesi	85
3.5 IRS verileri ile mevcut arazi örtüsü/arazi kullanımının haritalanması	91
3.6 Yersel verilerin CBS ortamında hazırlanması	97
3.6.1 Dijital yükseklik modeli	97
3.6.2 Jeolojik veriler	99
3.6.3 Toprak verileri	103
3.6.4 Ulaşım ve yerleşim durumuna ait veriler	105
3.7 Yer ivmesi haritasının üretilmesi	107
3.8 Deprem sonrası yerleşime uygun yeni alanların belirlenmesi	111
3.9 Mevcut arazi kullanımı ile yerleşime uygunluğun karşılaştırılması	119
3.10 Deprem sonrası yapılan konut alanlarının yerleşime uygunluk haritası ile karşılaştırılması	123
<b>4. SONUÇLAR</b>	<b>127</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>131</b>
<b>EKLER</b>	<b>139</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>157</b>

## KISALTMALAR

<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>AHP</b>	: Analytic Hierarchy Process
<b>AİGM</b>	: Afet İşleri Genel Müdürlüğü
<b>AKKS</b>	: Arazi Kullanım Kabiliyet Sınıfı
<b>AMI</b>	: Active Microwave Instrument
<b>ATSR</b>	: Along Track Scanning Radiometer
<b>AVHRR</b>	: Advanced Very High Resolution Radiometer
<b>CBS</b>	: Coğrafi Bilgi Sistemi
<b>CCRS</b>	: Canada Center for Remote Sensing
<b>CNES</b>	: Centre National d'Etudes Spatiales
<b>CORINE</b>	: Coordination of Information on the Environment
<b>ÇKKV</b>	: Çok Kriterli Karar Verme
<b>DOS</b>	: Dark Object Subtraction
<b>DUMT</b>	: Dumanlı Tepe GPS İstasyonu
<b>DPT</b>	: Devlet Planlama Teşkilatı
<b>ERS</b>	: European Radar Satellite
<b>ESA</b>	: European Space Agency
<b>ETM+</b>	: Enhanced Thematic Mapper Plus
<b>GAC</b>	: Global Area Coverage
<b>GIS</b>	: Geographic Information System
<b>GPS</b>	: Global Positioning System
<b>HGK</b>	: Harita Genel Komutanlığı
<b>HRPT</b>	: High Resolution Picture Transmission
<b>HRV</b>	: High Resolution Visible
<b>IDHT</b>	: Instrument Data Handling and Transmission
<b>IFSAR</b>	: Interferometric Synthetic Aperture Radar
<b>InSAR</b>	: Interferometric Synthetic Aperture Radar
<b>IRS</b>	: Indian Remote Sensing
<b>JPL</b>	: Jet Propulsion Laboratory
<b>KAF</b>	: Kuzey Anadolu Fayı
<b>KHGM</b>	: Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü
<b>LAC</b>	: Local Area Coverage
<b>LANDSAT</b>	: Land Satellite
<b>LISS</b>	: Linear Imaging and Self Scanning
<b>LRR</b>	: Laser Retro-reflectors
<b>MCSST</b>	: Multi Channel Sea Surface Temperature
<b>MSS</b>	: Multispectral Scanning System
<b>MTA</b>	: Maden Tetkik Arama Enstitüsü
<b>NASA</b>	: National Aeronautics and Space Administration
<b>NDVI</b>	: Normalized Difference Vegetation Index

<b>NOAA</b>	: National Oceanographic and Atmospheric Administration
<b>PAN</b>	: Panchromatic
<b>PCA</b>	: Principal Component Analysis
<b>PRARE</b>	: Precise Range and Range-rate Equipment
<b>RA</b>	: Radar Altimeter
<b>RADAR</b>	: Radio Detection and Ranging
<b>RADARSAT</b>	: RADAR Satellite
<b>RBV</b>	: Return Beam Vidicon
<b>RTC</b>	: Radiation Transfer Code
<b>SAR</b>	: Synthetic Aperture Radar
<b>SLC</b>	: Single Look Complex
<b>SPOT</b>	: Syst'eme Probatoire d'Observation de la Terre
<b>SST</b>	: Sea Surface Temperature
<b>TIROS-N</b>	: Television InfraRed Operational Satellite – Next generation
<b>TM</b>	: Thematic Mapper
<b>TUBI</b>	: TÜBİTAK GPS İstasyonu
<b>TÜBİTAK</b>	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
<b>TÜBİTAK MAM</b>	: TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi
<b>TÜBİTAK MAM YDBE</b>	: TÜBİTAK MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü
<b>UDK</b>	: Ulusal Deprem Konseyi
<b>İTÜ-UHUZAM</b>	: İTÜ Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama Merkezi
<b>UTM</b>	: Universal Transverse Mercator
<b>WIFS</b>	: Wide Field Sensor

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
<b>Tablo 1.1.</b> Marmara depreminin sektörel bazda etkileri ve alınabilecek önlemler.....	1
<b>Tablo 2.1.</b> ERS-1 uydusuna ait teknik özellikler .....	11
<b>Tablo 2.2.</b> NOAA uyduları.....	17
<b>Tablo 2.3.</b> NOAA uydularının yükselme ve alçalma hareketlerinde ekvator dan geçiş zamanları.....	17
<b>Tablo 2.4.</b> NOAA-AVHRR'in spektral ve mekansal (uzaysal) çözebilirlikleri.....	18
<b>Tablo 2.5.</b> NOAA-AVHRR bantları ve temel uygulama alanları.....	20
<b>Tablo 2.6.</b> LANDSAT uyduları ve algılama sistemleri.....	21
<b>Tablo 2.7.</b> LANDSAT-TM'in mekansal ve spektral çözebilirliği.....	22
<b>Tablo 2.8.</b> SPOT algılayıcılarının spektral ve mekansal çözebilirlikleri...	24
<b>Tablo 2.9.</b> IRS algılayıcılarına ait teknik özellikler.....	25
<b>Tablo 2.10.</b> ERS-1 için uygulama bazında önerilen baz uzunlukları.....	34
<b>Tablo 2.11.</b> InSAR veri işlemede kullanılan yazılımlar.....	39
<b>Tablo 2.12.</b> Kara yüzey sıcaklıklarının hesaplanması için geliştirilen bölünmüş pencere eşitlikleri .....	44
<b>Tablo 3.1.</b> Mevcut SAR verilerine ilişkin bilgiler.....	61
<b>Tablo 3.2.</b> Sürekli veri toplayan GPS istasyonlarından elde edilen deformasyon değerleri (13.08.1999-17.09.1999 tarih aralığına ait).....	69
<b>Tablo 3.3.</b> Çalışmada kullanılan NOAA-AVHRR verileri.....	72
<b>Tablo 3.4.</b> NOAA-AVHRR verileri için geometrik düzeltme doğrulukları.....	74
<b>Tablo 3.5.</b> LANDSAT verileri için geometrik düzeltme doğrulukları.....	81
<b>Tablo 3.6a.</b> Deprem öncesi SPOT PAN verileri için geometrik düzeltme doğrulukları.....	85
<b>Tablo 3.6b.</b> Deprem sonrası SPOT PAN verileri için geometrik düzeltme doğrulukları.....	86
<b>Tablo 3.6c.</b> Deprem öncesi SPOT XI verileri için geometrik düzeltme doğrulukları.....	86
<b>Tablo 3.6d.</b> Deprem sonrası SPOT XI verileri için geometrik düzeltme doğrulukları.....	87
<b>Tablo 3.7.</b> Kocaeli ili jeolojik formasyonlar.....	99
<b>Tablo 3.8.</b> Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkındaki yönetmeliğe göre zemin gruplarının belirlenmesi ve tanımı.....	101
<b>Tablo 3.9.</b> Deprem sonrasında ölçülen ivme değerleri.....	107

<b>Tablo 3.10.</b>	<b>Ölçülen ve Campbell (1997)'ye göre hesaplanan ivme değerleri arasındaki farklar.....</b>	<b>109</b>
<b>Tablo 3.11.</b>	<b>İlçe bazında potansiyel yerleşime uygunluk alan dağılımları.....</b>	<b>116</b>
<b>Tablo 3.12.</b>	<b>İlçe bazında arazi örtüsü/arazi kullanımı ile yerleşime uygunluk dağılımının karşılaştırılması.....</b>	<b>119</b>
<b>Tablo 3.13.</b>	<b>Ağustos 2003 tarihli IRS-1D PAN verisi için geometrik düzeltme doğruluğu.....</b>	<b>123</b>





## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 : Afet yönetiminde bilgi akışı.....	6
Şekil 1.2 : Yapılan çalışmalara ilişkin akış şeması.....	8
Şekil 1.3 : Çalışma kapsamında kullanılan yazılım ve donanım altyapısı.....	9
Şekil 2.1 : ERS uyduları, ERS-1 solda, ERS-2 sağda.....	10
Şekil 2.2 : Radar sisteminde hedef bölgeye iletilen ve geri yansıyan mikrodalga darbeler.....	14
Şekil 2.3 : Radar görüntülerinde çözebilirlik.....	15
Şekil 2.4 : Arazi topoğrafyasının SAR görüntülerine etkileri.....	16
Şekil 2.5 : Elektromanyetik sinyal özellikleri.....	30
Şekil 2.6 : İnterferometrik SAR (InSAR) geometrisi.....	32
Şekil 2.7 : InSAR tekniğinde kullanılan baz uzunlukları.....	33
Şekil 2.8 : InSAR veri işleme adımları.....	36
Şekil 2.9 : Çok kriterli karar verme analizinde girdi-çıkı ilişkisi.....	47
Şekil 2.10 : Çok kriterli karar verme analizi akış şeması.....	48
Şekil 2.11 : Amaç ve öznitelikler arasındaki hiyerarşik yapı örneği.....	50
Şekil 2.12 : Basit ağırlıklı toplama ile karar verme kuralı örneği.....	57
Şekil 3.1 : Kocaeli ili ve ilçelerinin IRS uydu görüntüsü.....	59
Şekil 3.2 : Kocaeli ili için daha önce yapılan çalışmaya ait akış şeması	60
Şekil 3.3 : DESCW yazılımı ile Kocaeli bölgesine ait ERS verilerinin araştırılması.....	62
Şekil 3.4 : 336 nolu iz için hesaplanan baz uzunluk değerleri.....	63
Şekil 3.5 : 157 nolu iz için hesaplanan baz uzunluk değerleri.....	63
Şekil 3.6 : ROIPAC yazılımı ile kullanılan parametre dosyasının içeriği.....	64
Şekil 3.7 : 13.08.1999 ve 17.09.1999 tarihli ERS SAR kompleks verilerinden elde edilen interferogram.....	65
Şekil 3.8 : İnterferogram üzerinden dijitalleştirilen örgeler (fringe).....	67
Şekil 3.9 : Yatay doğrultu yüzey deformasyonu.....	68
Şekil 3.10 : Üç bileşenli deformasyon vektörünün, uydunun bakış doğrultusundaki deformasyon bileşenine projeksiyonu.....	68
Şekil 3.11 : Uydu bakış doğrultusuna ait eş deformasyon eğrileri.....	70
Şekil 3.12 : Uydu bakış doğrultusuna ait deformasyon miktarı.....	71
Şekil 3.13 : NOAA-AVHRR verileri ile 16.08.1999 tarihinde elde edilen deniz ve kara yüzeyi sıcaklıkları.....	77

<b>Şekil 3.14 :</b>	ATCOR2 kapsamında izlenen adımlar ve kullanılan parametreler.....	79
<b>Şekil 3.15 :</b>	Deprem öncesi LANDSAT-TM görüntüsünde atmosferik etkinin giderilmesi (3 2 1 bantları).....	79
<b>Şekil 3.16 :</b>	Deprem sonrası LANDSAT-TM görüntüsünde atmosferik etkinin giderilmesi (3 2 1 bantları).....	80
<b>Şekil 3.17 :</b>	LANDSAT-TM verileri ile deprem sonrasında oluşan değişimin haritalanması (Fark alma yöntemi).....	82
<b>Şekil 3.18 :</b>	LANDSAT-TM verileri ile deprem sonrasında oluşan değişimin haritalanması (Ana bileşenler analizi (PCA)).....	84
<b>Şekil 3.19 :</b>	SPOT PAN verileri ile yapılan değişim saptama analizi sonuçları.....	88
<b>Şekil 3.20 :</b>	Deprem öncesi, sonrası ve 1976 yılı kıyı çizgileri ve oluşan değişimler.....	90
<b>Şekil 3.21 :</b>	Deprem sonrası 27.09.1999 tarihli IRS PAN ve LISS-III karma görüntüsü.....	92
<b>Şekil 3.22 :</b>	LANDSAT TM verilerinden elde edilen değişimlerin IRS verileri ile karşılaştırılması.....	93
<b>Şekil 3.23 :</b>	Kandıra ilçesi için IRS verilerinden üretilen güncel yol ve yerleşim birimleri.....	94
<b>Şekil 3.24 :</b>	IRS uydu verilerinden üretilen arazi örtüsü/arazi kullanımı, yerleşim birimleri ve ana ulaşım hatları.....	96
<b>Şekil 3.25 :</b>	Kocaeli ili yükseklik durumu.....	98
<b>Şekil 3.26 :</b>	Kocaeli ili jeolojik zemin grupları.....	102
<b>Şekil 3.27 :</b>	1/100.000 ölçekli toprak haritası örneği.....	103
<b>Şekil 3.28 :</b>	Kocaeli ili arazi kullanım kabiliyet sınıfları.....	104
<b>Şekil 3.29 :</b>	Kocaeli ili ana yollar ve yerleşim birimleri haritası.....	106
<b>Şekil 3.30 :</b>	Kocaeli ili için hesaplanan en büyük yatay yer ivmesi değerleri haritası.....	110
<b>Şekil 3.31 :</b>	Çok kriterli karar verme yöntemi ile yapılan yerleşime uygunluk analizi.....	112
<b>Şekil 3.32 :</b>	Potansiyel yerleşime uygunluğun değer dağılımına ait histogram.....	114
<b>Şekil 3.33 :</b>	Deprem açısından çok kriterli karar verme analizi ile üretilen potansiyel yerleşime uygunluk haritası.....	115
<b>Şekil 3.34 :</b>	Deprem açısından çok kriterli karar verme analizi ile üretilen yerleşime uygunluk haritası (Orman alanları hariç).....	118
<b>Şekil 3.35 :</b>	Mevcut yapılaşma alanlarının deprem açısından yerleşime uygunluk haritası üzerindeki konumu.....	122
<b>Şekil 3.36 :</b>	Kocaeli ilinde yeni yapılan konut alanlarının IRS verilerinden elle dijitalleştirilmesi.....	124
<b>Şekil 3.37 :</b>	Depremden sonra yapılan konut alanlarının yerleşime uygunluk haritası üzerindeki konumu.....	126
<b>Şekil A.1 :</b>	NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları (14.08.1999, 04:33).....	140
<b>Şekil A.2 :</b>	NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları (14.08.1999, 16:00).....	141
<b>Şekil A.3 :</b>	NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları (15.08.1999, 04:21).....	142

<b>Şekil A.4</b> :	NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları (15.08.1999, 15:48).....	143
<b>Şekil A.5</b> :	NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları (16.08.1999, 05:50).....	144
<b>Şekil A.6</b> :	NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları (16.08.1999, 15:37).....	145
<b>Şekil A.7</b> :	NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları (17.08.1999, 05:39).....	146
<b>Şekil A.8</b> :	NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları (17.08.1999, 15:25).....	147
<b>Şekil A.9</b> :	NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları (18.08.1999, 05:29).....	148
<b>Şekil A.10:</b>	NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları (19.08.1999, 05:18).....	149
<b>Şekil B.1</b> :	Uydu bakış doğrultusundaki deformasyona ait kriter haritası.....	150
<b>Şekil B.2</b> :	Eğim durumuna ait kriter haritası.....	151
<b>Şekil B.3</b> :	Toprak durumuna ait kriter haritası.....	152
<b>Şekil B.4</b> :	Mevcut ulaşım yakınlık kriter haritası.....	153
<b>Şekil B.5</b> :	Yatay yer ivmesine ait kriter haritası.....	154
<b>Şekil B.6</b> :	Mevcut yerleşime yakınlık kriter haritası.....	155
<b>Şekil C.1</b> :	Kocaeli ili yerleşime uygunluk haritası.....	156

## SEMBOL LİSTESİ

<b>A</b>	: Genlik, demet genişliği
<b>A<sub>H</sub></b>	: En büyük yatay yer ivmesi
<b><math>\alpha</math></b>	: Baz hattı yönelim açısı
<b><math>\alpha_h</math></b>	: Uydu yörüngesi azimut açısı
<b>B</b>	: Baz hattı uzunluğu
<b>B<sub>c</sub></b>	: Kritik baz hattı uzunluk değeri
<b>B<sub>z</sub></b>	: Baz hattı uzunluğu düşey bileşeni
<b>B<sub>y</sub></b>	: Baz hattı uzunluğu yatay bileşeni
<b>B<sub>⊥</sub></b>	: Baz hattı dik uzunluğu
<b>B<sub>∥</sub></b>	: Baz hattı paralel uzunluğu
<b>d(d<sub>n</sub>,d<sub>c</sub>,d<sub>n</sub>)</b>	: Üç bileşenli yerkabuğu deformasyon vektörü
<b>d<sub>n</sub></b>	: Uydu bakış doğrultusuna ait yerkabuğu deformasyonu
<b><math>\varepsilon_4</math></b>	: NOAA-AVHRR 4. bant ışıınım değeri
<b><math>\varepsilon_5</math></b>	: NOAA-AVHRR 5. bant ışıınım değeri
<b>F</b>	: Faylanma türü
<b>Ge</b>	: SLC (single look complex) verisinin gerçel kısmı
<b>h</b>	: Uydu yüksekliği
<b>L</b>	: Kuzey-güney doğrultusundaki yatay yer ivmesi
<b>M</b>	: Deprem moment büyüklüğü
<b>N</b>	: Toplam kriter sayısı
<b>P</b>	: Darbe (pulse) uzunluğu
<b>R</b>	: Kriter önem sırası
<b>R<sub>y</sub></b>	: Menzil doğrultusundaki çözebilirlik
<b>R<sub>SEIS</sub></b>	: Deprem odağına uzaklık
<b>S<sub>a</sub></b>	: SLC (single look complex) verisinin sanal kısmı
<b>S<sub>SR</sub>, S<sub>HR</sub></b>	: Yerel zemin koşuluna ait sabit
<b>T</b>	: Doğu-batı doğrultusundaki yatay yer ivmesi
<b>T<sub>3</sub></b>	: NOAA-AVHRR 3. bant sıcaklık değeri
<b>T<sub>4</sub></b>	: NOAA-AVHRR 4. bant sıcaklık değeri
<b>T<sub>5</sub></b>	: NOAA-AVHRR 5. bant sıcaklık değeri
<b><math>\varepsilon</math></b>	: Yer ivmesi modeli için standart sapma
<b><math>\phi</math></b>	: Faz farkı
<b><math>\Delta z</math></b>	: Yüksekliğin belirsizliği
<b>r, <math>\rho</math></b>	: Menzil uzunluğu
<b><math>\delta\rho</math></b>	: Menzil uzunluk farkı
<b><math>\lambda</math></b>	: Dalga boyu
<b><math>\theta</math></b>	: Uydu bakış açısı, dalga faz açısı
<b>X<sub>ij</sub></b>	: j'nci kriterin i'nci alternatifi
<b>W<sub>i</sub></b>	: i'nci kriterin ağırlık değeri
<b>Z<sub>A</sub></b>	: Güneş zenit açısı

## **DEPREM SONRASINDA UYDU VERİLERİ VE YERSEL VERİ ENTEGRASYONU İLE ARAZİ ÖRTÜSÜ /ARAZİ KULLANIMI ANALİZİ**

### **ÖZET**

Doğal afetler nedeni ile çok sayıda can ve mal kaybının yaşandığı ülkemizde afet zararlarını en aza indirmek için uygun niteliklerde bir afet bilgi sisteminin kurulması, daha hızlı ve optimal kararların verilmesi için oldukça önemlidir. CBS'nin stratejik bir konuma sahip olduğu söz konusu bilgi sisteminin, risk analizi, erken uyarı, afet izleme, hasar belirleme, yardım amaçlı veri iletimi vb. yeteneklere sahip olması gerekir.

Bu tez çalışmasında, Kocaeli ili için uygulaması yapılan ve afet bilgi sisteminin alt modülü gibi kullanılacak bir metodoloji geliştirilmiştir. Bu metodolojide 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen depremin Kocaeli ili arazi örtüsü/arazi kullanımında yarattığı etkiler, farklı spektral ve mekansal çözebilirliğe sahip NOAA, ERS, LANDSAT, SPOT, IRS verileri ve CBS ortamında hazırlanan jeoloji, yükseklik, toprak vb. gibi yersel veri entegrasyonu ile analiz edilmiştir.

Söz konusu çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada deprem öncesi ve sonrasına ait uydu verilerinin analizi ile yer kabuğu deformasyonları, deprem öncesi ve sonrası meydana gelen termal anomaliler, kent dokusundaki hasarlar ve kıyı çizgisindeki değişimler saptanmıştır. İkinci aşamada ise, jeolojik formasyonlar, arazi örtüsü, arazi kullanım kabiliyet sınıfları, dijital yükseklik modeli, ana ulaşım ağı ve yerleşim durumu dikkate alınarak çok kriterli karar verme yöntemi ile yerleşime uygunluk analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar uydu verilerinden üretilen bilgilerle yorumlanmıştır. Geliştirilen bu metodolojinin hem afet öncesi, hem de afet sonrasında önemli bir karar destek sistemi olarak kullanılabilmesi önerilmektedir. Şöyle ki; periyodik olarak elde edilen NOAA-AVHRR verileri, deprem, sel orman yangınları ve kuraklık gibi afetlerin öncesinde sağlayacağı bilgiler sayesinde gerekli önlemlerin alınmasında etkili olabilir. Nitekim depremin hemen öncesi ve sonrasına ait NOAA-AVHRR verilerinden yararlanılarak, deniz ve kara yüzeyine ait sıcaklık haritaları üretilerek deprem öncesine ait olası anomaliler araştırılmıştır. Deniz ve kara yüzeyi sıcaklıklarını içeren tüm haritaların (EK-A) görsel yorumlama tekniği ile yapılan analizlerinde KAF (Kuzey Anadolu Fayı) ve civarındaki deniz yüzeyi sıcaklık değişimleri net bir şekilde izlenmiştir. (Ancak, KAF ve civarının bulutlu olması, kara yüzeyi sıcaklık değişimlerinin tam olarak izlenmesini engellemiştir). Deprem öncesi 16.08.1999 tarihinde saat 15.37'de elde edilen uydu görüntüsünden oluşturulan deniz yüzeyi sıcaklığı haritasından önemli bilgiler elde edilmiştir. Nitekim özellikle Gelibolu Yarımadası'nın batısındaki

bölgede, Çınarcık ile Adalar arasındaki bölgede ve Tekirdağ ile Marmara Adası arasındaki bölgede olmak üzere toplam üç farklı noktada  $\approx 2-3^{\circ}\text{C}$  lik sıcaklık artışları saptanmıştır. Söz konusu sıcaklık artışlarının özellikle KAF üzerinde olması ilginçtir.

LANDSAT, SPOT ve IRS verileri afet sonrasında gerekli müdahalenin yapılması açısından geniş ölçekteki hasar belirlenmesinde önemli bilgiler sağlamaktadır. Kocaeli ilini kapsayan deprem öncesi (10.08.1999 tarihli) LANDSAT-7 görüntüsü ile deprem sonrası (18.08.1999 tarihli) LANDSAT-5 görüntüsü birlikte analiz edilerek deprem sonrasında İzmit Körfezi kıyı çizgisinde ve yerleşim birimlerinde oluşan değişimler saptanmıştır. Gerekli dijital ön düzeltme işlemlerinin (atmosferik, radyometrik ve geometrik düzeltme) yapılmasından sonra, yerleşim birimlerinde oluşan hasarların belirlenmesi için LANDSAT görüntülerinin görünür bantları, İzmit Körfezi kıyı çizgisinde meydana gelen değişimin saptanması için ise kızılötesi bantlar kullanılmıştır. Değişimlerin saptanmasında basit fark alma ve ana bileşenler analizi üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. LANDSAT uydusuna göre mekansal çözebilirliği daha yüksek olan deprem öncesi ve sonrasına ait SPOT verileri ile de, kıyıda ve yerleşim birimlerinde oluşan hasarların tespitine yönelik benzer nitelikte analizler yapılmıştır. Deprem öncesine (15.07.1999) ve sonrasına (20.08.1999) ait 10m çözebilirlikli SPOT-PAN verilerine gerekli olan düzeltme işlemleri uygulandıktan sonra fark alma yöntemi ile değişim saptama analizi yapılmıştır. SPOT verileri ile, kıyı çizgisinde oluşan değişimin tespit edilmesi için daha farklı bir çalışma yapılmıştır. Deprem öncesi ve sonrası kıyı çizgileri ile birlikte, SPOT karma verileri ile aynı ölçekte veri detayına sahip olan 1976 yılına ait 1/25.000 ölçekli standart topoğrafik haritadaki kıyı çizgisi 3. bir kıyı çizgisi olarak dijitalleştirilmiştir. Üç farklı kıyı çizgisinin bir arada gösterildiği haritanın yorumlanmasından sonra Gölcük kıyısında çöken alanın 1976 yılında deniz olduğu saptanmıştır.

LANDSAT ve SPOT verileri kullanılarak yapılan değişim saptama çalışmalarının kontrolü için, yaklaşık 1/15.000 ölçekli bir haritanın detayına sahip IRS verilerinden yararlanılmıştır. Bu veriler yüksek mekansal çözebilirlikleri nedeniyle, bir afet bilgi sistemi altyapısı için önemli olan güncel arazi örtüsü/arazi kullanım haritası ile güncel yerleşim ve ulaşım durumu haritası için önemli bir kaynak oluşturmuştur.

CBS tabanlı çok kriterli değerlendirme yöntemi, bir afet yönetiminde daha hızlı ve optimal kararların verilebilmesi açısından en önemli karar destek mekanizmasıdır. Bu tez çalışması kapsamında, 17 Ağustos 1999 Marmara depremi esas alınarak çok kriterli değerlendirme yöntemi ile, uydu verileri ve yersel veriler entegre edilerek deprem açısından yerleşime uygunluk analizi yapılmıştır. Kocaeli ili için 5 sınıflı olarak üretilen haritada dikkate alınan kriter haritaları aşağıda verilmiştir:

1. Deprem büyüklüğünün, fay özelliklerinin ve jelojik formasyonların ana girdi olarak kullanıldığı, Campbell (1997)'e göre üretilen en büyük yatay yer ivmesi durumu haritası.
2. ERS-SAR verilerinden üretilen, uydu bakış doğrultusuna ait deformasyon haritası. (Bu amaçla dünyada yeni gelişen ve ülkemizde de çok yeni olan SAR interferometri tekniği kullanılmıştır. Deprem öncesi (13.8.1999) ve sonrasına (17.09.1999) ait ERS verilerinin SAR interferometri için uygunluğu test edildikten sonra interferogram görüntüsü oluşturulmuştur. İnterferogram görüntüsündeki her bir örgenin (fringe) dijitalleştirilmesi sonucunda elde

edilen eş deformasyon eğrilerine, GPS verileri de entegre edilerek Kocaeli ili için uydu bakış doğrultusundaki mutlak deformasyon haritası üretilmiştir.)

3. Toprak verilerinden üretilen arazi kullanım kabiliyet sınıfı haritası.
4. Yükseklik verilerinden üretilen eğim durumu haritası.
5. Ana ulaşım ağına yakınlık durumu.
6. Mevcut yerleşime yakınlık durumu.

Yukarıda verilen önem sıralamasına uygun olarak belirlenen ağırlıklar kapsamında yapılan değerlendirme sonucunda deprem esas alınarak geniş ölçekte potansiyel yerleşime uygunluk haritası üretilmiştir. Üretilen haritanın, güncel arazi kullanımı/arazi örtüsü durumu ile karşılaştırılmasıyla elde edilen sonuçlar ilçe bazında verilmiştir. Buna göre yerleşime uygunluk açısından en uygun alana (>%80) sahip ilçe 29976.7 ha ile Kandıra ilçesidir. Bu ilçeyi 11398.7 ha ile Gebze ilçesi ve 1434.1 ha ile İzmit merkez ilçesi izlemektedir. Yapılan analiz sonucunda Gölcük ve Karamürsel ilçeleri için >%80 yerleşim uygunluğuna sahip bir alanın olmadığı görülmüştür. Diğer taraftan 3432.9 ha ile Gölcük ilçesinin %15.2'si, 19342.8 ha ile İzmit merkez ilçesinin %16'sı, 2319.3 ha ile Karamürsel ilçesinin %9.5'i ve 934.3 ha ile Körfez ilçesinin %2.9'u yerleşime uygunluk açısından <%20 değere sahiptir. Kandıra ilçesinin tamamının, yerleşime uygunluk açısından >%40 değere sahiptir.

Aynı şekilde tüm il bazında mevcut olan yerleşimin de içerisinde bulunduğu yapılaşma alanlarının, Karamürsel ilçesi için 2828 ha ile %100'ünün, Gölcük ilçesi için 1356.5 ha ile %92.9'unun, İzmit merkez ilçesi için 6374.8 ha ile %61.4'ünün, Körfez ilçesi için 925.4 ha ile %30.9'unun, yerleşime uygunluk açısından düşük bir değere sahip %20'den küçük bölgede bulunduğu saptanmıştır. Dolayısıyla, Gölcük, İzmit, Körfez ve Karamürsel ilçelerindeki mevcut yerleşimin deprem açısından düşük yüzdeye sahip bölgelerde bulunması, deprem sonrası yaşanan büyük mal ve can kaybının en önemli nedenleri arasındadır. Gebze ilçesindeki yerleşimin %49.9'u yerleşime uygunluk açısından yüksek sayılabilecek %40-%60 aralığındaki bölgede, Kandıra ilçesindeki yerleşimin %80'i yerleşime uygunluk açısından en yüksek değere sahip %80-%100 aralığındaki bölgede bulunmaktadır. Çalışmanın son adımı, deprem sonrasında Kocaeli ilinde yapılan kalıcı konut alanlarının uygunluğu analiz edilmiştir.

Yukarıda deprem açısından örnek uygulaması yapılan söz konusu yöntemin sel, heyelan, orman yangını vb. gibi diğer afetler öncesi ve sonrası için de kullanılması mümkündür. Burada unutulmaması gereken en önemli husus, verilecek kararların doğru olabilmesi için çok disiplinli çalışma ortamının kesinlikle oluşturulmasıdır.

Günümüzde uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi teknolojileri, afetlerin izlenmesi, değerlendirilmesi, yönetimi ve zararların en aza indirilmesi konusunda uygun stratejileri belirlemede önemli rol oynamaktadır. Ancak, ülke olarak örneğin depremler ile iç içe yaşamamıza rağmen deprem öncesinde ve sonrasında bu teknolojileri kullanarak arazi kullanım analizlerini yapmada ve buna uygun planlama faaliyetlerini gerçekleştirilmede yetersiz kalınmaktadır. Bu kapsamda çeşitli meslek gruplarına ait araştırma yöntemlerini de kullanarak, geniş ölçekte altlık oluşturacak arazi kullanım haritaları ve doğal afetlere karşı duyarlılık haritaları hazırlamak afetlere hazırlık açısından önemli bir adım olacaktır.

Arazi kullanımı ile ilgili geliştirilen politikaların ve planlama faaliyetlerinin hem doğru hem de uygulanabilir olmasında, sağlanan coğrafi bilgilerin niteliği yanında ulaşılmak istenen hedefler de önemlidir. Marmara Bölgesi'nde etkili olan depremin neden olduğu yıkım felaketinin büyüklüğü, özellikle arazi kullanım planlarının hazırlanmasında ülkemizdeki deprem gerçeğinin gözardı edilmiş olduğunu göstermektedir. Bu çalışma ile, söz konusu eksikliğin giderilmesi yönünde yararlı bir adım atılmıştır. Nitekim, ülkemizin başta deprem olmak üzere farklı doğal afetler ile karşılaşabileceği gerçeği göz önünde bulundurularak, arazi örtüsü/razi kullanımı analizlerine yönelik olarak izlenebilecek adımlar konusunda bir yöntem geliştirilmiştir. Uydu verileri ve yersel veri entegrasyonu kullanılarak Kocaeli ili için yapılan bu örnek uygulamanın, deprem tehdidi altında bulunan diğer iller için de yapılması, bu bölgelerde yaşanacak olası depremlerin en az hasarla atlatılması bakımından önem taşımaktadır. Doğal afet olarak depremin esas alındığı bu çalışmada yararlanılan çok kriterli değerlendirme yönteminin ülkemizdeki kullanımının, planlama faaliyetlerinde daha isabetli ve doğru kararların alınması açısından, gerek merkezi yönetim, gerekse yerel yönetimler bazında yaygınlaştırılması yararlı olacaktır.





## **LAND COVER/LAND USE ANALYSIS AFTER AN EARTHQUAKE THROUGH INTEGRATION OF SATELLITE AND GROUND DATA**

### **SUMMARY**

Establishment of an appropriate disaster information system for disaster damage mitigation is rather important while giving faster and better decisions, in our country where there are many losses of lives and property due to natural hazards. It is essential that the disaster information system in which GIS will have a strategic importance must have the abilities for risk analysis, early warning, disaster monitoring, damage detection and help-oriented data transmission.

In this thesis study, a methodology was developed to create a disaster information system submodule and this was applied to the Kocaeli Province. This methodology enabled analysis of the adverse effects of the earthquake of August 17, 1999 on the land use/land cover of the Kocaeli Province through integration of NOAA, ERS, LANDSAT, SPOT, IRS satellite data having various spectral and spatial resolutions with ground data such as geology, elevation, soil and other data in a GIS environment.

This study was carried out in two main stages. In the first stage, the earth crust deformation, thermal abnormalities occurring before and after the earthquake, damages in the urban texture and changes in the coastal line were detected through analysis of satellite data before and after the earthquake. In the second stage, settlement suitability analysis was made by multi criteria decision methodology taking into account of the geologic formations of the Kocaeli Province, land cover, land use capability classes, digital elevation model, main communication network and urbanization status and the results obtained were interpreted by the information generated through satellite images. The developed methodology is proposed to be used as an important decision support system either before or after the earthquake. Hence, periodically acquired NOAA-AVHRR data might be effective by providing information before disasters such as earthquake, flood and forest fires so that necessary measures can be taken. Nevertheless, NOAA-AVHRR data acquired just before and after the earthquake were used to generate temperature maps of the sea and land surface to investigate the abnormalities before the earthquake. All the generated land and sea surface temperature maps (Appendix-A) were analyzed by visual interpretation and the changes in the sea surface temperature were clearly monitored on the NAF (Northern Anatolian Fault) and its vicinity. (However, the cloud cover on the land part of the NAF blocked complete visualization of the land

temperature changes there). Some important information was obtained from the sea surface temperature map calculated from the image acquired before the earthquake on 16.08.1999 at 15:37. Especially  $\approx 2-3^{\circ}\text{C}$  temperature increases were detected at a total of three different locations, namely the region between Çınarcık and Adalar, the region between Tekirdağ and the Marmara Island and the region to the west of the Gallipoli Peninsula. It is interesting to find out that all these three locations lie particularly on the NAF.

LANDSAT, SPOT and IRS data supply significant information to determine macro-scale damages, so that necessary measures can be taken after the earthquake. Changes occurring on the Izmit Bay coastal line and the urban centers in that province after the earthquake were determined through joint analysis of LANDSAT-7 satellite image acquired before the earthquake (10.08.1999) and the LANDSAT-5 one acquired after the earthquake (18.08.1999). After doing all the necessary digital preprocessing (atmospheric, radiometric and geometric corrections), the visible bands of the LANDSAT images were used for damage assessment in the urban centers, while the infrared bands were used to determine the changes on the Izmit Bay coastal line. Simple arithmetic subtraction and the principal components analysis were two different techniques employed in change detection. Damages in the urban centers and the coast were also assessed by analysis of SPOT satellite images acquired before and after the earthquake because these have higher spatial resolution compared to that of LANDSAT satellite. SPOT-PAN data before (15.07.1999) and after (20.08.1999) the earthquake with 10 m spatial resolution were analyzed for change detection after the necessary preprocessing operations. Using SPOT data, a different study was carried out to determine the coastal changes. Coastal lines were digitized before and after the earthquake both from SPOT composite satellite images and 1/25.000 scaled topographic map created in the year 1976 and having the same data scale. After interpretation of the map depicting these three different coastal lines, it was determined that the collapsed area of the Gölcük coast had the marine characteristics in the year 1976.

IRS data containing details of a 1/15.000 scaled map were used to control the change detection studies made using LANDSAT and SPOT data. Owing to its high spatial resolution, IRS data is an important data source for the contemporary land use/land cover map and the state of art with urbanization and communication state map which are important for the infrastructure of disaster information system.

GIS based multi criteria evaluation method is an important decision support tool for optimum and quick decision making in disaster management. Within the framework of this thesis, multi criteria evaluation method was used to carry out a settlement suitability analysis through integration of satellite and ground data according to the scenario of the 17<sup>th</sup> August 1999 Marmara Earthquake. The criteria maps are given below which were taken into account in generation of 5 classes in the Kocaeli Province's settlement suitability map:

1. Horizontal ground acceleration status map generated according to Campbell (1997) using earthquake magnitude, fault characteristics and geological formations as main inputs.
2. Deformation map in satellite look direction generated from ERS-SAR data. (For this purpose, SAR interferometry technique was employed which is a

new worldwide developing technique and also very newly emerging in our country, too. An interferogram image was created after SAR interferometry suitability tests of the ERS data acquired before (13.8.1999) and after the earthquake (17.09.1999). Iso-deformation curves obtained through digitization of each fringe on the interferogram image were integrated by GPS data to create an absolute deformation map for the Kocaeli Province in the satellite look direction.)

3. Land use capability class map generated from soil data
4. Slope status map derived from elevation data
5. Closeness to main communication network
6. Closeness to existing urbanization

A macro scale potential settlement suitability map was created as a result of weighted evaluation of the above-mentioned criteria in a significance order based upon earthquake risk. This map was compared against the contemporary land use/land cover status and the results obtained are given on county basis. According to these results, the county having the most appropriate earthquake safe area is Kandıra, with 29976.7 ha (>80%). The Gebze County with 11398.7 ha and the İzmit Central County with 1434.1 ha are to follow this. Our analysis showed that more than 80 % of the Gölcük and the Karamürsel Counties were settlement unsuitable land. On the other hand, 15.2% of the Gölcük County (3432.9 ha), 16% of the İzmit Central County (1434.1 ha), 9.5% of the Karamürsel County (2319.3 ha) and finally 2.9% of the Körfez County (934.3 ha) have a value of <20% from settlement suitability point of view. On the other hand, the entire Kandıra County has a value of >40% as far as settlement suitability is concerned.

Similarly the existing urbanization areas including the provincial settlement centers, namely 100 % of the Karamürsel County (2828 ha), 92.9 % of the Gölcük County (1356.5 ha), 61.4 % of the İzmit Central County (6374.8 ha) and finally 30.9 % of the Körfez County (925.4 ha) all happened to be in regions having the low value of < 20 % from settlement suitability point of view. The fact that urban areas of Gölcük, İzmit, Körfez ve Karamürsel lie in regions having a low settlement suitability value of <20% may indirectly imply the high rate of loss in lives and property here. 49.9% of the urbanization at Gebze lies in a region having 40% - 60% value for settlement suitability, while 80% of the urbanization at the Kandıra County lies in a region having the highest value of 80%-100% for settlement suitability. The final part of this study includes the settlement suitability analysis for the newly constructed permanent residential areas of the Kocaeli Province.

It is possible to use the above-developed methodology, to study some other disaster cases such as flood, landslide or forest fire. An important point here is that a multi disciplinary study group should be assembled so that right decisions are made.

Nowadays, remote sensing and GIS technologies play a significant role in determination of the most appropriate strategies to monitor disasters, to assess damages, to manage and to mitigate disasters. Despite the fact that earthquakes are a part of our lives, we fail to carry out sufficient land use analysis and planning analysis activities before and after earthquake. To make macro-scaled land use and disaster vulnerability maps would be an important step for disaster preparedness, exploiting the research techniques of groups from various professions.

The land use policies developed and the accurate and applicable planning activities depend on the quality of geographic information available and the targets aimed. The destruction disaster caused by the earthquake affecting the Marmara Region shows that existing land use plans were made ignoring the reality of earthquake disasters in our country. Our current study provides this missing information. Keeping in mind that our country faces various natural disasters, earthquakes being the major one, a methodology was developed to define the steps to be followed for land use/land cover analysis. It is particularly important to carry out the current study done for the Kocaeli Province through integration of satellite and spatial data for other provinces threatened by the earthquake as well in order to mitigate the damages experienced through earthquakes. Multi-criteria evaluation methodology was used in this study taking earthquake disaster as a typical natural disaster case. It will be useful to disseminate this methodology in our country either to the central or the local governments so that they can make more accurate and appropriate decisions for their land use planning activities.



## 1. GİRİŞ

### 1.1 17 Ağustos 1999 Marmara depreminin etkileri ve alınabilecek önlemler

17 Ağustos 1999 tarihinde saat 03:02'de meydana gelen 7.4 büyüklüğündeki Marmara depremi insan yaşamı ve konut hasarları açısından büyük kayıplara neden olmuştur. Sadece Kocaeli ilinde 07.09.1999 tarihi itibarıyla 8511 kişi hayatını kaybetmiş, 9213 kişi ise yaralanmıştır (DPT, 1999). Çok sayıda bina tamamen yıkılmış veya ağır hasar görmüş ve enkaz haline gelmiştir. Türk imalat sanayinde %13'lük bir paya sahip olan Kocaeli ilinde 345 adet sanayi kuruluşu hasar görmüş ve toplamda 3.5 milyar USD'lik maddi kayıp oluşmuştur. Bu rakamlar dikkate alındığında afetlere hazırlık açısından gereken önlemlerin alınmasında yetersizlikler görülmektedir.

17 Ağustos depreminin sektörel bazdaki etkileri ve alınabilecek önlemler, depremden sonra Devlet Planlama Teşkilatı (DPT) tarafından hazırlanan rapor kapsamında Tablo-1'de özetlenmiştir.

**Tablo 1.1:** Marmara depreminin sektörel bazda etkileri ve alınabilecek önlemler (DPT, 1999).

Sektör	Hasar durumu, etkileri	Alınabilecek önlemler
Altyapı	Ağırlıklı olarak karayolu, demiryolu, enerji dağıtım ve haberleşme tesislerinde hasar bulunmaktadır.	Bölgedeki yeniden yapılanma çalışmaları nedeniyle altyapı gereksinimlerinin karşılanmasını sağlayacak önlemlere öncelik verilmelidir.
Sanayi	Depremin imalat sanayii işyerlerinde bina, makine-teçhizat, mamul ve yarı mamul stok kaybı, vasıflı ve vasıfsız işgücü eksilmesi ve ihracat azalması gibi etkileri ortaya çıkmıştır.	Yatırım ve ihracat teşvik sistemi gözden geçirilerek deprem bölgesi için yeni bir düzenleme yapılmalıdır.
Tarım	Tarım sektöründe çok önemli bir hasar bulunmamakla birlikte, çiftçilerin konut, çiftlik yapıları, hayvan kayıpları vb. etkiler söz konusudur.	Ölen hayvanların ortadan kaldırılması, çıkması muhtemel hayvan hastalıkları ile gıda ve suların kontrolü sağlanmalıdır.

**Tablo 1.1: Marmara depreminin sektörel bazda etkileri ve alınabilecek önlemler (DPT, 1999) (devamı)**

<b>Konut</b>	7 Eylül 1999 tarihli “Başbakanlık Kriz Yönetim Merkezi” verilerine göre depremde, bölgede 55.062 adet konut ve işyeri ağır veya orta hasar görmüştür.	Geçici iskan çalışmalarında bölgenin idari, sosyal ve teknik acil gereksinimleri süratle tesbit edilerek bölgede yerleşim düzeni için çalışmalar başlatılmalıdır. Orta vadeli plan çalışmaları bölge, yerleşme, kent ve yapı boyutlarında ele alınmalıdır. Deprem bölgesinin bütününde afete duyarlı bir yerleşme planlama çalışması yapılmalıdır. Deprem bölgesindeki kentler içinde ve arasında yer alan (ulaşım aksları dahil) bütün yatırım kararları yer seçimi açısından yeniden gözden geçirilmelidir.
<b>Sağlık</b>	Bölgedeki Sağlık Bakanlığı ve SSK Genel Müdürlüğü’ne bağlı tesislerde hasarlar oluşmuştur. Hasarların telafisi amacıyla yaklaşık 23 milyon YTL ödeneğe gereksinim bulunmaktadır.	Mobil sağlık hizmetleri modeli geliştirilmelidir. Afet sonrası meydana gelen bazı hastalıklarla ilgili özel tedavi birimleri geliştirilmelidir.
<b>Eğitim</b>	Bölgede toplam 43 adet okul yıkılmış, 377 adet okul hasar görmüştür.	Okulsuz kalan öğrenciler “Taşınabilir Eğitim” kapsamına alınmalı ve kapasitesi müsait olan okullarda ikili ve üçlü öğretime geçilmelidir.
<b>Çevre</b>	Altyapıda, özellikle içme suyu ve kanalizasyon sistemlerinin çatlaması veya kırılması, arıtma tesislerinin hasar görmesi, kimya ve petrokimya tesislerinde canlı yaşama zararlı kimyasal sızıntıların oluşması, çöplerin ve tehlikeli atıkların düzenli bertaraf edilmeyişi, TÜPRAŞ tesislerindeki depolarda çıkan yangın nedeniyle hava kirliliği oluşması kısa, orta ve uzun vadede kendisini hissettirecek önemli çevresel sorunlardır.	Yerleşime açılacak alanlarla ilgili olarak yerel ve merkezi yönetimlerin görev ve sorumlulukları netleştirilmeli; farklı ölçeklerdeki ve kademelerdeki plan yapma ve onama ile ilgili mevzuata bu yansıtılmalı; merkezi yönetimin ve yerel mekanizmaların (meslek odaları, üniversiteler ve gönüllü kuruluşlar) rolleri özellikle denetim konusunda güçlendirilmelidir.
<b>Organize sanayi bölgeleri ve küçük sanayi siteleri</b>	Bölgede hizmete alınmış 6 adet organize sanayi bölgesi ile 30 adet küçük sanayi sitesi ve yapımı devam eden 9 adet organize sanayi bölgesi ve 13 adet küçük sanayi sitesinde meydana gelen hasarların telafisi için yaklaşık 2 milyon YTL’ye gereksinim duyulacağı tahmin edilmektedir.	Bölgede yer alan organize sanayi bölgeleri ve küçük Sanayi siteleri için uygulanmakta olan kredi oranları yükseltilmelidir.
<b>İstihdam</b>	Deprem bölgesi ülkemizin en önemli sanayi bölgesi olması nedeniyle, depremin yol açtığı nitelikli işgücü kaybının oldukça yüksek düzeyde olduğu tahmin edilmektedir.	İşletmelerin işgücü kayıplarından doğan nitelikli işgücü taleplerinin bölge dışından karşılanması imkanları araştırılmalıdır.

Genel olarak yukarıda belirtilen etkilerin temelinde bölgedeki plansız kentleşme ve arazi kullanımı ile imar uygulamalarındaki yanlışlıklar yatmaktadır. Bu nedenle,

kısa vadeli çalışmaların tamamlanmasından sonra uzun dönemde Marmara Bölgesi'nin yeniden planlanarak, mevcut durumun “bölge planı, kent planı ve arazi kullanımı” açısından irdelenmesi ve makro planlarla uyumlu, ileriye yönelik bir bölge gelişim stratejisinin oluşturulması gerekmektedir. Aksi takdirde, çarpık yapılaşma, arazinin yanlış kullanımı, hatalı yer seçimi sonrasında yaşanan doğal afetler facialara neden olmaya devam edecektir.

## **1.2 Deprem hasarlarının azaltılmasında doğru arazi kullanımı**

İnsanoğlu son yüzyılda teknolojik açıdan oldukça büyük gelişmeler sağlamış olsa bile bugünkü sahip olduğu bilgi düzeyi ve teknoloji ile doğal afetleri önlemede yetersiz kalmıştır. Deprem gibi ağır hasarlar veren doğal afetler ile geçmişte olduğu gibi gelecekte de karşı karşıya kalınacaktır. Deprem riskinin çok yüksek olduğu ülkemizde bugüne kadar yaşanan her şiddetli deprem büyük maddi ve manevi kayıpları da beraberinde getirmiştir. Madem ki insanoğlu depremler ile beraber yaşamak zorunda, deprem sonrasında yaşayacağı zararları en aza indirmek için gerekli önlemleri de almalıdır. Deprem zararlarının azaltılmasına yönelik faaliyetlerin bazıları için evrensel nitelikli bilgi birikimi yeterli ise de, pek çoğu için bilimsel yöntemler ve yerel araştırmalar gerekmektedir. Türkiye’de deprem sorununa ilişkin çeşitli alanlarda öteden beri yürütülmekte olan araştırmalar 1999’dan sonra artış göstermiştir. Bununla birlikte, bu araştırmalar bilinçli bir program içinde düzenlenmiş olmadığı gibi, sayıca da yeterli değildir. Oysa, bu konuda alınacak kararların ve izlenecek politikaların araştırma bulgularına dayandırılması ve bilimsel tartışmalara konu edilmesi önem taşımaktadır (UDK, 2002). Dolayısı ile yıkıcı depremler sonrasında, bilimsel yöntemlerle arazide meydana gelebilecek değişimleri analiz edip bilgiler çıkarmak, bu bilgileri kullanarak doğru müdahaleleri yapmak, acil sevk planlarını hazırlamak ve yerleşime uygun yeni yerleri belirlemek, hem afetler ile mücadelede hem de olabilecek depremlere hazırlık açısından önemli bir gereksinimdir. Ülke olarak depremlerle iç içe yaşamamıza rağmen, deprem sonrasında uzaktan algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) gibi güncel teknolojileri kullanarak arazi kullanım analizlerini yapmada ve buna uygun planlama faaliyetlerini gerçekleştirmede ve uygulamada yetersiz kalmaktayız. Bu kapsamda çeşitli meslek gruplarına ait araştırma yöntemlerini de kullanarak, makro ölçekte altlık oluşturacak olan arazi kullanım haritalarını hazırlamak afetlere hazırlık açısından önemli bir adımdır. Böylece, ülkemizdeki kentsel planlama sürecinde karşılaştığımız temel

sorunlardan belkide en önemlisi çözülecektir. Deprem risklerinin yoğunlaştığı kentsel alanların konumları, daha geniş havzalar ve doğal sistemler açısından irdelenmelidir. Tehlike gösteren bölgesel faylar, heyelan, su baskını, sıvılaşma potansiyeli gibi özelliklere sahip alan ve noktaların yanı sıra, yüksek ve orta düzeylerde risk taşıyan yerleşim alanları, barajlar, enerji merkezleri, yüksek gerilim ve boru hatları gibi önemli altyapı elemanları ve organize sanayi bölgeleri, bu amaçla kısmi olarak 1/250.000 ve 1/25.000 ölçeklerde hazırlanacak özel haritalarda tanımlanmalıdır (UDK, 2002). Bu kapsamda depremden sonra ağır hasar gören Marmara Bölgesi için arazi kullanım planının, afet riskleri de gözönünde tutularak hazırlanması gereklidir.

### **1.3 Uzaktan algılama ve CBS teknolojilerinin afet amaçlı kullanımı**

Depremlerin neden olacağı zararları tamamen telafi etmek mümkün değildir. Fakat gelişim ve acil durum planlarının hazırlanması ve uygulanması sonucunda potansiyel deprem zararlarının en aza indirilmesi mümkündür. Afetten etkilenen bölge hakkında doğru bilgiler toplamak, eldeki kısıtlı olanakların doğru bir şekilde kullanılması açısından önem taşır. Daha doğru bilgilerin toplanması açısından, afet bölgesinde yapılacak olan arazi çalışması en garantili yöntemdir. Fakat bu yöntem, bölgenin büyüklüğü ile doğru orantılı olarak çok fazla insan gücü ve zaman gerektirdiği için maliyetin artmasına neden olabilir.

Uzaktan algılama ve CBS teknolojileri; afet yönetimi, izlenmesi, değerlendirilmesi ve zararlarının azaltılması konusunda uygun stratejileri belirlemede önemli bir boşluğu doldurmaktadır. Depreme maruz kalan bir bölgenin belli periyotlarda alınan farklı nitelikteki uydu görüntüleri, sağladığı doğru ve güncel bilgilerle, meydana gelen zararların boyutunun belirlenmesinde önemli bir veri kaynağıdır. Özellikle deprem öncesi ve sonrasında toplanan uydu verilerinin karşılaştırılması, yorumlanması ve elde mevcut olan diğer veri tabanları ile karşılaştırılması sonucunda, afetten etkilenen alanların ve potansiyel tehlike bölgelerinin haritalanması, söz konusu teknolojilerin sunduğu en önemli olanaklardan birisidir. Uydu verileri kullanılarak, arazi topoğrafyasında meydana gelebilecek değişimler farklı detay ve ölçeklerde zamana bağlı olarak haritalanabilir. Ayrıca, bu veriler, depremin geniş alanlarda yarattığı büyük boyutlu hasarların değerlendirilmesine



katkıda bulunarak, meydana gelebilecek yeni afetlere hazırlıklı olmada önemli rol oynar.

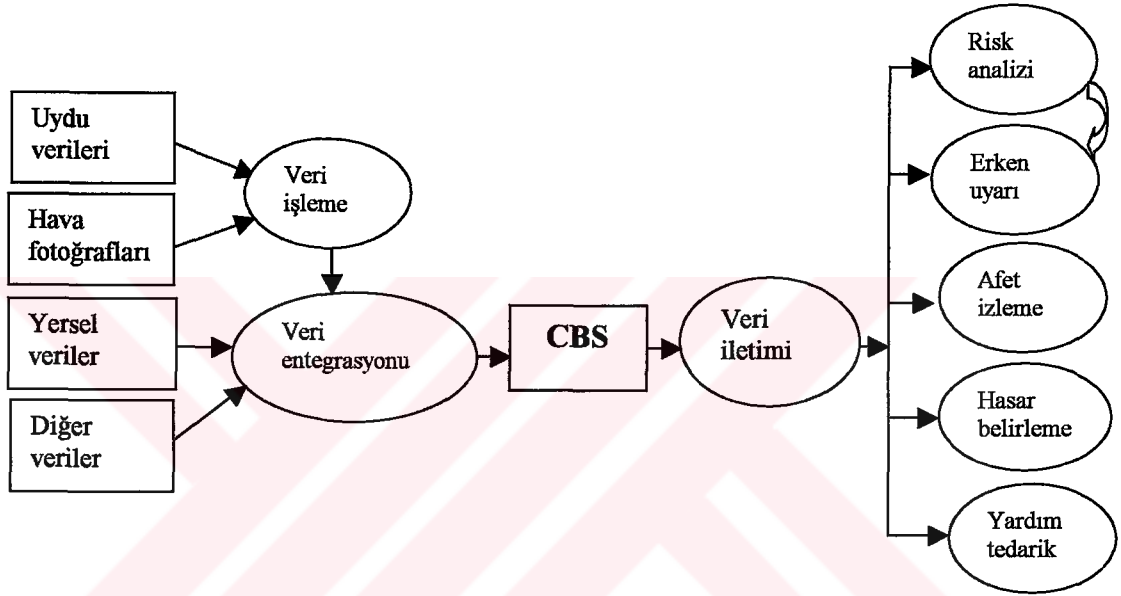
Deprem sonrası meydana gelen hasarın uzaktan algılama teknikleri ile belirlenmesi için değişim saptama analizleri (change detection analysis) yapılır. Söz konusu analizin yapılması için deprem öncesi ve sonrası uydu görüntülerine gereksinim vardır. Günümüzdeki optik görüntü alan uyduların hiçbiri depreme yönelik tasarlanmadığı için, deprem öncesi ve sonrası uydu görüntülerinde zaman farkının çok fazla olmamasına özen gösterilmelidir. Aksi takdirde depremin neden olduğu değişimleri ayırt etmek zorlaşır. Deprem sonrasında uydu verileri ile yapılacak hasar değerlendirme çalışmalarında karşılaşılabilecek en önemli üç problem aşağıda sıralanmıştır.

1. Optik veriler için uygun atmosfer koşullarının olmaması.
2. Bölgenin istenilen zaman aralığında görüntüsünün alınamaması.
3. Uydu mekansal çözünürlüğünün hasar boyutlarını belirlemede yetersiz kalması.

Yukarıda belirtilen problemlerin çözümünde önemli kolaylıklar sağlayan uçaktan uzaktan algılama (airborne remote sensing) teknolojisinin dünyada yaygın olarak kullanılmasına rağmen, ülkemizdeki kullanımı fazla değildir. Dijital kamera ve algılayıcıların, düşük maliyetli tek motorlu bir uçağa monte edilerek, görünür ve kızılötesi bölgede görüntüler alabilmesi, bu sistemleri özellikle ölçek ve zaman yönünden uydulara göre avantajlı bir konuma taşımıştır.

Uzaktan algılama afet yönetiminde ne kadar önemli bir veri kaynağı ise, CBS de verilerin değerlendirilmesinde o kadar önemli bir araçtır. Temelde afet yönetimi, afet öncesi (afet önleme ve afete hazırlık), afet sırası ve afet sonrası (hasar belirleme, yardım dağıtma, rehabilitasyon ve yeniden yapılanma) olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilir. CBS, afete hazırlık aşamasında farklı kaynaklardan gelen geniş hacimli verilerin depolanmasında, sorgulanmasında, analiz edilmesinde, sunulmasında, tehlike ve risk haritalarının üretilmesinde ve acil durum planlarının hazırlanmasında etkili bir araçtır. CBS'nin sahip olduğu asıl güç, gerçek dünya modeline yakın olacak şekilde farklı birçok veri katmanını birleştirerek depremin hasar boyutlarını kestirebilecek risk haritalarını kolaylıkla sunabilmesinde yatmaktadır.

Diğer taraftan, afet sonrasında toplanan bilgiler zamanla değerini kaybedeceği için toplanan bilgilerin bir an önce ilgili kurum ve kuruluşlara iletilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, verilerin kısa zamanda entegrasyonunu ve ilgili kurumlara iletimini sağlayan CBS, afet yönetiminde bilgi akışının sağlanmasında stratejik bir konuma sahiptir. Şekil 1.1’de afet yönetiminde bilgi akışına ait model görülmektedir. CBS’nin yetenekleri kullanılarak uydu ve yersel veri kaynaklarından üretilen bilgilerin birbirleri ile entegrasyonu kolaylıkla yapılabilmekte ve risk analizi, erken uyarı, afet izleme, hasar belirleme, yardım amaçlı veri iletimi yapılabilmektedir.



Şekil 1.1: Afet yönetiminde bilgi akışı (JRC, 2004).

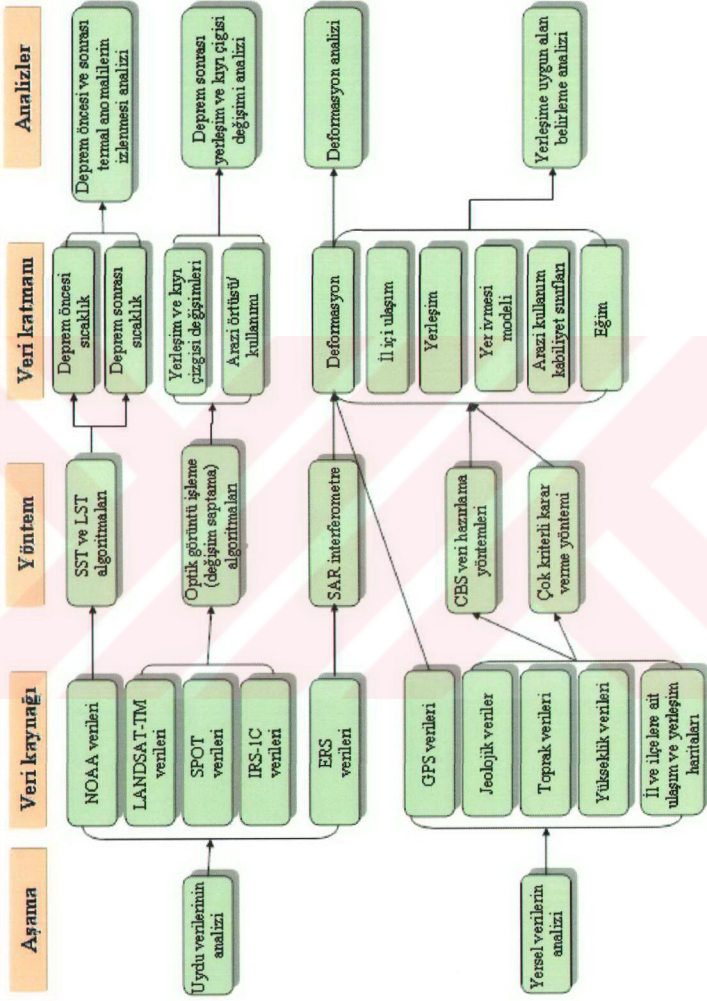
#### 1.4 Araştırmanın amacı ve kapsamı

Bir deprem kuşağı üzerinde yer alan ülkemizde deprem zararlarını en aza indirmek deprem öncesi ve sonrasında yapılan çalışmalara bağlıdır. Bu kapsamda 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen depremin Kocaeli ili arazi örtüsü ve kullanımında yarattığı etkilerin, farklı spektral ve mekansal çözebilirliğe sahip (NOAA, ERS, LANDSAT, SPOT, IRS) uydu verileri ve CBS ortamında hazırlanan jeoloji, yükseklik, toprak vb. yersel verilerin entegrasyonu ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Söz konusu çalışma iki temel aşamada gerçekleştirilmiştir.

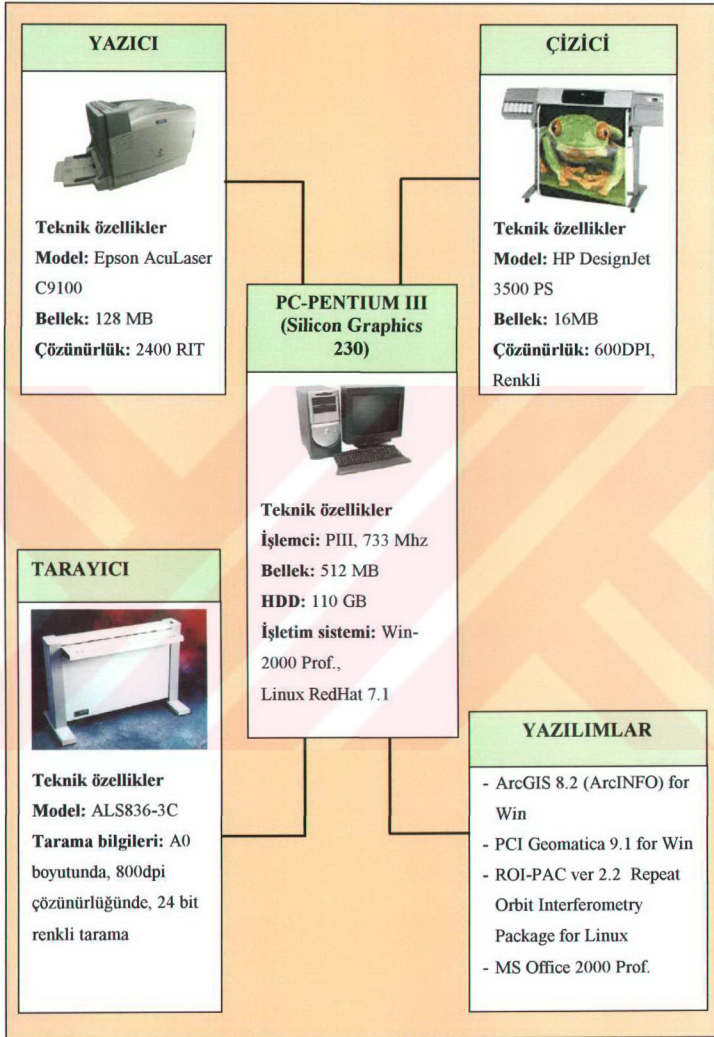
Birinci aşamada deprem öncesi ve sonrası uydu verilerinin analizi gerçekleştirilerek sırası ile yer kabuğu deformasyonu, deprem öncesi ve sonrası meydana gelen termal anomaliler, kent dokusu ve kıyı çizgisindeki değişimler analiz edilmiştir. İkinci

aşamada ise, Kocaeli iline ait jeolojik formasyonlar, arazi örtüsü, arazi kullanım kabiliyet sınıfları, dijital yükseklik modeli, ana ulaşım ağı ve yerleşim durumu dikkate alınarak çok kriterli karar verme yöntemi ile yerleşime uygunluk analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar güncel uydu görüntülerinden üretilen bilgiler ile yorumlanmıştır.

Kocaeli il sınırları kapsamında yapılan çalışmalar detaylı bir akış şeması olarak Şekil 1.2’de verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde, birinci aşamada, NOAA, ERS, LANDSAT, SPOT ve IRS verileri, belirlenen yöntemlerle (SAR interferometre, deniz suyu ve kara yüzey sıcaklığı belirleme, değişim saptama vb.) analiz edilerek deprem öncesi ve sonrasına ait sıcaklık durumu, depremin neden olduğu değişimler ve arazi örtüsüne ilişkin ana veri katmanları üretilmiştir. Üretilen bu veri katmanları değerlendirilerek, deformasyon durumu, sıcaklık değişimleri ve yerleşim ve kıyı çizgisinde meydana gelen değişimler için elde edilen sonuçlar ortaya konmuştur. İkinci aşamada ise, jeoloji, toprak, yükseklik, ulaşım ve yerleşim durumuna ilişkin yersel veriler çok kriterli karar verme yöntemi ile değerlendirilmiş ve deprem esas alınarak yerleşime uygunluk analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda elde edilen yerleşime uygunluk haritası, depremden 4 yıl sonraki yapılaşma durumunu gösteren IRS PAN uydu verileri ile karşılaştırılarak deprem sonrasında yapılan kalıcı konut bölgelerinin uygunluğu test edilmiştir. Çalışma boyunca kullanılan yazılım ve donanım altyapısı ise Şekil 1.3’te detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 1.2: Yapılan çalışmalara ilişkin akış şeması.



Şekil 1.3: Çalışma kapsamında kullanılan yazılım ve donanım altyapısı.

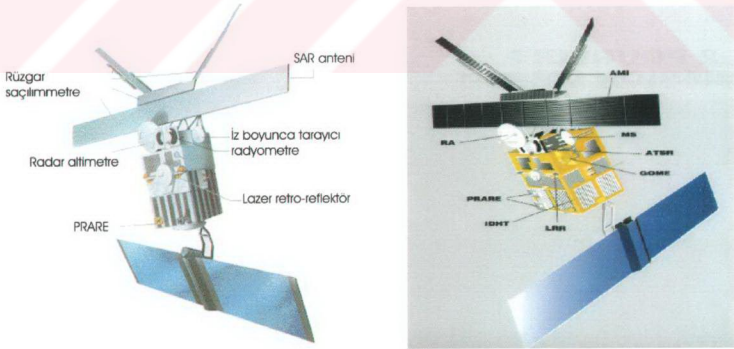
## 2. VERİLER VE YÖNTEMLER (TEORİK BİLGİLER)

### 2.1 Uydu verileri

#### 2.1.1 ERS verileri

##### 2.1.1.1 ERS uyduları ve algılama sistemleri hakkında genel bilgiler

ESA'nın ilk yer gözlem uydusu olan ERS-1 1991 yılının Temmuz ayında uzaya fırlatılmıştır. Uydunun taşıdığı yapay açıklıklı radar (SAR), radar altimetresi ve diğer zengin görüntüleme sistemleri ile toplanan veriler deprem ve sel gibi doğal afetler, okyanus ve atmosfer uygulamaları, sıcaklık ve rüzgar durumunun ölçülmesi gibi birçok uygulamalarda kullanılmaktadır. ERS-1 uydusunun devamı niteliğinde 1995 yılında ERS-2 uydusu fırlatılmıştır. ERS-1 uydusunun ikizi gibi tasarlanan ERS-2 uydusunun en önemli farkı atmosferdeki ozon araştırmaları için ayrı bir algılama sistemine sahip olmasıdır. ESA tarafından geliştirilen Şekil 2.1'deki ERS-1 ve ERS-2 uydusu, yeryüzünün gözlenmesinde Avrupa'nın geliştirip fırlattığı en karmaşık sistemler arasında sayılmaktadır.



Şekil 2.1: ERS uyduları, ERS-1 solda, ERS-2 sağda (ESA, 2004).

1999 yılı içerisinde ERS-1 uydusu yakıtının bitmesi sonucunda ömrünü tamamlamıştır. Halâ görüntü almaya devam eden ERS-2 uydusunun ise birkaç yıl daha veri toplaması beklenmektedir.

ERS-1 uydusuna ait teknik parametreler ana başlıklar halinde Tablo 2.1'de verilmiştir.

**Tablo 2.1:** ERS-1 uydusuna ait teknik özellikler (ESA, 2004).

Yörünge	Tip: Dairesle yakın, kutupsal, güneşle senkronize Yükseklik: 782-785 km Eğiklik: 98.52 derece Periyot: Yaklaşık 100 dakika Günlük yörünge sayısı: 14.3 Aynı yerden geçiş süresi: 3 gün, 35gün ve 176 gün
Algılama sistemleri	SAR ve rüzgar saçılımmetresinden (wind scatterometer) oluşan aktif mikrodalga algılama sistemi; Radar yükseklik ölçer; İz boyunca tarayıcı radyometre; Yörünge tespit cihazları (Hassas mesafe ve mesafe-oranlama sistemi ve lazer geri yansıtıcılar)
Kütle ağırlıkları	Toplam ağırlık: 2157.4 kg Toplam yük miktarı: 888.2 kg Toplam platform ağırlığı: 1257.2 kg Aktif mikrodalga cihazı (AMI): 325.8 kg Radar altimetresi (RA): 96.0 kg Veri çözme ve gönderme cihazı (IDHT): 74.0 kg İz boyunca tarayıcı radyometre (ATSR): 55.3 kg Hassas menzil ölçer (PRARE): 12.0 kg Lazer retro-reflektör (LRR): 2.5 kg
Gereken enerji miktarları	Taşınan yük için gereken maksimum güç $\leq 2600$ W Yük için sürekli olarak gereken güç $\leq 550$ W Güç kaynağı voltajı: 23-37 V Ana kart için gereken enerji: 2650 WH max
Yörünge hareketi	Tip: 3 eksende yer noktasına sabitleştirilmiş Mutlak hata: $\leq 0.0015$ sn (3 sigma) Maksimum hata: yatay eksenlerde $0.11^\circ$ , düşey eksende $0.21^\circ$ lik sapmalar. Tahmin etme doğruluğu: 30 m (radyal), 15 m (çapraz), 1000 m (iz boyunca)
Haberleşme durumu	Uydu alıcı-vericisi: S band uyumlu (2 kbit/s) İletim için gereken güç: 50-200 mW Ölçme hızı: 2048 bit/s Komut iletim hızı: 200 bit/s Veri indirme hızı: - X-band (105 Mbit/s yüksek oran bağlantısı AMI görüntü modu için) - X-band (15 Mbit/s düşük oran bağlantısı LBR verisi için)

ERS-1 uydusunun optimum sayıda görüntü alabilmesi için daha önceden tasarılanan yörüngelerde hareket etmesi sağlanmıştır. Belli bir konfigürasyonda hazırlanmış olan yörüngeden diğer yörüngeye geçiş süreci 2 hafta olabilir. Uydu kontrolü İsveç'in kuzeyinde, Kiruna'da bulunan kontrol ve yönetim merkezinden

yapılmaktadır. 24 saat olarak planlanan görüntü çekimleri, zamana bağı makro programlar şeklinde uydu üzerindeki bilgisayara iletilmekte ve bilgisayar tarafından gönderilen programlar çalıştırılmaktadır. ERS-1 platformu üzerinde değişik işlemciler tarafından koşturulan çok sayıda yazılım paketi vardır. Platform bilgisayarı üzerinde bulunan Merkezi Uçuş Yazılımı (Centralized Flight Software), verilen görevleri optimum yerine getiren bütün temel fonksiyonlara sahiptir. Bununla birlikte platform üzerinde bulunan beş ayrı algılama sisteminin her birinin kendisine ait ayrı bir kontrol birimi vardır.

ERS-1 üzerinde bulunan aktif mikrodalga algılama sistemi, görüntü ve dalga modunda çalışan SAR ve rüzgar saçılımımetresi olmak üzere iki farklı sistemden oluşmaktadır. Görüntü modundaki SAR sistemi uydu izinin sağında 100 km genişliğinde 10-30m mekansal çözünürlüklü görüntüler elde etmektedir. Uçuş yönüne paralel olan 10 metre genişliğindeki anten ile gönderilen radar ışınımın dünyadan yansımından sonra, yüzeyin cinsine ve uydudan olan uzaklığına bağı olarak değişen sinyal gecikmesi ve sinyal gücü ile görüntüler oluşturulmaktadır. Güç tüketimi nedeni ile görüntü modunda sistem yörünge başına 10 dakikalık bir çalışma zamanı ile sınırlandırılmıştır. 100 Mbit/s'lik veri hızı çok yüksek olduğundan toplanan veriler uydu platformu üzerinde kaydedilemez, ancak uygun donanıma sahip olan yer istasyonları tarafından kaydedilebilir. Dalga modundaki SAR sistemi 200 km'lik bir iz boyunca deniz dalgaları tarafından yansıtılan 5kmx5km'lik görüntüleri kaydeder. Veri toplama hızı düşük olduğu için, toplanan veriler daha sonra yer istasyonlarına iletilmek üzere uydu platformunda kaydedilmektedir. Rüzgar saçılımımetresi ise üç adet antenden oluşmaktadır. Bu antenler 500 km genişliğindeki bir alanı tarayabilir. Birbirinden bağımsız olarak alınan üç farklı ölçüm sonuçları matematiksel modeller ile değerlendirilerek rüzgar yönü ve şiddeti hakkında veriler elde edilebilir. Rüzgar saçılımımetresi görüntü modundaki SAR sistemi ile birarada kullanılamaz, ancak dalga modundaki SAR sistemi ile birlikte kullanılabilir.

Uydu üzerinde yer alan diğer bir algılama sistemi olan radar altımetresi, okyanus ve buz modunda olmak üzere iki farklı modda yansıyan sinyalleri değerlendirerek dalga yüksekliği, yüzeydeki rüzgar hızı, akıntılar, geoidler, deniz ve buzul topoğrafyası hakkında bilgiler sağlamaktadır.

İz boyunca tarayıcı radyometre, sahip olduğu dört kızılötesi bandı ile deniz yüzeyi ve bulut sıcaklıklarını ölçmek için kullanılmaktadır. Dünya yüzeyini iki farklı açıdan



tarayabilir. Elde edilen verilerle atmosferik etkinin giderilmesi ve deniz yüzey sıcaklığının daha doğru hesaplanması sağlanır.

İz boyunca tarayıcı radyometreye takılı olarak çalışan mikrodalga radyometresi, iki bantlı pasif algılama yapabilen bir cihazdır. Bu cihaz, atmosferdeki toplam su miktarının ölçülmesini sağlayarak diğer algılama sistemlerinden elde edilen verilerin iyileştirilmesinde etkin rol oynar.

Hassas mesafe ve mesafe oranlama cihazı, her türlü hava koşullarında çalışan yüksek doğrulukta mesafe ve mesafe oranlama ölçümleri yapan mikrodalga sistemidir. Yörünge belirlemede ve jeodezik uygulamalarda kullanılması düşünülmüş olmasına rağmen ERS-1 uydusunun fırlatılışından hemen sonra ışınım hasarı nedeni ile devre dışı kalmıştır.

Lazer geri yansıtıcılar uydu konum ve yörüngesinin belirlenmesinde kullanılır. Radar altimetresi tarafından  $\pm 10$  cm doğrulukla belirlenen yüksekliklerin kalibrasyonunda kullanılmakla beraber uydu yörüngesinin 0.5 m'den daha hassas belirlenmesini sağlar. Bu donanımın çalışma prensibi yansıyan lazer darbelerinin gidiş-dönüş sürelerinin hesaplanmasına dayanmaktadır.

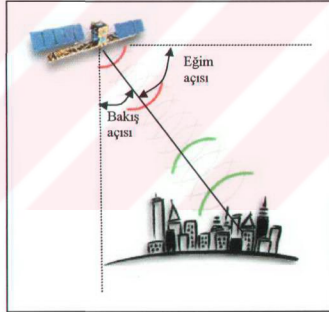
ERS-2 uydusu, ERS-1 uydusundan farklı olarak atmosferdeki ozon miktarını ve bitki örtüsü değişimlerini ölçmede kullanılan ayrı bir pasif algılama sistemi taşımaktadır. ESA tarafından geliştirilen "global ozon ölçüm cihazı" şu ana kadar uzaydan ozon miktarını en hassas ölçebilen spektrometredir. ERS-2 uydusundaki diğer bir yenilik, iz boyunca tarayıcı radyometre cihazına spektrumun görünür bölgesinde algılama yapabilen yeni bantların eklenmiş olmasıdır. Ayrıca, ERS-1'in fırlatılışından hemen sonra arızalanan hassas mesafe ve mesafe oranlama cihazı ERS-2 uydusu için yeniden tasarlanmıştır.

### **2.1.1.2 ERS SAR verileri ile ilgili temel kavramlar**

Tez çalışması kapsamında, ERS uydularının her türlü hava koşullarında yüksek çözünürlüklü veri sağlama yeteneğine sahip olan SAR aktif mikrodalga verileri kullanılmıştır. Bu görüntüler, mikrodalga darbelerin (pulse) belirli bir zaman periyodu içerisinde hedefe gönderilip geri yansımaların kaydedilmesi sonucu oluşmaktadır (Şekil 2.2). Genlik ve faz bilgisi şeklinde kaydedilen SAR verileri optik görüntülerden tamamen farklıdır. Genlik, algılayıcıya geri dönen enerji, yani geri saçılım (backscatter) miktarının bir ölçüsü olup bölgenin topoğrafyasına, yüzey

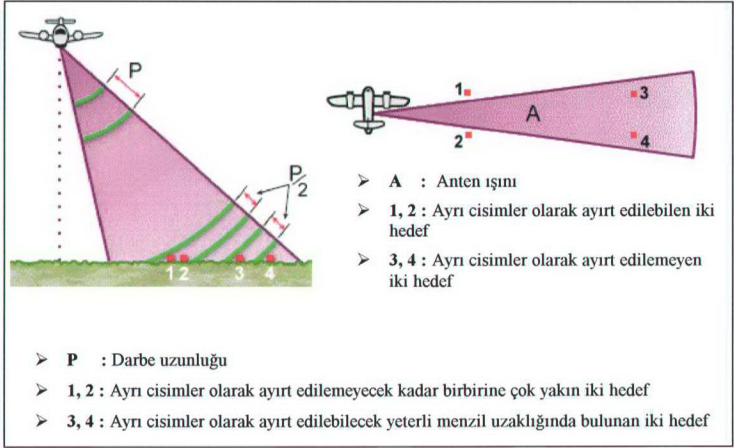
pürüzlülüğüne ve di-elektrik özelliğine bağlı olarak değişir. Faz ise, bir dalganın diğer dalgaya göre kayma miktarını belirtir ve genellikle açısal birimde ölçülür. SAR görüntülerinde sadece bir görüntüdeki faz bilgisi tek başına kullanılmaz. Bu faz değerinin, aynı alanı farklı bakış açısı ile kaplayan diğer bir görüntüdeki faz değerinden çıkarılması sonucu önemli bilgiler elde edilebilir. Interferogram olarak adlandırılan faz farkı görüntüsünün oluşturulması ve işlenmesi SAR interferometre (InSAR) tekniğinin temelini oluşturur.

SAR görüntülerinde çözünürlük, darbe sinyalinin uzunluğu (P) ve antenin demet genişliği (A) ile kontrol edilir. Darbe sinyalinin uzunluğu, enerji iletimi yönündeki (uçuş yönüne dik doğrultudaki) çözünürlüğü belirler, bu da menzil yönü olarak bilinir. Daha kısa darbeler, daha yüksek menzil çözünürlüğü verir. Anten demetinin genişliği ise uçuş veya azimut yönündeki çözünürlüğü belirler. Demet genişliği, radar dalga boyuyla doğru, verici antenin uzunluğuyla ise ters orantılıdır. Bu da çözünürlüğün antenden uzaklaştıkça kötüleştiği anlamına gelir. Azimut yönünde yüksek çözünürlük elde etmek için radar antenin çok uzun olması gerekir.



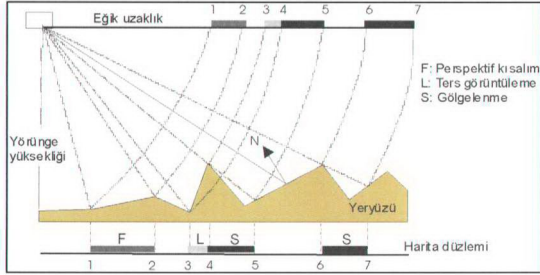
**Şekil 2.2:** Radar sisteminde hedef bölgeye iletilen ve geri yansıyan mikrodalga darbeler.

ERS-1 SAR görüntülerinde 12.5 m piksel aralığı ve yaklaşık 30 m çözünürlük vardır, yani her piksel yeryüzünde 12.5 m x 12.5 m'lik bir alanı temsil etmekte, ancak bu görüntüden 30m eninde veya daha geniş cisimler ayırt edilebilmektedir. Şekil 2.3'te radar görüntülerinde iki cismin ayırt edilebilmesi için gerekli koşullar gösterilmektedir.



**Şekil 2.3:** Radar görüntülerinde çözebilirlik.

Hedef cisme gönderilen sinyalin cisme ulaşması ve geri dönmesi arasında geçen zaman, cismin ne kadar uzaklıkta olduğunu belirtir. Gönderilen sinyalden iki ayrı yankı elde ediliyorsa, ilk ölçülen sinyal ile ikincisinin zaman farkı kullanılarak iki cisim arasındaki uzaklık bulunabilir. SAR, uydunun gidiş yönü boyunca cisimlerin uyduya olan uzaklıklarını ve iki cisim arasındaki uzaklığı ölçer. Bu uzaklıklar, yerden belirli bir açıyla eğik olarak ölçüldüklerinden “eğik uzunluklar” olarak kaydedilir. Yeryüzünde her türlü hesaplamaların yapılabilmesi için yeryüzündeki uzaklıkların bilinmesi önemlidir. Basit matematiksel dönüşümlerle eğik uzunlukların yatay uzunluklara dönüşümü yapılabilir. Burada arazinin topoğrafik yapısının SAR görüntüsünün oluşumunda distorsiyona neden olacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Arazi topoğrafik yapısının SAR görüntülerine etkisi üç farklı şekildedir (Şekil 2.4).



**Şekil 2.4:** Arazi topoğrafyasının SAR görüntülerine etkileri (**Bamler ve Schaettler, 1993**).

*Perspektif kısalım (Foreshortening):* Arazideki yüzey eğim durumunun ortaya çıkardığı bir etkidir. Bu etki, düzlem üzerine izdüşürülen SAR görüntülerinde, eğilimli yüzey SAR platformuna bakıyorsa uzunluğunun daha kısa, eğilimli yüzey SAR platformuna bakmıyorsa uzunluğunun daha uzun görünmesine neden olur. Perspektif kısalım etkisinin olduğu bölgeler SAR görüntülerinde çevresine göre daha parlak (eğilimli yüzey SAR platformuna bakıyorsa) veya daha koyu (eğilimli yüzey SAR platformuna bakmıyorsa) görünür.

*Ters görüntüleme (Layover):* SAR platformuna bakan eğilimli yüzeylerde eğim derecesi uydunun bakış açısından daha büyük ise eğilimli yüzeyin en üst noktası en alt noktasına göre uyduya daha yakındır. Bu ise ters görüntüleme adı verilen distorsiyona neden olur.

*Gölgeleme (Shadowing):* SAR platformuna bakmayan eğilimli yüzeylerde eğim derecesi uydunun bakış açısından daha büyük ise söz konusu bölgelerin radar gölgeleri nedeni ile görüntülenmesi yapılamaz.

### 2.1.2 NOAA-AVHRR verileri

İlk işlevsel NOAA (National Oceanographic and Atmospheric Administration) uydusu TIROS-N (Television InfraRed Operational Satellite – Next generation) 1978’de fırlatılmıştır. Bunu Tablo 2.2’de belirtilen diğer uydu serileri takip etmiştir. Ortalama 833 km yüksekliğinde kutupsal bir yörüngeye sahip olan bu uydular dünya etrafında günde 14 tur atmaktadır. Bu uydulardan görüntü alabilmek için en az 1.8 m

çaplı bir anteni bulunan NOAA yer istasyonu ve yazılımına gereksinim vardır. İstasyon kurulumundan sonra ayrıca görüntü lisansı gerekmemektedir.

**Tablo 2.2:** NOAA uyduları.

No	AVHRR	Servis tarihleri
5	1	11.06.1978 / 01.11.1980
6	1	17.07.1979 / 09.07.1986
7	2	24.06.1981 / 08.01.1985
8	1	20.06.1982 / 17.10.1985
9	2	17.12.1984 / 19.01.1995
10	1	1986-10-08 to 2001-08-30
11	2	21.10.1988 / 15.09.1994
12	2	16.07.1991
13		12 gün sonra arızalandı.
14	2	19.01.1995
15	3	1998-05-13 (Görüntü kalitesini etkilen senkronizasyon problemi, 09-10.07.2000)
16	3	21.09.2000
17	3	24.06.2002

NOAA uydularının kuzeye doğru yükselme (ascending) ve güneye doğru alçalma (descending) hareketlerinde ekvatorun geçiş zamanları Tablo 2.3’de verilmiştir.

**Tablo 2.3:** NOAA uydularının yükselme ve alçalma hareketlerinde ekvatorun geçiş zamanları.

Uydu	Yükselme (Ekvator) zamanı	Alçalma (Ekvator) zamanı
TIROS-N	15:00	03:00
NOAA-6	19:30	07:30
NOAA-7	14:30	02:30
NOAA-8	19:30	07:30
NOAA-9	14:20	02:20
NOAA-10	19:30	07:30
NOAA-11	13:40	01:40
NOAA-12	19:30	07:30
NOAA-13	13:40	01:40
NOAA-14	13:40	01:40
NOAA-15	19:30	07:30
NOAA-16	13:40	01:40

Günümüzde NOAA-12, NOAA-14, NOAA-15, NOAA-16 ve NOAA-17 uydularından görüntüler alınabilmektedir.

NOAA uydularında kullanılan gelişmiş çok yüksek çözünürlüklü radyometre (AVHRR, Advanced Very High Resolution Radiometer), elektromanyetik spektrumun görünür, yakın kızılötesi ve termal kızılötesi bölgesinde algılama yapan, modeline göre 4 veya 5 bantlı tarayıcıdan oluşan geniş bantlı bir algılama sistemidir. Bu algılama sistemi TIROS-N tarafından taşınmaktadır. TIROS-N uydu serilerinde bulunan AVHRR, başlangıçta sadece meteorolojik uygulamalar için tasarlanmasına karşın, birçok çevre uygulamalarında kullanılabileceği de kanıtlanmıştır. Bu uygulamalar arasında orman yangınlarının belirlenmesi, bitki analizleri, hava tahmin analizleri, iklim tahmin ve araştırmaları, deniz suyu yüzey sıcaklıklarının belirlenmesi, okyanus dinamiğinin araştırılması, volkanik aktivitelerin izlenmesi, arama ve kurtarma çalışmaları vb. sayılabilir.

Kutuptan kutba 2399 km'lik bir tarama genişliği ile tüm spektral bantlarda topladığı 10 bit'lik global verileri, daha sonra yer istasyonuna iletmek üzere uydu platformundaki kaydedicilere veya doğrudan yer istasyonlarına aktaran AVHRR'in spektral özellikleri Tablo 2.4'te özetlenmiştir.

**Tablo 2.4:** NOAA-AVHRR'in spektral ve uzaysal (mekansal) çözünürlükleri.

Bantlar	Spektral çözünürlük ( $\mu\text{m}$ )					Uydular
	1	2	3	4	5	
AVHRR/1	0.55 - 0.90	0.72 - 1.0	3.55 - 3.93	10.5 - 11.5	-	NOAA-6, NOAA-8, NOAA-10
Mekansal çözünürlük (m)	1100	1100	1100	1100	-	
AVHRR/2	0.58 - 0.68	0.72 - 1.0	3.55 - 3.93	10.3 - 11.3	11.5 - 12.5	NOAA-7, NOAA-9, NOAA-11, NOAA-12, NOAA-14,
Mekansal çözünürlük (m)	1100	1100	1100	1100	1100	

Dört (AVHRR/1) veya beş (AVHRR/2) bantlı pasif algılama sistemi olan AVHRR, bir görünür (0.55 - 0.90  $\mu\text{m}$ ), bir yakın kızılötesi (0.72 - 1.0  $\mu\text{m}$ ), bir orta kızılötesi (3.55 - 3.93  $\mu\text{m}$ ) ve bir veya iki uzak kızılötesi (10.5 - 11.5/12.5) bantdan oluşmaktadır. AVHRR/2 sisteminde bulunan ekstra bant, deniz ve kara yüzey sıcaklıklarını hesaplamak için atmosferik düzeltmenin iyileştirilmesi için kullanılmaktadır.

Ortalama anlık görüş açısı 1.4 miliradyan olan NOAA-AVHRR'in düzeyde sağlamış olduğu mekansal çözebilirlik yaklaşık olarak 1.1 km'dir.

NOAA-AVHRR verileri HRPT, LAC ve GAC olmak üzere üç farklı formattadır.

HRPT (High Resolution Picture Transmission) formatındaki veriler tam çözebilirlikli olarak doğrudan yer istasyonlarına gönderilir ve burada kaydedilir. 1.4 miliradyan'lık ortalama anlık görüş açısı ile 833 km yörünge yüksekliğinde düzeyde 1.1km'lik bir mekansal çözebilirlik sağlar.

LAC (Local Area Coverage) formatındaki veriler yine tam çözebilirlikli olarak (1.1 km), doğrudan uydu platformu üzerinde bulunan kaydedicilerde toplanır. Kaydedilen tüm verilerin yer istasyonuna iletimi, uydunun yer istasyonu üzerinden geçişi sırasında gerçekleştirilir.

GAC (Global Area Coverage) formatındaki veriler günlük olarak tam çözebilirlikli görüntülerin ortalama alma yöntemi ile küçültülmesi sonucunda elde edilir. Mekansal çözebilirliği 4 km olan bu veriler daha sonra yer istasyonlarına iletmek üzere uydu üzerinde kaydedilirler.

Çok yüksek çözebilirlik gerektirmeyen geniş alanların haritalanmasında kaba çözebilirliğin sunduğu düşük veri hacmi avantajıyla NOAA-AVHRR görüntülerini aşağıda verilen birçok uygulamada kullanmak olasıdır:

- Erken kuraklık uyarıları
- Bölgesel ve global ölçekte bitki örtüsünün izlenmesi
- Kar ve buzulların haritalanması
- Deniz ve kara yüzey sıcaklıklarının haritalanması
- Hidroloji
- Jeoloji
- Orman yangınlarının tesbiti
- Yangın riski taşıyan alanların belirlenmesi
- Volkanik uygulamalar
- Kıtasal ölçekte haritalama (<1:3.000.000)
- Toprak nemlilik analizleri
- Kum fırtınalarının izlenmesi.

Tablo 2.5'de bantlar ve dalga boyları bazında temel uygulama alanları sıralanmıştır.

**Tablo 2.5:** NOAA-AVHRR bantları ve temel uygulama alanları.

<b>Bant</b>	<b>Dalga boyu (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Temel uygulama alanı</b>
1	0.58 – 0.68	Gündüz bulut/yüzey haritalama
2	0.725 – 1.10	Yüzey suları, buz ve kar erimesinin izlenmesi
3A	1.58 – 1.64	Kar / buz ayırımı
3B	3.55 – 3.93	Deniz su yüzeyi sıcaklığı, gece bulut haritalama
4	10.30 – 11.30	Deniz su yüzeyi sıcaklığı, gündüz ve gece bulut haritalama
5	11.50 – 12.50	Deniz su yüzeyi sıcaklığı, gündüz ve gece bulut haritalama

NOAA-AVHRR'in 1. ve 2. bantları, bulutları, kara-su sınırlarını, kar ve buzla kaplı alanları ve kar/buz erimesini ve NDVI (normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi) ile yeryüzündeki bitki örtüsünü gözlemek, 3., 4. ve 5. bantları ise bulutların ve deniz yüzeyinin sıcaklığını ölçmek ve gece zamanı bulutlarını haritalamak için tasarlanmıştır.

### **2.1.3 LANDSAT verileri**

Uzaktan algılamanın ilk uydusu LANDSAT, Temmuz 1972'de NASA tarafından yörüngesine yerleştirilmiş, daha sonraki yıllarda da LANDSAT serisinden diğer altı uydu yörüngeye yerleştirilmiştir. Uydulardan ilk dördünün faaliyeti sona ermiş olup halen LANDSAT-5 ve LANDSAT-7 faaliyettedir.

Güneşle eş zamanlı yörüngeye oturtulan bu uydular, dünyanın kendi ekseninde döndüğü hızla dünya etrafında döndüğü için veriler aynı bölgeden günün hep aynı yerel zamanında toplanmaktadır. LANDSAT uydularının sahip olduğu algılama sistemleri ve özellikleri ile birlikte servis süreleri Tablo 2.6'da verilmiştir.



**Tablo 2.6:** LANDSAT uyduları ve algılama sistemleri.

Uydu	Servis aralığı	Algılama sistemi	Mekansal Çözünürlük (m)	Yükseklik (km)	Periyot (Gün)
LANDSAT-1	23.07.1972/ 06.01.1978	RBV MSS	80 80	917	18
LANDSAT-2	22.01.1975/ 25.02.1982	RBV MSS	80 80	917	18
LANDSAT-3	05.03.1978/ 31.03.1983	RBV MSS	30 80	917	18
LANDSAT-4	16.07.1982	MSS TM	80 30	705	16
LANDSAT-5	01.03.1984	MSS TM	80 30	705	16
LANDSAT-6	05.10.1993/ 05.10.1993	ETM	15 (pan) 30 (ms)	705	16
LANDSAT-7	01.04.1999	ETM	15 (pan) 30 (ms)	705	16

LANDSAT-1 ve 2'deki RBV (Return Beam Vidicon) sistemi, MSS (Multispectral Scanning System) gibi, 185 km x 185 km' lik bir alanı görüntülemekteydi. Kırmızı, yeşil ve fotoğrafik kızılötesi dalga boylarında üç ayrı bantta kayıt yapan, televizyona benzer fotoğraf makinesinden oluşan bu algılama sisteminde film kullanılmamaktaydı. LANDSAT-1'deki RBV sisteminden 20 Temmuz 1972 ile 5 Ağustos 1972 tarihleri arasında 1690 görüntü alındıktan sonra, faaliyetine son verilmiştir. LANDSAT-2'deki RBV sistemi ise, daha çok mühendislik değerlendirme amacıyla işletilmiştir.

MSS sisteminde ise, yeryüzüne 45° eğimli ve her iki tarafa da dönebilen bir aynayla yeryüzü, doğudan batıya doğru 185 km'lik genişlikle kuzeyden güneye doğru uzanan bir şerit halinde taranmaktadır. Tarayıcı ayna her bir hareketinde araziden yansıyan ışınım sinyallerini birbirine paralel 6 çizgi şeklinde almakta ve bu sinyalleri bir çift sabit aynaya göndererek detektörlerin (fiber optiklerin) üzerine gelmesini sağlamaktadır. Her spektral bant için 6 adet olmak üzere toplam 24 detektör bulunmaktadır. Aynanın tek taraması sonucu araziden 6 çizgi olarak alınan sinyaller, ayrı ayrı her bir spektral bandın 6 detektörüne gelmektedir. Ayna ikinci hareketine geçtiğinde, uydu da 474 km uzunluğunda bir yol almış olmaktadır. İkinci tarama, birincinin bittiği yerden başlamakta, böylece algılama kesiksiz olarak devam etmektedir. Algılanan ışınım detektörler tarafından, ya uyduda bulunan manyetik bant üzerine kaydedilmek, ya da yer istasyonlarına gönderilmek üzere elektrik

sinyallerine çevrilmektedir (Sesören, 1999). MSS ile 1990'ların başlarına kadar tüm dünyaya ait görüntüler kaydedilmiştir.

Çok bantlı tarama sisteminin geliştirilmiş bir versiyonu olan TM (Thematic Mapper) LANDSAT 4 ve 5 uydularına yerleştirilmiştir. 1980'li yılların başından günümüze kadar veri toplayan bu algılama sistemi, sağa ve sola, iki yönde, hem tarama hem de algılama yapabilmektedir. Bu özelliğiyle, LANDSAT serisinin önceki uydularında kullanılmış olan MSS'e göre iki kat zaman kazanılmış olur ki bu da radyometrik doğrulama açısından önemlidir.

TM sisteminde termal bant için 4 detektör, diğer bantlar için de 16 detektör kullanılmaktadır. MSS algılama sistemi için 79 m olan mekansal çözebilirliği, TM algılama sisteminde 30 m'ye indirilmiş, MSS' de dört olan bant sayısı da TM'de yediye çıkartılmış olup, spektral aralıklar Tablo 2.7'de verilmiştir.

**Tablo 2.7:** LANDSAT-TM'in mekansal ve spektral çözebilirliği.

Bantlar	Spektral çözebilirlik ( $\mu\text{m}$ )	Mekansal çözebilirlik (m)
Bant1	0.45 – 0.52	30
Bant2	0.52 – 0.60	30
Bant3	0.63 – 0.69	30
Bant4	0.76 – 0.90	30
Bant5	1.55 – 1.75	30
Bant6	10.40 – 12.50	120
Bant7	2.08 – 2.35	30

LANDSAT-7, ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) adı verilen bir algılama sistemini taşımaktadır. Yaklaşık 705 km yükseklikteki bir yörüngeye oturtulmuş olan LANDSAT-7 uydusundaki algılama sisteminin termal kızılötesi bant çözebilirliği, 120m'den 60m'ye çekilerek iyileştirme yapılmıştır. ETM+, 28.5 m çözebilirlikteki üç adet görünür (mavi, kırmızı, yeşil), üç adet yakın ve orta kızılötesi bant ve 15m çözebilirlikli siyah/beyaz (pankromatik) bir banda sahiptir. Görüntülerin bir çerçevesi 185 x 185 km'lik bir alanı örtmektedir.

Farklı nitelikteki yeryüzü kaynaklarının araştırılmasında LANDSAT uydularındaki algılama sistemleri önemli bilgiler sağlamaktadır. Örneğin TM'in birinci bandı su bulanıklılığı ile ilgili haritaların üretilmesinde ve toprak-bitki örtüsü ile farklı orman türlerinin tespitinde kullanılabilir. İkinci bant sağlıklı bitki örtüsündeki yeşil

yansıtımının ortaya çıkarılması, üçüncü bant ise bitkideki klorofil yutmasının belirlenmesi için tasarlanmıştır. TM'in dördüncü bandı su kara ayrımı ve sağlıklı bitki örtüsünün belirlenmesinde, beş ve yedinci bantlar bitki örtüsü, toprak nemliliği, kaya ve mineral türlerinin ayırt edilmesinde kullanılabilir. Termal kızılötesi bant olan altıncı bant termal haritalama için tasarlanmıştır.

#### 2.1.4 SPOT verileri

Optik görüntü alan SPOT (Systeme Probatoire d'Observation de la Terre) uydusu, Fransa Uzay Ajansı (Centre National d'Etudes Spatiales, CNES) tarafından işletilen ticari amaçlı bir görüntüleme uydusudur. Yer istasyonu üzerinden geçiş sırasında gönderdiği veriler optik olduğundan eş zamanlı olarak izleme olanağı vermektedir. SPOT uydularında, iki yüksek çözünürlüklü görünür (High Resolution Visible, HRV) algılayıcısı, iki yüksek hacimli bant kaydedicisi ve bir telemetre vericisi vardır. Enine tarama yapan dizi detektöründen oluşan HRV özel olarak SPOT için tasarlanmış çok spektrumlu bir radyometredir. Elektromanyetik spektrumun görünür ve yakın kızılötesi kısımlarında yüksek çözünürlükte görüntüleme yapar. İlk üç SPOT uydusunda farklı spektral modlarda görüntüleme düzeninde çalışan iki HRV bulunmaktaydı. İki HRV birbirinden bağımsız olarak çok spektrumlu ve/veya pankromatik modda çalışırlar.  $\pm 27^\circ$  içinde kalan farklı açılardan bakmaları stereoskopik görüntü vermelerini sağlar. SPOT sistemi  $87^\circ$  kuzey ve  $87^\circ$  güney enlemleri arasında kalan bölgeyi kapsar. Her bir görüntü  $60 \times 60$  km'lik bir alanı örter.

HRV'yi taşıyan SPOT uyduları kutupsala yakın, yarı-dairesel, güneşle senkronize bir yörünge takip eder. Yükseklikleri 832 km olup (Fransa'ya karşılık gelen  $45^\circ$  kuzey enleminde)  $98.7^\circ$ lik eğime sahiptir. Ortalama dönme periyodu 101.4 dakikadır. SPOT uyduları aynı yerden her 26 günde bir 369 tur sonra geçer. Ekvatordan kuzeyden güneye doğru yerel güneş saati ile 10.30'da geçer. Uyduların referans izleri 108.6 km aralıktadır. Her HRV  $60$  km'lik bir alanı görür. Birlikte çalıştıklarında ise  $3$  km'lik bir çakışma ile  $117$  km'yi tarar.

SPOT verileri doğrudan veya uyduda kaydedilerek yer istasyonlarına iletilir. 16 yer istasyonu mevcuttur. Doğrudan iletilen veriler gündüz geçişleri sırasında gerçek zamanda alınır. İTÜ-UHUZAM'da (Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama Merkezi) bulunan yer istasyonu SPOT verilerini alan 16 istasyondan biridir.

HRV tarafından toplanan veriler 60x81km'lik görüntülere bölünür. SPOT uydusunun geçişi ve veri toplaması yaklaşık 10 dakika sürer. Sabit gözleme düzeninde her biri 75 resim içeren iki veri seti elde edilir. Resimlerin boyutları düşey taramada 60x60km, dik taramada ise 60 x 81km'dir.

Tablo 2.8'de SPOT uydularına ait algılama sistemlerinin spektral ve mekansal çözünürlükleri hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

**Tablo 2.8:** SPOT algılayıcılarının spektral ve mekansal çözünürlükleri.

Algılayıcı	Elektromanyetik spektrum	Mekansal Çözünürlük (m)	Spektral Çözünürlük (µm)
SPOT5	Pankromatik	2.5 veya 5	0.48 – 0.71
	B1 : Yeşil	10	0.50 – 0.59
	B2 : Kırmızı	10	0.61 – 0.68
	B3 : Yakın kızılötesi	10	0.78 – 0.89
	B4 : Kısa dalga kızılötesi	20	1.58 – 1.75
SPOT4	Monospektral	10	0.61 – 0.68
	B1 : Yeşil	20	0.50 – 0.59
	B2 : Kırmızı	20	0.61 – 0.68
	B3 : Yakın kızılötesi	20	0.78 – 0.89
	B4 : Kısa dalga kızılötesi	20	1.58 – 1.75
SPOT1	Pankromatik	10	0.50 – 0.73
SPOT2	B1 : Yeşil	20	0.50 – 0.59
SPOT3	B2 : Kırmızı	20	0.61 – 0.68
	B3 : Yakın kızılötesi	20	0.78 – 0.89

SPOT ham verileri için kullanıcıdan istek gelmedikçe herhangi bir ön işleme yapılmaz. Standart ön işleme geometrik ve radyometrik düzeltmeleri içerir. Kullanıcıya beş standart ön işleme düzeyi sunulur:

- Düzey 1A- Radyometrik düzeltmeler
- Düzey 1B- Radyometrik ve geometrik düzeltmeler
- Düzey 2A- Yer kontrolü olarak uydu verilerinin kullanıldığı düzeltilmiş SPOT çıktısı
- Düzey 2B- Yer kontrol noktalarını kullanıcının sağladığı düzeltilmiş SPOT çıktısı
- Düzey 3A- ABD için yer kontrolünde haritaların kullanıldığı düzeltilmiş SPOT çıktısı

### 2.1.5 IRS verileri

IRS (Indian Remote Sensing System) olarak adlandırılan Hindistan'ın ilk uzaktan algılama uydusu Ağustos 1991 tarihinde uzaya fırlatılmıştır. Aynı aileden olan IRS-1C Aralık 1995 tarihinde, IRS-1D ise Eylül 1997'de uzaydaki yörüngesine yerleştirilmiştir. IRS-1C/1D'nin yeteneklerinin zenginleştirilmesi fikrinden yola çıkarak yeni geliştirilen IRS-P6 (Resourcesat) uydusu 2004, IRS-P5 uydusu ise, 2005 yılından itibaren görüntü almaya başlamıştır. Her bir IRS uydusunda bulunan algılayıcılar ile ilgili teknik özellikler Tablo 2.9'da verilmiştir.

**Tablo 2.9: IRS algılayıcılarına ait teknik özellikler (Euromap, 2005).**

Uydu	Algılayıcı	Spektral Çözünürlük (µm)	Radyometrik Çözünürlük	Mekansal Çözünürlük (m)	Tarama genişliği (km)
IRS-1C	LISS-III	0.520-0.590	7 bit	23	142
		0.620-0.680		23	
		0.770-0.860		23	
1.550-1.700		70			
	PAN	0.500-0.750	6 bit	5.8	70
	WiFS	0.620-0.680 0.770-0.860	7 bit	188 188	810
IRS-1D	LISS-III	0.520-0.590	7 bit	23	127-141
		0.620-0.680		23	
		0.770-0.860		23	
1.550-1.700		70			
	PAN	0.500-0.750	6 bit	5.8	63-70
	WiFS	0.620-0.680 0.770-0.860	7 bit	188 188	728-812
IRS-P6	LISS-III	0.520-0.590	7 bit	23.5	140
		0.620-0.680		23.5	
		0.770-0.860		23.5	
		1.550-1.700		23.5	
	LISS-IV MONO	0.620-0.680	7 bit	5.8	70
	LISS-IV MX	0.520-0.590	7 bit	5.8	23.9
0.620-0.680 0.770-0.860		5.8 5.8			
	AwiFS	0.520-0.590 0.620-0.680 0.770-0.860 1.550-1.700	10 bit	56 – 70 56 – 70 56 – 70 56 – 70	740
IRS-P5	PAN Fore	0.500-0.850	10 bit	2.5	30
	PAN After	0.500-0.850	10 bit	2.5	27

Sistematik ve tekrarlı veri elde etmeye olanak sağlayan uydu yörüngesi, dairesel, güneşle senkronize ve kutupsala yakındır. İniş düğümünde yörünge yüksekliği 817 km, yörünge eğikliği ise 98.69° dir. Dünya etrafında bir turunu 101.35 dakikada tamamlayan IRS uydusunun günlük yörünge sayısı 14'tür. Tüm dünyayı 341 yörünge ile 24 günde tamamlar. İniş düğümünde ekvatorun ortalama geçiş zamanı 10:30 a.m ±5 dakikadır.

IRS uydu serilerinin devamı niteliğinde stereo görüntü alma yeteneğine sahip olan IRS-P5 (Cartosat-1) uydusu ise 5 Mayıs 2005 tarihinde yörüngesine fırlatılmıştır. Mekansal çözünürlüğü 2.5 m, spektral çözünürlüğü 0.500-0.850 µm olan iki adet pankromatik kameradan oluşan sistemde öndeki kamera, iz boyunca +26° lik, diğeri ise, -5° lik bir eğikliğe sahiptir.

## **2.2 Yersel veriler**

### **2.2.1 Dijital yükseklik verileri**

Herhangi bir CBS uygulamasının en önemli veri katmanlarından biri, uygulama alanının yükseklik modelinin bilgisayar ortamında oluşturulmasıdır. Bu modele, dijital yükselik modeli veya dijital arazi modeli denir. Dijital arazi modelleri, önceleri yer bilimleri uygulamalarında kullanılmış ve daha sonra da coğrafi bilgi sisteminin en temel bileşeni hâline gelmiştir. Coğrafi bilgi sistemlerinde, dijital arazi modeli, yüzey ve topoğrafya ile ilgili bütün analizleri görüntüleme ve modelleme olanağı sağlar. Elde edilen yükseklik bilgileri sayesinde, çalışma alanı hakkında yeni ve daha detaylı bilgilerin oluşturulması ve bu bilgiler sayesinde bölge hakkında iki boyutlu analiz ile mümkün olmayan çözümlerinin sağlanması mümkün olmaktadır (Aydöner ve diğ., 2001).

### **2.2.2 Jeolojik veriler**

Ortalama kalınlığı 35 km olan yer kabuğu (litosfer) farklı yaşta, değişik bileşim ve özellikte kayalardan oluşur. Yerin derinliklerinde de devam eden; kırınlanma, faylanma, aşınma vb. jeolojik olaylar sonucu yüzeye çıkan bu kayaların, bir bölgedeki dağılımlarının birbirleriyle olan ilişkileri de dikkate alınarak haritaya işlenmesiyle jeoloji haritaları elde edilir (Konak, 2005). Ülkemizde detaylı jeolojik haritaların yapımında Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından basılan ve gizlilik ibaresi bulunan 1/25.000 ölçekli topografik haritalar kullanılmaktadır. Bizzat arazi dolaşarak elde edilen jeolojik verilerin haritaya aktarılmasıyla gerçekleştirilen

1/25.000 ölçekli jeoloji haritalarının detayı, doğruluk derecesi ve kullanılabilirliği yapan kişinin bilgi düzeyine, ilgi alanına, amacına, performansına ve en önemlisi deneyimine bağlı olarak değişebilmektedir. Örneğin deneyimli bir jeoloji mühendisinin, iklim koşullarının çalışmaya elverişli olduğu Mayıs-Ekim ayları arasında sürdürülen bir çalışma sezonunda, istenilen standartlara uygun, ortalama iki adet 1/25.000 ölçekli detay jeoloji haritası üretebileceği ve bir haritanın yaklaşık 10 bin YTL'sına mal olabileceği dikkate alındığında, bu tür haritaların yapımında büyük bir emek ve özverinin yanı sıra zamana ve masrafa da gerek duyulmaktadır. Yapılan 1/25.000 ölçekli detaylı jeoloji haritalarından yararlanılarak değişik amaçlı küçük ölçekli haritalar üretilmektedir (Konak, 2005).

Jeoloji haritaları; bir bölgenin veya bir ülkenin jeolojik tarihinin bilinmesinde; metalik maden, endüstriyel hammadde, kömür, petrol, doğalgaz, jeotermal enerji, yeraltı suyu vb. yeraltı kaynaklarının aranmasında ve değerlendirilmesinde; tünel, baraj, otoyol, hava limanı vb. mühendislik hizmetlerinde; deprem, heyalan, sel vb. doğal afetler ile insan yaşamı için çok önemli olan çevre koşulları dikkate alınarak kentleşme amacıyla yer seçimlerinde ve hatta askeri uygulamalarda kullanılan çok önemli bir başvuru kaynağıdır.

### 2.2.3 Yer ivmesi verileri

Yer ivmesi, deprem anında zeminin ne kadar miktarda ve ne hızla sarsıldığının bir ölçüsüdür. Binaların üzerinde sabit durduğu zemin, deprem dalgaları tarafından harekete geçirilmektedir. Yapılar, zeminden ayrı bir kütleyle sahip olduğu için zeminin hareketine direnmekte ve sonuçta bina içinde yer hareketine ters yönde atalet (cisimlerin harekete karşı direnci) kuvvetleri oluşmaktadır. Bu durum sabit hızla giden bir aracın ani hızlanmasına veya yavaşlamasına benzer. Araç içindeki yolcular nasıl ani fren sonucu düşebiliyorlarsa, deprem sonucu ortaya çıkan atalet kuvvetleri tarafından da binalar aynı şekilde yıkılabilmektedir. Deprem sırasında yerin sarsılması aynı zamanda ivme olayıdır. Maksimum (Pik) ivme, deprem sırasında kaydedilen en büyük ivme değeridir. Deprem anında yer hareketinin ivmesini kaydeden aletlere ivme ölçer denir. Aletin ölçtüğü değer birimi  $\text{cm/sn}^2$  (gal) dir ve yerçekimi ivmesinin ( $g=981 \text{ cm/sn}^2$ ) kesri olarak kaydedilir (AİGM, 2004).

## **2.2.4 Toprak verileri**

Ülkemizdeki ilk toprak haritası yabancı uzman eşliğinde 1960 yılında hazırlanmış ve 1/800.000 ölçeğinde “Türkiye Umumi Toprak Haritası” olarak yayımlanmıştır. Bu haritanın ölçek ve içerik olarak yetersiz olduğu görüldükten sonra TOPRAKSU Genel Müdürlüğü tarafından 1966 yılında daha ayrıntılı toprak etütlerine başlanmış ve 1971 yılında tamamlanmıştır. Elde edilen bilgiler ışığında her il için rapor ve ekinde 1/100.000 ölçekli toprak haritaları bulunmaktadır. Çok değişik topraklar ve çeşitli kullanım amaçları olduğundan, toprak verilerinin yorumları farklı şekillerde olabilir. Bu yorumlamalardan biri olan arazi kullanma kabiliyeti sınıflaması daha çok tarımsal amaçla yapılan bir yorumlama şeklidir. Arazi kullanma kabiliyeti sınıflamasında gruplandırma, kabiliyet birimi, kabiliyet alt sınıfı ve kabiliyet sınıfı olmak üzere 3 ayrı kategoride yapılır (TOPRAKSU, 1991).

Kullanma kabiliyet sınıflamasında en geniş kategoriyi oluşturan arazi kullanım kabiliyet sınıfı (AKKS) toplam 8 adet olup toprak zarar ve sınırlandırmaları, I. sınıftan VIII. sınıfa doğru giderek artmaktadır. İlk dört sınıf arazi, iyi bir toprak idaresi altında yöreye adapte olmuş tarla bitkileri ile orman, mera ve çayır bitkilerini iyi bir şekilde yetiştirme yeteneğine sahiptir. V.,VI. ve VII. sınıflar buldukları yöreye uyum sağlamış yerli bitkilerin yetişmesine elverişlidir. Bunlardan V. ve VI. sınıflarda, toprak ve su koruma önlemleri alınması koşuluyla bazı özel bitkiler de yetiştirilebilir. VIII. sınıf arazi, çok etkin ve pahalı ıslah çalışmaları ile üretime alınabilirse de mevcut piyasa koşullarında, elde edilecek ürün yatırım harcamalarını karşılayamaz (TOPRAKSU, 1991).

## **2.3 Kullanılan yöntemler**

### **2.3.1 İnterferometrik SAR (InSAR) tekniği**

#### **2.3.1.1 Tarihçe**

Kompleks radar sinyallerinin faz bileşenlerinin InSAR tekniğine uygun olarak analiz edilmesi sonucunda yeryüzünün 3 boyutlu bilgilerine ulaşılabileceği konusu 1960'lı yıllara dayanmaktadır. InSAR tekniği ilk kez ABD tarafından Panama'nın Darien şehrinin 1/250.000 ölçeğindeki haritalarının üretilmesinde askeri amaçlı olarak kullanılmıştır (Gens, 1998). InSAR çalışması ile ilgili ilk yayında Venüs ve Ay yüzeyinin gözlemlenmesi ve elde edilen bilgilerin InSAR tekniği ile değerlendirilmesi ile ilgili bilgiler verilmiştir (Rogers ve Ingalls, 1969). Kolouch



(1983), InSAR tekniği kullanarak sonar verileri ile deniz tabanının 3 boyutlu modelini oluşturmuştur. **Graham (1974)**, InSAR tekniğinin topoğrafik haritalama çalışmaları için kullanılabileceğini göstermiştir. 1986 yılına kadar süren teorik çalışmalardan sonra Zebker ve Goldstein tarafından JPL’de (Jet Propulsion Laboratory) yapılan uygulamalı InSAR alışmaları yayınlanmıştır. **Zebker ve Goldstein (1986)**, iki adet SAR antenini birbirlerinden 11.1m uzaklıkta olacak şekilde uçağa monte etmiş, bir antenden gönderilen sinyaller aynı anda iki anten tarafından alınmıştır. Ancak, elde edilen görüntülere uçak eğikliği düzeltmesi getirilmediği için yeterli doğruluğa ulaşılamamıştır. Buna rağmen interferometre tekniği için hangi parametrelerin önemli olabileceği belirlenmiştir. Uydulara yerleştirilen SAR sistemleri ile görüntülerin elde edilmesi, InSAR tekniğinin daha yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır.

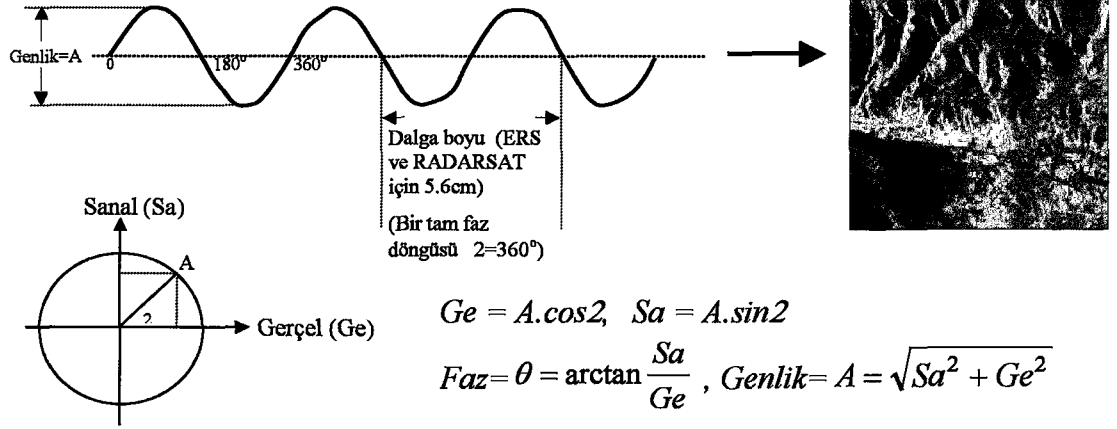
Buğun InSAR tekniği konusunda çalışan önemli araştırma grupları arasında, ABD’de JPL, Kanada’da RADARSAT uydusunun fırlatılmasından sonra CCRS (Canada Center for Remote Sensing), Almanya, İtalya, Fransa ve Hollanda’daki bazı araştırma grupları sayılabilir. Ayrıca ESA, ERS-1 ve ERS-2 SAR uydularından sonra ERS-1 FRINGE adında bir grup kurmuştur. Dünyada yeni gelişen InSAR tekniğinin ülkemizdeki kullanımı ise yok denecek kadar azdır.

### 2.3.1.2 InSAR geometrisi ve bazı terimler

InSAR tekniğinin teorisi ve uygulamaları hakkında detaylı bilgilere **Gens and Van Genderen (1996a, 1996b)**, **Massonnet and Feigl (1998)**, **Madsen ve diğ. (1993)**, **Bürgmann ve diğ. (2000)**, **Rosen ve diğ. (2000)**’den, ulaşılabilir. Aşağıda sadece InSAR tekniği ile yeryüzü deformasyonlarının ve topoğrafyasının haritalanması konusunda temel bazı bilgiler özetlenmiştir.

SAR algılama sistemleri, göndermiş olduğu elektromanyetik sinyalin hem geri yansıyan kısmının şiddetini, hem de sinyaldeki gecikme zamanlarını kaydeder. Sinüs dalgası şeklinde olan elektromanyetik sinyalin taşımış olduğu genlik ve faz bilgisi şekil 2.5’te gösterilmiştir. Genlik bilgisi kullanılarak gri değerlere sahip raster nitelikteki klasik radar görüntüsü oluşturulur. Açısal olarak ifade edilen ve tek başına bir anlam taşımayan faz açısı 360° ye ulaştığında bir tam faz oluşur.

Gerçel (Ge) ve Sanal (Sa) kısımları ile ifade edilen kompleks radar sinyalleri, hem genlik, hem de faz bilgisi veya genlik ve faz bilgisi ile verilen bir sinyalin kompleks olarak ifadeleri Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5: Elektromanyetik sinyal özellikleri.

InSAR, kompleks radar sinyallerini kullanarak yeryüzündeki cisimlere ait üç boyutlu bilgilerin çıkarılmasına olanak sağlayan bir tekniktir. Dolayısıyla, temin edilen ham SAR verilerinin kompleks olarak ifade edilmesi gerekir.

Aynı koşullar altında bir bölgenin aynı noktadan farklı zamanlarda alınan görüntülerinde eğer arazideki hedefte herhangi bir değişiklik yoksa faz farkı olmayacaktır. Pratikte, uydunun hedef bölgeyi hep aynı konumda görüntülemesi olanaksız olduğu için alınan görüntülerde büyük olasılıkla faz farkı oluşacaktır. Komşuluğundaki her nokta için farklı olan faz farkının bir noktadaki değeri  $0^\circ$  ile  $360^\circ$  arasında değişir. Aynı faz farkı değerine sahip bir bölgenin görselleştirilmesi sonucu örge (fringe) oluşur. Birçok örgenin ardışık olarak birlikte oluşturduğu görüntüye ise interferogram adı verilir. İnterferogramı oluşturan örgeler sadece arazi topoğrafyasının sonucu olarak oluşmayıp aynı zamanda yeryuvarı eğriliği nedeniyle de oluşabileceği için söz konusu etkinin giderilmesi için gerekli düzeltmeler yapılmalıdır. Faz değeri veya açısı  $0^\circ$  ile  $360^\circ$  arasında sabit aralıklarla sarılmış (wrapped phase) olarak verilir. Gerçekte, paketlenmiş olan bu bilgilerden uzaklık bilgisine geçmek için faz çözümünün yapılarak ( $0^\circ$ - $360^\circ$ )'ın tamsayı katlarının belirlenmesi ve bu değere faz farkı değerinin eklenmesi gerekir.

$0^\circ$ - $360^\circ$  arasında verilen her bir tam örge, interferogramda bulunan bütün örgeler için belli yükseklik aralığını temsil eder. Bu aralık yüksekliğin belirsizliğidir.  $\Delta z$  olarak gösterilen bu değer, uydu yüksekliği, sinyalin geliş açısı, dikey baz uzunluk değeri

( $B_{\perp}$ ) ve kullanılan dalga boyunun bir fonksiyonu olarak değişir. ERS uydusu için dikey baz uzunluk ( $B_{\perp}$ ) dışındaki değerler sabit olduğu için,

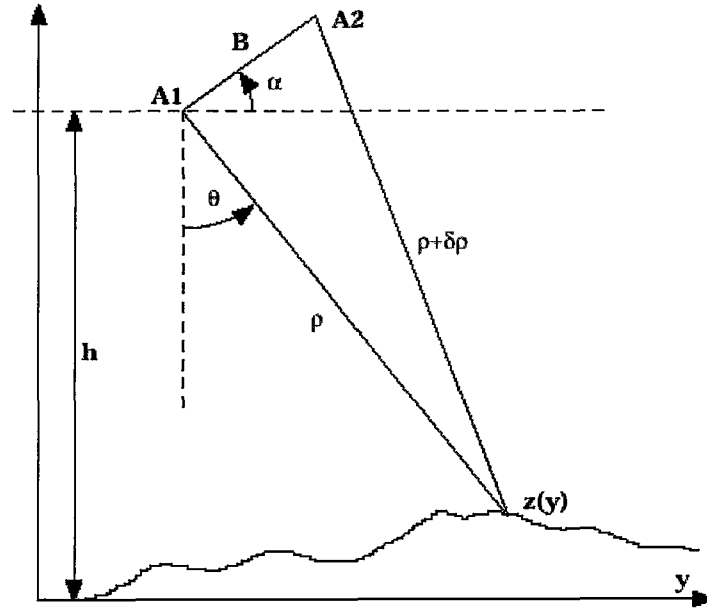
$$\Delta z(m) = \frac{9416}{B_{\perp}(m)} \quad (2.1)$$

formülü ile söz konusu belirsizlik değeri hesaplanabilir. Örneğin 10m'lik dikey baz uzunluk değeri ile üretilen interferogramdaki örgeler, 941m'deki değişimleri gösterir.

InSAR tekniği ile veri işleme sürecinin başarılı olmasında her iki görüntüdeki arazi özelliklerinin benzerlik derecesini ifade eden korelasyonun yüksek olması avantaj sağlar. Dünyanın birçok kesiminde bitki örtüsü, iklim ve diğer koşullar nedeni ile oluşan zamansal değişimler söz konusu korelasyonun düşmesine yol açar. Öte yandan çöl veya kurak bölgelerde zamansal değişimler çok fazla olmadığı için korelasyon oldukça iyidir. InSAR veri işleme sürecinde oluşan koherans görüntüsü iki görüntü arasındaki korelasyonu 0-1 arasında değişen değerler ile ifade eder.

Verilerin elde edilmesine göre, uydunun yerdeki iz yönüne dik (across-track), uydunun yerdeki izi boyunca (along-track) ve tekrarlı geçiş (repeat-pass) interferometre olmak üzere 3 farklı InSAR yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar arasında iz boyunca ve iz yönüne dik interferometre sadece uçaklara uygulanabilen yöntemlerdir.

Aynı bölgenin iki farklı noktadan alınmış SAR verilerinin faz bilgilerini kullanarak o bölgedeki yükseklik modeli veya meydana gelen deformasyonlar Şekil 2.6'da verilen geometriden yararlanılarak ölçülebilir.



**Şekil 2.6:** İnterferometrik SAR (InSAR) geometrisi.

Kosinüs teoreminden yola çıkarak,

$$(\rho + \delta\rho)^2 = \rho^2 + B^2 - 2\rho B \cos(\theta + 90 - \alpha) \quad (2.2)$$

$$(\rho + \delta\rho)^2 = \rho^2 + B^2 + 2\rho B \sin(\alpha - \theta) \quad (2.3)$$

yazılabilir. Buradan,

$$\sin(\alpha - \theta) = \frac{[(\rho + \delta\rho)^2 - \rho^2 - B^2]}{2\rho B} \quad (2.4)$$

elde edilir.

A2 noktasında üretilen kompleks SAR verisinin A1 noktasındaki kompleks SAR verisine çakıştırılması ve her iki kompleks verinin çarpımı sonucu elde edilen  $\phi = \phi_1 - \phi_2$  faz farkı görüntüsü (interferogram), bağıl deformasyonun bir ölçüsüdür. Dolayısıyla, iki görüntüdeki faz farkı  $\phi$  kullanılarak,

$$\delta\rho = \frac{\lambda\phi}{4\pi} \quad (2.5)$$

şeklinde hesaplanır.



**Tablo 2.10:** ERS-1 için uygulama bazında önerilen baz uzunlukları.

Uygulamalar	Baz uzunluğu
SAR interferometre	$< B_{\perp} < 600$ m
Dijital arazi modeli	$150 \text{ m} < B_{\perp} < 300$ m
Yüzey değişimlerinin belirlenmesi	$30 \text{ m} < B_{\perp} < 70$ m
Yüzeydeki cisim hareketleri	$< B_{\perp} < 5$ m

SAR verilerinde baz uzunluk değerlerinin artması korelasyonun azalmasına neden olur. Baz uzunluğu kritik değerine ulaştığında veri çifti arasındaki korelasyon tamamen kaybolur. Uygulamalar açısından önem arz eden kritik baz uzunluk değeri aşağıdaki formül ile hesaplanabilir (Gens, 1998).

$$B_c = \frac{\lambda r}{2R_y \cos^2 \theta} \quad (2.7)$$

Burada,

- $B_c$  : Kritik baz uzunluğu,  
 $\lambda$  : Dalga boyu,  
 $r$  : Uzaklık  
 $R_y$  : Uçuş doğrultusuna dik olan çözebilirlik,  
 $\theta$  : Bakış açısıdır.

Şekil 2.6'da verilen geometriden yola çıkarak InSAR tekniği ile dijital yükseklik modeli oluşturulabilir. Ancak, özellikle deprem sonrası oluşan yer kabuğu hareketlerinin saptanmasında diferansiyel interferometri adı verilen InSAR tekniğinden yararlanılır. Burada deprem öncesi ve deprem sonrası topoğrafyayı temsil eden iki farklı interferogram üretilir. Üretilen bu interferogramların birbirlerinden çıkarılması sonucu elde edilen fark interferogram görüntüsü, deprem sonrası oluşan deformasyona karşılık gelir. Diferansiyel interferometri için en fazla kullanılan iki yöntem aşağıda verilmiştir:

1. *Üç geçiş veya çifte fark yöntemi ile diferansiyel interferometri:* Burada farklı zamanlarda alınmış üç SAR görüntüsü kullanılır. Birinci ve ikinci görüntü kullanılarak üretilen interferogram görüntüsünün, ikinci ve üçüncü görüntü kullanılarak üretilen interferogram görüntüsünden çıkarılmasıyla

gerçekleştirilir. Elde edilen sonuç görüntüye çifte fark interferogramı (double-difference interferogram) adı verilir.

2. *İki geçiş ve DEM yöntemi ile diferansiyel interferometri:* Burada ise farklı zamanlarda alınmış sadece iki SAR görüntüsü kullanılır ve tek bir interferogram üretilir. Farkın alınacağı ikinci interferogram ise, DEM ve görüntünün alındığı anda hassas olarak hesaplanmış uydu konum bilgisi kullanılarak yapay olarak üretilir. Üretilen bu interferogramdan, SAR görüntülerinden üretilen interferogramın çıkarılması ile elde edilen interferogram görüntüsünden deformasyon bilgisine ulaşılabilir.

Diferansiyel interferometri sonucunda elde edilen interferogram görüntüsündeki örgeler, kullanılan dalga boyuna bağlı olarak yeryüzündeki deformasyon miktarını belirtir. Burada sinyalin uydudan-noktaya ve noktadan-uyduya olan iki yönlü hareketinden dolayı, görünen deformasyon, gerçekte oluşan deformasyonun iki katıdır. Bu nedenle dalga boyunun biriminde olan deformasyonun ikiye bölünmesi gerekir. Yani ERS verisi için tek bir öрге,  $56/2=28\text{mm}$ 'lik bir deformasyona karşılık gelir.

### **2.3.1.3 InSAR verilerinin işlenmesi**

InSAR verilerinin işlenmesi sürecinde Şekil 2.8'de belirtilen adımlar söz konusudur. Toplanan verilerin kalitesi yanında, her bir adımın sonuç ürün üzerindeki etkisi farklıdır. InSAR için kullanılan SAR verilerinin uygun niteliklerde kompleks bir yapıda olması gerekir. Yani veriler hem genlik (parlaklık), hem de faz bilgilerine sahip olmalıdır. Diğer bir deyişle, gerçel ve sanal kısımları ile verilen kompleks veri, uzunluğu genlik, yönü ise faz bilgisiyle verilen bir vektördür.





sonra, slave görüntünün master görüntüye göre en az 1/8 piksel doğrulukla düzeltildiği ince çakıştırma işlemi yapılır. Farklı çakıştırma teknikleri ile ilgili detaylı çalışmalara **Samson (1996)**'dan ulaşılabilir.

Çakıştırma işleminden sonra slave görüntünün kompleks SAR değerleri ile master görüntünün kompleks eşleniğinin çarpılması suretiyle interferogram oluşturulur. Çarpma işlemi sonunda her bir piksel için ortalama genlik değeri ve faz farkı bilgileri elde edilir. Bir tam öрге  $-\pi$  ile  $+\pi$  aralığına karşılık gelir. Kompleks radar sinyallerinin faz farkı bilgileri ile, eğik uzaklıklar, sinyaller arasında koherans (uyum) olması durumunda kolaylıkla hesaplanabilir. Koherans, iki farklı görüntüde aynı pikselin faz bilgileri arasındaki korelasyonun 0-1 aralığında değişen sayılarla ifade edilmesidir. Yükseklik ölçümleri ve faz farkı doğruluğunu önemli oranda etkilediği için koherans derecesi bir kalite parametresi olarak kullanılabilir.

InSAR verilerinin seçiminde ve ölçümlerin doğruluğunda etkili olan faktörler arasında en önemlileri, atmosfer, yörünge bilgileri, zamansal değişimler, baz uyuşumsuzlukları ve topoğrafik yapı sayılabilir (**Çakır, 2003**).

*Atmosfer:* InSAR için kullanılan görüntülerin elde edildiği anda, atmosferdeki su buharı, sıcaklık, basınç aynı olmadığı için radar sinyallerinde göreceli olarak bir gecikme oluşacaktır. Bu gecikme faz değerlerinde bir kayıklığa neden olacağı için, üretilen interferogram, atmosferik örgeyi veya atmosferik etkiyi içerisinde bulundurur. Atmosferin çok değişken (heterojen) yapıda olması nedeniyle deformasyon sinyalinden bu etkiyi çıkarmak zordur. Eğer atmosfer homojen bir yapıda ise bu etkinin azaltılması veya çıkarılması mümkündür. Bu nedenle SAR verileri satın alınırken meteorolojik verilerin kontrol edilmesinde fayda vardır.

*Yörünge bilgileri:* Uydunun iki ayrı veri alım noktası arasındaki uzaklık baz uzunluğu olarak bilinir. Faz farkı değeri eğer paralel baz uzunluk değeri biliniyorsa hesaplanabilir. Bu nedenle yörünge bilgilerinin hassas bir şekilde hesaplanması gerekir. Bu amaçla kullanılan başlık (header) dosyasında uydu konum ve hız bilgileri olmasına rağmen, daha hassas bir yörünge hesabı için ek gözlemlere gereksinim vardır. Bu amaçla ESA veya Delft Enstitüsü veri arşivindeki hassas uydu yörünge bilgileri kullanılabilir. Eğer uydu yörüngesi hassas bir şekilde hesaplanmazsa, görüntüler arasındaki interferometrik etki kaybolur.

*Zamansal değişimler:* Zamansal değişimler nedeni ile hedef bölgenin yansıtım özellikleri de değişecektir. Bu ise görüntülerdeki faz değerleri arasında uyumsuzluk yaratarak örgelerin kaybolmasına, dolayısıyla interferogramın kalitesinin düşmesine neden olur. Söz konusu uyumsuzluk, erozyon, bitki örtüsü değişikliği ve su yüzey özelliğine göre günlük veya yıllık zaman periyodunda oluşabilir. Özellikle kayalık ve kurak bölgelerde korelasyon uzun yıllar boyunca korunabilir.

*Baz uyumsuzluğu:* Kritik baz uzunluk değerinin aşılması durumunda InSAR tekniği kullanılamaz. Çünkü uzunluğun artması korelasyonun düşmesine veya tamamen kaybolmasına neden olur.

İnterferogram oluşturulurken piksel büyüklüğünün yeniden örneklenmesi sonucu veri boyutlarında azalma olur. Örneğin menzil çözebilirliği 20m, ve azimut çözebilirliği 4m olan ERS görüntülerinde azimut çözebilirliği 5 kat azaltılabilir. Çoklu bakış (multilook) görüntü üretme yöntemi ile mekansal çözebilirlik azaltılarak hem veri hacmi, hem de görüntüdeki benekli yapılar ve gürültüler azaltılabilir.

Bir interferogram görüntüsü, doğrudan arazi topoğrafyasına bağlı olarak faz bilgisini içerir. Fakat bu faz bilgisi  $2\pi$  modülü ile verildiğinden uydu ile yer noktası arasındaki uzaklığın doğru olarak belirlenmesi için  $2\pi$ 'nin tamsayı katlarının hesaplanması, yani belirsizliğin çözülmesi gerekir. Belirsizliğin çözülmesi için yapılan işleme faz çözümü (phase unwrapping) denir. İnterferometre tekniğinin en önemli adımlarından biri olan faz çözümü için çok sayıda yöntem mevcuttur (Goldstein ve diğ., 1988; Lin ve diğ., 1992; Constantini, 1996; Ahuja ve diğ., 1993).

#### **2.3.1.4 InSAR yazılım paketleri**

InSAR verilerinin işlenmesine yönelik olarak geliştirilen yazılım paketleri sınırlı sayıdadır. Tablo 2.11'de verilen bu yazılımların çoğu, konu ile ilgili araştırma enstitüleri tarafından geliştirilmiş olup çok azı ticari amaçlıdır. Araştırma enstitülerinin kendi iç kullanımına yönelik olarak geliştirdiği bu yazılımlar, bağımsız modüllerden oluşur (Gens, 1998). Kullanıcı dostu kavramının (kullanıcı arayüzü, standartlar, kullanma klavuzu, dökümantasyon vb.) en az öneme sahip olduğu bu yazılımlar doğrudan ve araştırma amaçlı kullanılacağına dair yapılacak sözleşmeler sonucunda ücretsiz sağlanabilir.

**Tablo 2.11:** InSAR veri işlemede kullanılan yazılımlar (Gens, 1998'den değiştirilmiş).

Yazılımlar ve hesapladığı ürünler	ASF- ROIPAC	Atlantis - Earth View *	CNES-DIAPOSON	CORISTA	DLR	Gamma *	INS	ISTAR	IRECE-CNR	JPL	Joanneum/ERDAS *	JRC	PCI *	POLIMI Quicklook	POLIMI InSAR	RSI	UBC	Standford Üniversitesi	DELFT Üniversitesi-DORIS
İnterferogram	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Koherans görüntüsü	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Çözülmüş faz görüntüsü	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x
Dijital yükseklik modeli	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x		x
Diferansiyel interferogram		x	x		x	x	x	x	x	x		x				x			
Simüle edilmiş interferogram	x	x	x	x	x	x	x	x	x							x			x
Yer referanslandırma	x	x			x	x	x		x	x			x			x			

Ticari yazılım paketleri arasında, IFSAR modülünün Stuttgart the Institute of Navigation'da geliştirildiği PCI, Zurich RSL ve Pasadena JPL bilim adamlarının ortaklaşa geliştirdiği Gamma, Atlantis Scientific Inc.'in daha sonra PCI firması ile birleşerek ortaya çıkardığı EarthView Insar sayılabilir. Graz'da, Joanneum tarafından geliştirilen ve Erdas Imagine yazılımına entegre edilen IFSAR modülü de ticari yazılım paketleri arasındadır.

### 2.3.1.5 InSAR uygulamaları

Başlangıçta topoğrafik haritalama faaliyetleri için geliştirilen InSAR daha sonra aşağıda belirtilen konularda kullanılmaya başlanmıştır.

- Dijital yükseklik modeli
- Ormancılık
- Kıyı alanları
- Değişim saptama
- Heyelanlar
- Volkanik hasarlar
- Sismik aktiviteler
- Hidroloji

\* Ticari amaçlı

- Kutup araştırmaları
- Okyanus akıntıları

Günümüzde en fazla deformasyonların modellenmesinde, topoğrafik uygulamalarda ve dijital yükseklik modeli uygulamalarında kullanılmaktadır. Özellikle 1990 yılında, Kaliforniya’da meydana gelen depremden sonra başlayan sismik aktivitelerin InSAR tekniği ile izlenmesi konusunda çok sayıda yayın bulunmaktadır (Gens, 1998).

### 2.3.2 NOAA-AVHRR verileri ile deniz yüzeyi sıcaklığının hesaplanması

Deniz yüzeyi sıcaklığının (SST), uydu uzaktan algılama teknikleri ile belirlenmesi 1970’li yıllardan beri devam etmektedir. NOAA-AVHRR sisteminin uygulandığı alanlardan biri SST’nin haritalanmasıdır. Kolay hesaplanabilecek çevresel değişkenlerden birisi olan SST, başlangıçta AVHRR-1’in 10 µm spektral bölgesindeki tek termal kızılötesi bant kullanılarak ölçülmüştü. Daha sonra, 11 µm spektral bölgesine ait ikinci bir bant eklenen AVHRR-2’nin, iki termal kızılötesi bandına ait veriler kullanılarak atmosfer ve su buharından ötürü oluşan atmosferik zayıflamanın düzeltilmeceğinin farkına varılmıştır. Böylece AVHRR’ın 4. ve 5. bantları kullanılarak çok bantlı SST (MCSST) ortaya çıkmıştır (BM, 2004).

AVHRR’ın kızılötesi bantlarından SST hesaplanırken güneşin zenit açısı dikkate alınarak gündüz ve gece olmak üzere iki farklı algoritma kullanılır. Eğer güneşin zenit açısı  $\leq 75^\circ$  ise gündüz, diğer durumlarda ise gece algoritmaları kullanılır (BM, 2004).

Gündüz algoritması kullanılarak SST’nin hesaplanması için izlenen adımlar aşağıda verilmiştir:

- Uydu zenit açısının  $< 53^\circ$  olup olmadığı kontrol edilir.
- Kara ve deniz ayrımı yapılır.
- Güneş zenit açısı kontrol edilir eğer  $< 1^\circ$  ise işlem yapılmaz.
- Kızılötesi testinde 4. bant sıcaklığı  $< -5^\circ\text{C}$  ise SST hesaplanmaz.
- Görünür bölge bulut eşik testi: Eğer düzeltilmiş albedo değerleri (albedo değerinin güneş zenit açısının kosinüsüne oranı)  $> \%10$  ise SST hesaplanmaz.
- Görünür bölge bitki eşik testi: Bitki indisi (Düzeltilmiş 2. bant albedo değerinin, düzeltilmiş 1. bant albedo değerine oranı)  $> 0.75$  ise SST hesaplanmaz.

- Görünür tekdüzelik testi: 2. bantın düzeltilmiş yansıma değerlerinde 3x3 büyüklüğünde bir pencerede piksel değeri, orta değer %0.32'si içinde kalmalıdır.
- Gündüz kızılötesi bulut testi: Eğer (5. bant sıcaklığı x 1.0439 - 11.49) ifadesinden bulunan sıcaklık değeri ile, 4. bantdaki sıcaklık değeri arasında >1.0° C bir fark varsa SST hesaplanmaz.

Bazı NOAA uyduları için kullanılan MCSST gündüz formülleri aşağıda verilmiştir.

#### NOAA-12

$$SST = (1.008574.T_4) + 2.452585.(T_4 - T_5) + 0.823990.(T_4 - T_5).(\sec(ZA) - 1) - 275.717 + 273.16 \quad (2.8)$$

#### NOAA-14

$$SST = (1.0017342T_4) + 2.139588.(T_4 - T_5) + 0.779706.(T_4 - T_5).(\sec(ZA) - 1) - 278.43 + 273.16 \quad (2.9)$$

#### NOAA-15

$$SST = (0.959456.T_4) + 2.663580.(T_4 - T_5) + 0.570613.(T_4 - T_5).(\sec(ZA) - 1) - 261.03 + 273.16 \quad (2.10)$$

Burada,

**SST** : Hesaplanan deniz yüzey sıcaklığı (°C )

**T<sub>4</sub>** : 4. bant sıcaklık değeri

**T<sub>5</sub>** : 5. bant sıcaklık değeri

**ZA** : Güneş zenit açısıdır.

Gece algoritması kullanılarak SST'nin hesaplanması için izlenmesi gereken adımlar ise aşağıda verilmiştir:

- Uydu zenit açısının <53° olup olmadığı kontrol edilir.
- Kara ve deniz ayrımı yapılır.
- Güneş zenit açısı kontrol edilir. Eğer >75° ve 2. bant yansıması <%1 ise gece algoritması kullanılır. Eğer yansıma >%1 ise SST hesaplanmaz.
- Kızılötesi testinde 4. bant sıcaklığı <-5° C ise SST hesaplanmaz.
- Kızılötesi tekdüzelik testi: 4. bant sıcaklık değerine sahip tüm pikseller 3x3 büyüklüğünde bir pencerede, piksel değeri orta değer 0.2°C içinde kalmalıdır. Minimum ve maksimum değer farkı 0.4° C olmalıdır.

- Gece kızılötesi bulut testi: Eğer (5.bant sıcaklığı x 1.0439 - 11.49) ifadesinden bulunan sıcaklık değeri ile 4. banttaki sıcaklık değeri arasındaki fark  $>1.0^{\circ} C$  ise SST hesaplanmaz.
- Gece bulut testi: 3. bant sıcaklık değeri, 5. bant sıcaklık değerinden çıkarıldıktan sonra elde edilen fark  $\leq -0.6^{\circ} C$  olmalıdır.
- Aşağıda verilen üç farklı algoritma ile hesaplanan MCSST değerleri arasındaki fark  $>2.0^{\circ} C$  olmamalıdır.

Yukarıda verilen aynı NOAA uyduları için kullanılan MCSST gece formülleri aşağıda verilmiştir (BM, 2004).

#### NOAA-12

$$SST1 = (1.017736.T_3) + 0.426593.(T_3 - T_4) + 1.800916.(\sec(ZA) - 1) - 276.264 + 273.16 \quad (2.11a)$$

$$SST2 = (1.013674.T_4) + 2.443474.(T_4 - T_5) + 0.31432.(T_4 - T_5).(\sec(ZA) - 1) - 277.797 + 273.16 \quad (2.11b)$$

$$SST3 = (1.003194.T_4) + 1.007171.(T_3 - T_5) + 1.174698.(\sec(ZA) - 1) - 273.262 + 273.16 \quad (2.11c)$$

#### NOAA-14

$$SST1 = (1.008751.T_4) + 1.409936.(T_3 - T_4) + 1.975581.(\sec(ZA) - 1) - 273.914 + 273.16 \quad (2.12a)$$

$$SST2 = (1.029088.T_4) + 2.275385.(T_4 - T_5) + 0.752567.(T_4 - T_5).(\sec(ZA) - 1) - 282.24 + 273.16 \quad (2.12b)$$

$$SST3 = (1.010037.T_4) + 0.920822.(T_3 - T_5) + 0.067026.(\sec(ZA) - 1) - 275.364 + 273.16 \quad (2.12c)$$

#### NOAA-15

$$SST1 = (1.041037.T_4) + 1.587582.(T_3 - T_4) + 1.677430.(\sec(ZA) - 1) - 283.51 + 273.16 \quad (2.13a)$$

$$SST2 = (0.993892.T_4) + 2.752347.(T_4 - T_5) + 0.662999.(T_4 - T_5).(\sec(ZA) - 1) - 271.40 + 273.16 \quad (2.13b)$$

$$SST3 = (1.015354.T_4) + 1.063572.(T_3 - T_5) + 1.294955.(\sec(ZA) - 1) - 276.76 + 273.16 \quad (2.13c)$$

Burada,

**SST1:** Dual bant algoritmasına göre hesaplanan MCSST

**SST2:** Ayrık pencere algoritmasına göre hesaplanan MCSST

**SST3:** Üçlü bant algoritmasına göre hesaplanan MCSST

$T_3$  : 3. bant sıcaklık değeri

$T_4$  : 4. bant sıcaklık değeri

$T_5$  : 5. bant sıcaklık değeri

$ZA$  : Güneş zenit açısıdır.

### 2.3.3 NOAA-AVHRR verileri ile kara yüzeyi sıcaklığının hesaplanması

Hava sıcaklığı ve kara yüzeyi sıcaklığı yer atmosfer sisteminin enerji ve su döngüsü için anahtar parametrelerdir. Yeryüzünden çıkan termal kızılötesi yayılımdan kara yüzey sıcaklıklarının belirlenmesine yönelik farklı çalışmalar vardır (Price, 1984; Becker ve Li, 1990; Prata ve Platt, 1991; Kerr ve diğ., 1992; Coll ve diğ., 1994b; Ulivieri ve diğ., 1994; Sobrino ve Raissouni, 2000). NOAA-AVHRR algılayıcısının 11  $\mu\text{m}$  ve 12  $\mu\text{m}$  bölgesinde yer alan iki termal kızılötesi bant kullanılarak bölünmüş-pencere (split window) eşitlikleri yardımı ile kara yüzeyi sıcaklığı hesaplanabilir. Termal kızılötesi yayılımın atmosferdeki su buharı ve gazlardan etkilenmesi nedeni ile kara yüzeyi sıcaklıklarının hassas bir şekilde hesaplanması zordur. Bölünmüş pencere eşitliğiyle atmosferik geçirgenlikleri farklı olan 11  $\mu\text{m}$  ve 12  $\mu\text{m}$  bölgesindeki ardışık iki termal kızılötesi banda ait değerler kullanılarak kara yüzeyi sıcaklıkları hesaplanır. Bölünmüş pencere eşitlikleri ile hesaplanan kara yüzeyi sıcaklığının doğruluğu, her iki banttaki yayım gücü (emissivity) arasındaki farkın büyüklüğüne bağlıdır (Becker, 1987). İki bant arasında oluşan 0.01'lik bir fark, yüzey sıcaklığında 2°C'lik bir hataya neden olur (Qin ve Karnieli, 1999).

Salım gücü (emissivity), bölünmüş pencere eşitlikleri ile yapılan sıcaklık hesaplamalarının doğruluğu için kritik bir parametredir. Salım gücünün hesaplanması için bitki yoğunluğunu gösteren NDVI değerleri kullanılır. AVHRR algılayıcısının 4. bandının sahip olduğu salım gücü  $\epsilon_4$ , ve 4. bant ile 5. bant arasındaki salım gücü farkı  $\Delta\epsilon = \epsilon_4 - \epsilon_5$ , deneysel çalışmalar sonunda elde edilen aşağıdaki formüller ile hesaplanabilir (Jang J.D ve diğ., 2003).

$$\epsilon_4 = 0.9897 + 0.029 \ln(\text{NDVI}) \quad (2.14)$$

$$\Delta\epsilon = 0.01019 + 0.01344 \ln(\text{NDVI}) \quad (2.15)$$

Bölünmüş pencere algoritmalarına ait çeşitli formüller Tablo 2.12'de verilmiştir.

**Tablo 2.12:** Kara yüzey sıcaklıklarının hesaplanması için geliştirilen bölünmüş pencere eşitlikleri (Jang J.D ve diğ., 2003).

Yazar	Bölünmüş pencere eşitliği
(Price, 1984)	$TS = [T_t + 3.33(T_t - T_s)] \times \left[ \frac{5.5 - \varepsilon_4}{4.5} \right] + 0.75T_s \Delta \varepsilon$
(Becker ve Li, 1990)	$TS = 1.274 + \left( 1 + 0.15616 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} - 0.482 \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon^2} \right) \frac{T_t + T_s}{2}$ $+ \left( 6.26 + 3.98 \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon} + 38.33 \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon^2} \right) \frac{T_t - T_s}{2}$
(Prata ve Platt, 1991)	$TS = 3.45 \frac{T_t + T_0}{\varepsilon_s} - 2.45 \frac{T_t + T_0}{\varepsilon_s} + 40 \frac{1 - \varepsilon_t}{\varepsilon_4} + T_0$
(Ulivieri vb., 1994)	$TS = T_t + 2.76(T_t - T_s) + 38.6(1 - \varepsilon) - 96 \Delta \varepsilon$
(Coll vb., 1994a)	$TS = T_t + [1.39 + 0.28(T_t - T_s)] \times (T_t - T_s) + 45(1 - \varepsilon_t) - 40 \Delta \varepsilon$
(Sobrino ve Raissouni, 2000)	$TS = T_t + 1.40(T_t - T_s) + 0.32(T_t - T_s)^2 + 0.83$ $+ (57 - 5W)(1 - \varepsilon) - (161 - 30W)\Delta \varepsilon$

Tablo 2.12’de verilen 6 farklı formül karşılaştırılmış ve orta enlemlerde bulunan bölgeler için Coll ve diğ. (1994a)’da geliştirilen formülün kara yüzey sıcaklıklarının hesaplanması için kullanılabilir en uygun formül olduğu sonucuna varılmıştır (Jang J.D ve diğ., 2003).

### 2.3.4 Değişim saptama analizleri

Uydu görüntülerinin dijital işlenmesinde en fazla kullanılan yöntemlerden iki tanesi arazi örtüsü sınıflandırma ve değişim saptama (change detection) dir. Söz konusu yöntemlerin uygulaması sırasında atmosfer faktörünün irdelenmesi gerekir. Çünkü cisimlerden yayılan elektromanyetik enerji, atmosferde bulunan aerosol ve diğer gazlar ile etkileştikten sonra değişime uğrayarak uydu algılayıcıları tarafından kaydedilir. Bu nedenle sınıflandırma ve değişim saptama analizleri öncesinde farklı zaman ve atmosfer koşullarında alınan görüntülerdeki atmosferik etkinin giderilmesi gerekir. Bu amaçla farklı yöntemler kullanılmaktadır.

Yayılm transfer teorisini kullanarak geliştirilen çok sayıdaki RTC (Radiation Transfer Code, Yayılm Transfer Kodu) yardımı ile görüntülerdeki atmosferik etki giderilebilir (Kneizys ve diğ., 1988; Haan ve diğ., 1991). Uydu ölçümlerinin, yüzey yansımaya değerlerine RTC ile doğru olarak dönüştürülebildiği, yapılan çalışmalar



sonunda saptanmıştır (Holm ve diğ., 1989; Moran ve diğ., 1992). Ancak bu düzeltme yöntemi, görüntünün alındığı anda atmosferin optik özellikleri ile ilgili olarak çeşitli ölçümlerin yapılmasını gerektirdiği için ve her görüntü için söz konusu ölçümlerin mevcut olmadığı düşünülürse, pratikte uygulanması zor bir yöntemdir.

DOS (Dark Object Subtraction, Koyu cisim çıkarma) tekniği, sınıflandırma ve değişim saptama uygulamalarında, atmosferik düzeltme için yaygın olarak kullanılan en basit tekniklerden biridir (Spanner ve diğ., 1990; Ekstrand, 1994). Burada görüntü üzerinde sıfıra en yakın yansıma veren cisme ait sabit parlaklık değeri, görüntünün tüm bantlarındaki piksel parlaklık değerlerinden çıkarılır.

Atmosferik etkinin giderilmesi için kullanılan diğer bir yaklaşım ise, atmosferden yoğun etkilenen bantların, sınıflandırma veya değişim saptama analizlerinde kullanılmaması yönünde olmuştur (Foody ve diğ., 1996; Collins ve Woodcock, 1994; Skole ve Tucker, 1993). Ayrıca, geliştirilen özel analiz algoritmaları ile atmosferik etkinin giderilmesi yönünde çalışmalar yapılmıştır. Fung ve LeDrew (1987) atmosferik etkiyi gidermeden, ana bileşenler analizini kullanarak arazi örtüsündeki değişimleri belirlemiştir. Atmosferik düzeltme amacıyla kullanılan diğer yöntemlere Song ve diğ. (2001), Richter (1990)'dan ulaşılabilir.

Zamansal değişimlerin tespitine yönelik olarak kullanılan çok sayıda yöntem arasında en fazla tercih edilen ve bu tez kapsamında da kullanılan fark alma ve ana bileşenler yöntemi hakkında bilgiler aşağıda verilmiştir.

#### **2.3.4.1 Fark alma yöntemi**

Fark alma yöntemi ile değişim saptama işlemi, farklı iki tarihte alınmış görüntülerin birbirlerinden dijital anlamda çıkarılması ile yapılır. Elde edilen fark görüntüsünde pozitif ve negatif olmak üzere iki farklı değişim söz konusudur. Pozitif değişimler, referans görüntüdeki piksel parlaklık değerinin diğer görüntüdeki piksel parlaklık değerinden büyük olması durumunda, negatif değişimler ise referans görüntüdeki piksel parlaklık değerinin diğer görüntüdeki piksel parlaklık değerinden küçük olması durumunda oluşur. Fark görüntüsündeki pozitif ve negatif değerler ne kadar büyükse değişim de aynı oranda büyüktür.

#### **2.3.4.2 Ana bileşenler analizi**

İlk defa H. Hotelling tarafından 1933 yılında geliştirilen ana bileşenler analizi (Principal Components Analysis); aralarında yüksek korelasyon bulunan çok

değişkenli verileri, aralarında korelasyon olmayan yeni bir koordinat sistemine dönüştüren doğrusal bir dönüşümdür. Dönüşümden sonra, veriler arasında korelasyon ortadan kalkar. Dijital görüntülerde ana bileşenler dönüşümü, görüntünün geometrik özellikleri üzerinde yapılan konumsal bir dönüşüm değil, görüntünün radyometrik (spektral ya da renk) özellikleri üzerinde yapılan istatistiksel bir dönüşümdür (Akça, 2002).

Ana bileşenler dönüşümü çok boyutlu verilerde veri tekrarını azaltarak verinin yeni bir koordinat sisteminde korelasyonsuz olarak temsilini sağlar. Varyansın en büyük bölümü birinci bileşende, kalan bölümü ise azalan miktarlarda diğer bileşenlerde toplanır.

Değişik zamanlarda elde edilmiş çok kanallı uydu verilerinden oluşan bir veri setine ana bileşenler dönüşümü uygulandığında, zamana bağlı olan değişiklikler belirlenebilir. Şöyleki; ana bileşenler dönüşümünün veriyi korelasyonsuz duruma getirmesinden ötürü, değişimin olduğu bölgeler veri sıkıştırma işleminde önemsenmeyen bileşenlerde yer alacağından, değişim olmayan bölgelerden ayrılacaktır (Byrne ve Crapper, 1979). Basit olarak ifade edilirse, zamanla değişim göstermeyen bölgelerdeki yüksek korelasyon ve zamanla değişim gösteren bölgelerdeki düşük korelasyon sonucunda bu ayırım oluşmaktadır. Değişik zamanlarda alınan uydu verilerindeki varyansın büyük bölümünün korelasyonlu, yani zamanla değişmeyen arazi kullanım türlerinden kaynaklandığı varsayılırsa, zamansal değişim gösteren bölgelerin, varyansı düşük olan bileşenlerde yer alacağı açıktır (Loughlin, 1991).

Ana bileşenler dönüşümü, fotogrametri ve uzaktan algılamada; görüntü sıkıştırmada (image compression), görüntü zenginleştirmede (image enhancement), üçten fazla bantla algılanmış görüntülerin ekranda gösterilmesinde, değişim saptamada (change detection), görüntü çakıştırılmasında (image merging), sınıflandırma öncesinde sınıflandırmaya sokulacak bant sayısının azaltılmasında, yapay sinir ağlarında, özellik çıkarımında vb. kullanılmaktadır.

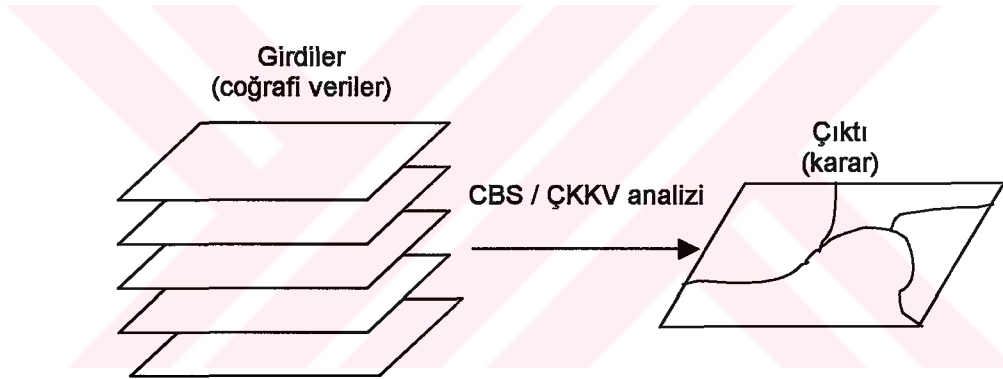
### 2.3.5 Çok kriterli karar verme yöntemi

Çok kriterli karar verme (ÇKKV) işlemi, seçilen kriterlere uygun olarak değerlendirme yapan bir model, yöntem veya yaklaşım olarak kabul edilebilir. Söz konusu kriterler birden fazla sayıda ve farklı uzmanlıklarda olabileceği için, her bir

kriterin uzmanı tarafından değerlendirilmesi gerekir. Burada ana amaç çoklu kriterler ışığında karmaşık problemlerin çözümü için alternatifler belirlemektir (Voogd, 1983). Anlaşılır ve sade bir şekilde üretilen alternatiflerin uygunluk derecelerine göre sıralanması gereklidir (Janssen ve Rietved, 1990).

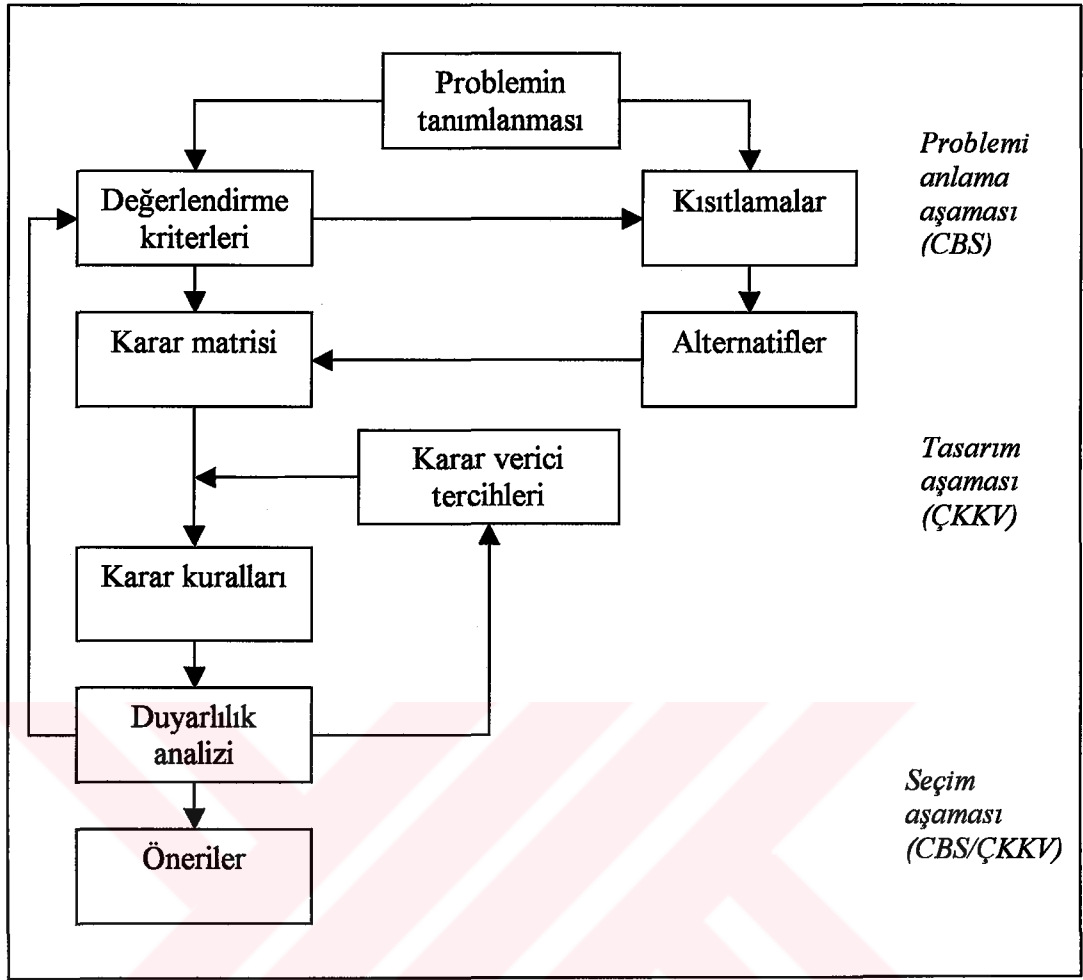
Son on yılda gelişen bilişim sektörüne paralel olarak CBS'nin, ÇKKV yöntemi ile entegrasyonu sağlanmış ve karar verme sürecinde kullanıcılara önemli kolaylıklar sunulmuştur. Bu nedenle ÇKKV, karar verme problemlerinin çözümünde fazla ilgi görmüş ve özellikle arazi uygunluk değerlendirmeleri için çok kullanışlı bir yöntem haline gelmiştir (Pereira ve Duckstein, 1993; Eastman ve diğ., 1995; Heywood ve diğ., 1995; Malczewski, 1996; Joerin ve diğ., 2001; Pettit, 1999).

ÇKKV analizi, coğrafi verileri girdi kabul edip, çıktı olarak karar üreten bir süreçtir (Şekil 2.9). Bu süreç, problemin tanımlanması ile başlar ve önerilerin sunulmasıyla sonuçlanır.



**Şekil 2.9:** Çok kriterli karar verme analizinde girdi-çıkı ilişkisi.

Şekil 2.10'da akış şeması verilen ÇKKV süreci üç aşamada gerçekleştirilir. Birinci aşamada problemi tanıma ve anlama, ikinci aşamada problemin çözümüne yönelik tasarım yapma, son aşamada ise ortaya çıkan öneriler arasında seçim yapma işlemi gerçekleştirilir. İlk aşamada CBS teknikleri, ikinci aşamada ÇKKV yönteminin kendisi, üçüncü aşamada ise hem CBS teknikleri, hem de ÇKKV yöntemi önemli rol oynar.



Şekil 2.10: ÇKKV analizi akış şeması.

Problemin tanımlanmasından sonra ÇKKV analizi değerlendirme kriterlerine odaklanır. Değerlendirme kriterleri belirlenirken öncelikle problemin çözümüne yönelik amaçlar ortaya konur ve bu amaçlara ulaşmada gerekli olan öznel verileri belirlenir. Daha sonra bu verilerin değer aralıkları doğrusal ve logaritmik ölçek dönüşümleri kullanılarak standartlaştırılır ve birbirleri ile uyumlu hâle getirilir. Değerlendirme kriterleri, eğer coğrafi varlıklar ve bunların birbirleri ile olan ilişkileri ile ifade ediliyorsa, bu kriterlerin haritalarla temsil edilmesi gerekir. Kriter haritaları normal ve kısıtlamalı olmak üzere iki farklı nitelikte olabilir. Normal kriter haritalarında, her bir değer sunduğu alternatifler ayrı ayrı uygunluk derecelerine sahiptir. Kısıtlamalı kriter haritalarında ise, var olan alternatiflere sınırlama getirilir.

Alternatifleri oluşturmanın yolu Şekil 2.10'daki akış diyagramından da görüleceği gibi değerlendirme kriterlerine bağlıdır. Her bir karar değişkeni ayrı bir alternatif sunar. Karar değişkenlerinin oluşturduğu karar uzayında, karar verici, her bir

değişkenin sunduğu alternatifin performansını ölçer. Ölçüm sonucunda amaca uygun nitelikteki alternatifler ortaya konur. Kısıtlamaların söz konusu olmadığı bir gerçek dünya mümkün olmadığı için nokta, çizgi veya poligonların sahip olduğu belli öznitelik değerleri karar uzayında kısıtlama olarak kullanılabilir.

ÇKKV analizinde karar vericilerin tercihleri değerlendirme kriterlerinin ağırlıklarının belirlenmesi şeklindedir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesindeki ana amaç, bağıl olarak her bir kriterin diğerine göre önem derecesini ifade etmektedir. Alternatifler ve ağırlıklarla belirlenen girdi veriler karar matrisi yapısında düzenlenebilir.

Mevcut alternatifleri değerlendirmek için standardize edilmiş coğrafi veri katmanları, ve karar vericilerin tercihleri birleştirilmelidir. Bu işlem ancak uygun karar kuralları veya toplama fonksiyonları ile gerçekleştirilebilir. Karar kuralları en iyi alternatifi belirler. Yani, karar kuralları, değerlendirme kriterlerine göre mevcut olan tüm alternatiflerin, sahip olduğu performanslara göre sıralandırılmasını sağlar.

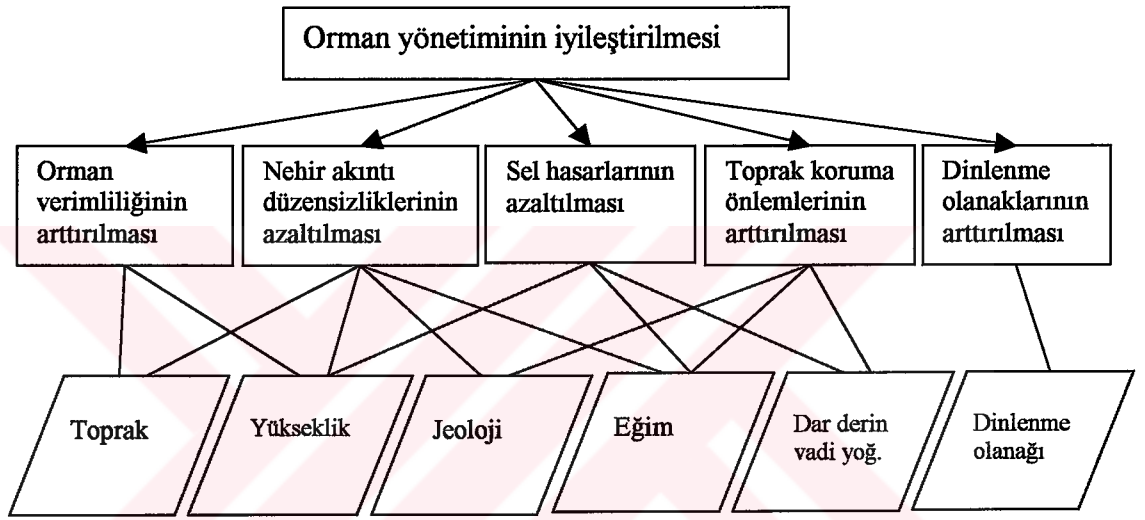
Alternatiflerin performanslarına uygun olarak sıralanmasından sonra güvenilirliğin belirlenmesi için duyarlılık analizlerinin yapılması gerekir. Duyarlılık analizi, girdilerde (coğrafi veriler ve karar vericinin tercihleri) yapılacak herhangi bir değişiklikten, çıktıların (alternatiflerin) ne ölçüde etkileneceğini gösterir. Eğer yapılan değişiklikler çıktılarda önemli sayılabilecek bir etki yaratmazsa belirlenen alternatif sıralaması güvenilirdir. Aksi durumda, elde edilen sonuçların güvenilirliği yetersizdir. Duyarlılık analizi, karar vericinin problemin yapısına derinlemesine hakim olup olmadığını ortaya çıkaran bir araştırma süreci olarak düşünülebilir.

Karar verme süreci önerilerin belirlenmesi ile sonuçlanır. Öneriler kesinlikle alternatifin uygunluğuna ve duyarlılık analizine dayanmalıdır. Öneriler en iyi alternatifi veya alternatif grubunun tanımlarını içerebilir. Burada karar vericilerin veya konu ile ilgili grupların, elde edilen sonuçlarla doğru iletişim kurabilmesinde görselleştirme teknikleri büyük önem taşır.

### **2.3.5.1 Değerlendirme kriterleri**

Değerlendirme kriterleri geniş kapsamda amaç ve öznitelik kavramlarını içerir. Söz konusu kavramlar arasındaki ilişkinin çözümsel hiyerarşi işlemi (Analytic hierarchy process, AHP) ile yapılandırılması gerekir. İlk defa T.L Saaty tarafından geliştirilen AHP, başlangıçta karmaşık problemleri ve kararları kolayca anlama ve uygulama yönteminin eksiklikliğini gidermek için geliştirilmiştir. Daha sonra basit olması ve

yeteneği sayesinde iş, sosyal yaşam, araştırma ve geliştirme projelerindeki karar problemlerinde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmıştır (Springer, 2004). AHP karar verici konumundaki kişilerin düşüncelerini yapılandırır ve problemlerin kolay bir şekilde takibi ve analizi için gerekli organizasyonu yapar. Şekil 2.11’de verilen örnekte söz konusu hiyerarşik yapı ifade edilmiştir. Bu çalışmada, en tepede yer alan orman yönetiminin iyileştirilmesine destek sağlayacak ana amaçlar; orman verimliliğinin artırılması, nehir akış düzensizliklerinin azaltılması, sel hasarlarının azaltılması, toprak koruma önlemlerinin artırılması, dinlenme olanaklarının artırılması şeklinde belirlenmiştir (Malczewski, 1999).



Şekil 2.11: Amaç ve öznitelikler arasındaki hiyerarşik yapı örneği (Malczewski, 1999).

Şeklin en alt kısmında yer alan katmanlar, belirlenen ana amaçların sağlanmasında gerekli olan özniteliklerdir. Birinci amacı değerlendirmek için gerekli olan öznitelikler toprak ve yüksekliktir. Kahverengi nemli topraklar ile siyah orman toprakları yüksek verimlilik sağlarken, artan yükseklikler orman verimliliğinin düşmesine neden olur. Nehirlerdeki akıntı düzensizliğinin azaltılması amacı için toprak türleri, yüzey jeolojisi, eğim ve yükseklik durumunun hesaba katılması gerekir. Örneğin, nemli kahverengi topraklar ile siyah orman toprakları yüksek miktarda su tutma kapasitesine sahiptir. Öte yandan toprak altındaki kayaların durumu ise yeraltındaki sızıntı ve yeraltı suyu hareketinin belirlenmesinde etkilidir. Örneğin volkanik küller ile hava ile temas halindeki granitler yüksek miktarlarda su tutabilir. Eğim miktarı ve yükseklik ne kadar fazla olursa nehirlerdeki akıntı değişimlerinin en aza indirilmesi o kadar zordur. Benzer şekilde, sel

hasarlarının azaltılması, toprak koruma önlemlerinin artırılması ve dinlenme olanaklarının artırılması amaçları için gereken öznitelikler Şekil 2.11’de verilmiştir. Temel amacın sağlanmasında etkili olan tüm bu özniteliklerin çok kriterli karar verme analizinde girdi veri olarak kullanılabilmesi için harita şeklinde oluşturulması gereklidir.

Değerlendirme kriterlerinin seçimi için genel kural, problemin durumuna göre belirlenir. Burada iki farklı eğilim söz konusudur (**Ozernoi ve Gaft, 1977; Munda, 1995**). Birincisinde değerlendirme kriterleri öyle bir şekilde belirlenir ki, karar modeli problemin durumuna mümkün olduğunca yakın olacak şekilde ortaya konur. Bu durum, karar modeli içerisinde çok sayıda değerlendirme kriterinin bulunmasını gerektirir. İkinci eğilimde, problem mümkün olduğunca az sayıda değerlendirme kriteri ile tanımlanır. Söz konusu durum da karar modelinde mevcut veri miktarı ve kalitesi oranında basitliğe neden olur. Değerlendirme kriterleri tanımlanırken belirlenen özniteliklerin, anlamlı, ölçülebilir, kapsamlı, işlevsel ve ayrıştırılabilir nitelikte olması gerekir.

Diğer taraftan özniteliklere ait veri seti tanımlanırken bir özneliğin farklı şekillerde birden fazla kullanılmamasına dikkat edilmelidir. Örneğin trafik ile ilgili olarak ele alınan bir proje kapsamında, hem hava kirliliği düzeyi, hem de karbondioksit düzeyini ifade eden özniteliklerin birarada kullanılması uygun değildir. Burada kullanılan her iki öznitelik birbirlerinden tamamen bağımsız olmayıp aralarında belli bir ilişki söz konusudur. Korelasyon katsayısının hesaplanması sonucunda seçilen özniteliklerin uygunluğu bu anlamda test edilebilir. Eğer aralarındaki korelasyon katsayısı sıfıra yakın veya eşitse seçilen öznitelikler uygun kabul edilir. Aksi durumda birbirleri ile örtüşen özniteliklerin analiz işlemi öncesinde veri setinden çıkarılması gerekir.

Göz önünde bulundurulması gereken diğer bir konu, özniteliklerden oluşan veri setinin mümkün olduğunca minimum düzeyde tutulmasıdır. Örneğin bir karar probleminin çözümünde karbon monoksit düzeyi, hidrokarbon düzeyi, nitrik oksit düzeyi gibi üç farklı öznitelik yerine, hepsini kapsayan sadece kirlilik düzeyini belirten öznitelik kullanılabilir. Minimum düzeyde tutulan öznitelik verileri, veri üretiminde işgücü ve zaman kaybını önleyerek karar vericiye tercihlerinde kolaylık sağlar.

Amaç ve özniteliklerin, arzu edilen özellikleri doğrultusunda değerlendirme kriterlerini seçmemize rağmen kriterleri saptamada belli bir yöntemden söz etmek mümkün değildir. Probleme özgü olarak seçilen kriterler değişim gösterirler. Örneğin nükleer bir santral yapımı için alan değerlendirme çalışmalarında kullanılan kriterler ile, okul yapımına uygun alan belirleme çalışmaları için kullanılan kriterler birbirinden farklı olacaktır. Karar probleminin doğasına uygun olarak kriterlerin belirlenmesinde çok adımlı iterasyon işlemi uygun bir yöntemdir. İterasyon işlemi sonunda gerekirse değerlendirme kriterleri birleştirilerek fazla kriterler elimine edilebilir veya ayrıştırılarak ölçüm süreci kolaylaştırılabilir. Değerlendirme kriterlerinin sayısı problemin özelliğine bağlıdır. Problemin özelliğine uygun olan değerlendirme kriterleri ise ilgili alanda yapılacak olan literatür taraması, analitik çalışmalar ve kişilerin kendi görüşleri sonucunda elde edilebilir.

#### **2.3.5.2 Kriter haritalarının üretilmesi**

Alternatiflerin ortaya konması için gerekli olan kriterler belirlendikten sonra her biri harita formunda CBS veri tabanında oluşturulmalıdır. CBS'nin yetenekleri ile oluşturulan bu veri katmanları kriter haritalarına karşılık gelir. Normal ve kısıtlamalı olmak üzere iki tip kriter haritasının olduğu daha önce belirtilmişti. Normal nitelikteki kriter haritaları belirlenen amaca ulaşmada her bir alternatifin uygunluk derecesini belirten özniteliklerin mekansal dağılımını gösterir. Buna karşılık kısıtlamalı kriter haritaları, adından da anlaşılacağı üzere, bazı değişken veya alternatiflere kısıtlama ve/veya yasaklama getirir. Kriter haritaları hangi nitelikte olursa olsun bu haritaların üretilmesi, veri girişi, veri depolama, veri yönetimi, veri analizi ve veri çıktısına olanak sağlayan CBS fonksiyonlarına dayanmaktadır. Diğer bir deyişle, kriter haritaları CBS tabanlı veri işleme ve analizinin bir çıktısı olarak kabul edilebilir. Söz konusu işlemi üç farklı parselin fiyat ve ana yollara yakınlık kriterlerine göre değerlendirilmesi örneği ile ele alalım. Her iki kriter haritası parsel sınırları ve ana yolları gösteren altlık haritalardan yararlanılarak ayrı ayrı üretilir. Birinci kriter haritasında her bir parselin belirlenen fiyatı öznitelik olarak girilir. İkinci kriter haritasında ise yine CBS'nin fonksiyonlarından yararlanılarak ana yollara yakınlık haritası oluşturulur. Elde edilen her iki çıktı harita ÇKKV analizi için girdi veri olarak kullanılacaktır. Burada üretilen her iki kriter haritasının farklı ölçü birimlerinde olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Dolayısı ile, üretilen tüm kriter haritalarının ortak bir ölçü biriminde ifade edilmesi gerekir.



Çok kriterli karar verme analizi ile kriter haritalarının birleştirilmesi söz konusu olduğu için bu haritaların, birbirlerine göre bağıl ilişkileri tanımlayan ortak bir ölçü birimine dönüşümünün yapılması gereklidir. Bu işlem için farklı yöntemler kullanılabilir. Bu yöntemler arasında en yaygın kullanılan doğrusal ölçek dönüşümünde, en büyük değer ve değer aralığı olmak üzere iki farklı uygulama söz konusudur.

$$x'_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j^{\max}} \quad (2.16a)$$

$$x'_{ij} = 1 - \frac{X_{ij}}{X_j^{\max}} \quad (2.16b)$$

Yukarıda verilen 2.16a veya 2.16b ifadeleri büyük veya küçük değerlerin en uygun alanları temsil edip etmemesine göre, verilerin standart ortak ölçü birimine dönüşümünü sağlayan basit eşitliklerdir. Burada  $x'_{ij}$ , i nci amacın j nci özneliğine ait olan standartlaştırılmış değeri,  $x_{ij}$ , ham değeri,  $x_j^{\max}$  ise j nci öznelik değerinin maksimum değerine karşılık gelir. Bu formüller ile hesaplanan standart değerler 0 ile 1 arasında değişir. Sıfıra yakın değerler en kötü alanları, 1'e yakın olan değerler ise en iyi alanları temsil eder. Orijinal veride, eğer büyük değerler en uygun alanları temsil ediyorsa (2.16a) ifadesi, küçük değerler en uygun alanları temsil ediyorsa (2.16b) ifadesi kullanılarak standartlaştırılmış değerler hesaplanır. Bu formüller ile yapılan hesaplamaların sağladığı avantaj, orijinal verideki göreceli büyüklüğün, standartlaştırma işleminden sonra elde edilen veride de korunmuş olmasıdır. Örneğin, ham veri 3, 15, 26 değerlerinden oluşuyorsa, standartlaştırılmış değerler 0.115, 0.577, 1.0 olarak elde edilir. Burada değerler değişmesine rağmen  $3/15=0.115/0.577$ ,  $3/26=0.115/1.0$ ,  $15/26=0.577/1.0$  dır. Diğer taraftan bu formüller ile yapılan hesaplamalarda en küçük standartlaştırılmış değer hiçbir zaman sıfır olmaz. Yukarıda verilen örnekte en küçük değer 0.115 olduğu görülebilir. Dolayısı ile en kötü durumu ifade eden standartlaştırılmış değer belirlenmesinde güçlükler ortaya çıkmasına karşın en iyi durumu ifade eden standartlaştırılmış değer daima 1'e eşittir.

En büyük değer yöntemine alternatif olarak, değer aralık yöntemi ile standartlaştırma işlemi için aşağıda verilen 2.17a veya 2.17b ifadeleri kullanılmaktadır:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (2.17a)$$

$$x'_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}} \quad (2.17b)$$

Burada  $x_j^{\min}$ , j nci özneliğin en küçük değerini,  $x_j^{\max} - x_j^{\min}$  verilen kriterin değer aralığını ifade etmektedir. Bu formüller ile yapılan standartlaştırma işleminin sağladığı en büyük avantaj, her kriter için standartlaştırılmış değer aralığının 0 ile 1 arasında değişmesidir. En iyi değer daima 1, en kötü değer ise daima 0 ile temsil edildiği bu yöntemde, orijinal verideki göreceli büyüklük standartlaştırma işlemi sonrasında aynı kalmaz. Daha önce 3, 15, 26 orijinal değerleri ile verilen örnek için standartlaştırılmış değerler 0, 0.522, 1.0 olarak elde edilir. Burada  $3/15 \neq 0/0.522$ ,  $3/26 \neq 0/1.0$  ve  $15/26 \neq 0.522/1.0$  dir.

### 2.3.5.3 Kriter ağırlıklarının hesaplanması

Çok kriterli karar verme analizlerinde bilgilerin birbirlerine göre önem derecelerinin belirtilmesi gerekir. Bu işlem ise genellikle her bir kritere ağırlık ataması ile olur. Karar vericilerin tercihleri bu ağırlıkların belirlenmesinde etkilidir. Değerlendirme kriterlerine atanan değerler ile tanımlanan ağırlıklar tüm kriterlerin birbirlerine göre bağıl önemlerini belirtir. Diğer bir deyişle, bir kriterin ağırlığı diğerine göre ne kadar büyükse, o kriterin diğer kritere göre önemi o derece büyüktür.

Ağırlıkların belirlenmesinde kullanılan en basit yöntem sıralama yöntemidir. Burada her bir kriter, karar vericinin tercihleri doğrultusunda önem derecelerine göre sıralanır. Sıralama işleminin tamamlanmasından sonra ağırlıkların bu sıralama işlemine göre hesaplanmasında aşağıdaki formüller kullanılabilir.

$$w_i = \frac{n - R_j + 1}{\sum (n - R_k + 1)} \quad (2.18a)$$

$$w_i = \frac{1/R_j}{\sum (1/R_k)} \quad (2.18b)$$

$$w_i = \frac{(n - R_j + 1)^p}{\sum (n - R_k + 1)^p} \quad (2.18c)$$

Burada  $w_i$ , j'nci kriter için normalize edilmiş ağırlık değeri,  $n$  çalışma kapsamında ele alınan toplam kriter sayısı ( $k=1,2,3,\dots,n$ ),  $R_j$  ise kriterin önem sırasını belirtir. Sıralama yöntemi çok basit ve karmaşık bir yapıya sahip olmadığı için en çok kullanılan ağırlık belirleme yöntemidir.

#### 2.3.5.4 Karar verme kuralı

ÇKKV analizinin en önemli amacı tüm kriterleri birlikte değerlendirip en tercih edilebilecek alternatifin belirlenmesini sağlamaktır. Karar verme kuralı, alternatifler ile ilgili tüm bilgi ve verileri karar vericinin tercihleri ile birlikte değerlendirerek, en iyi alternatifin belirlenmesi veya alternatiflerin en iyiden en kötüye doğru sıralanmasını sağlar. ÇKKV analizinde çok sayıda karar belirleme kuralı vardır. Fakat CBS tabanlı karar verme analizlerinde en uygun ve en yaygın kullanılan karar belirleme kuralı, toplam alma niteliğinde olanlardır. Tez çalışması kapsamında da, aşağıda formülü verilen, basit ağırlıklı toplama yöntemi kullanılmıştır.

$$A_i = \sum w_i x_{ij} \quad (2.19)$$

Burada  $x_{ij}$ , j'nci kriterin i'nci alternatifi için belirlenen değer,  $w_i$  i'nci alternatif için normalize edilmiş ağırlık değeri ( $\sum w_i = 1$ ) dir. En uygun veya en tercih edilen alternatif, en büyük  $A_i$  değerinin seçilmesi ile belirlenir. CBS tabanlı basit ağırlıklı toplama yöntemi aşağıdaki adımları içerir:

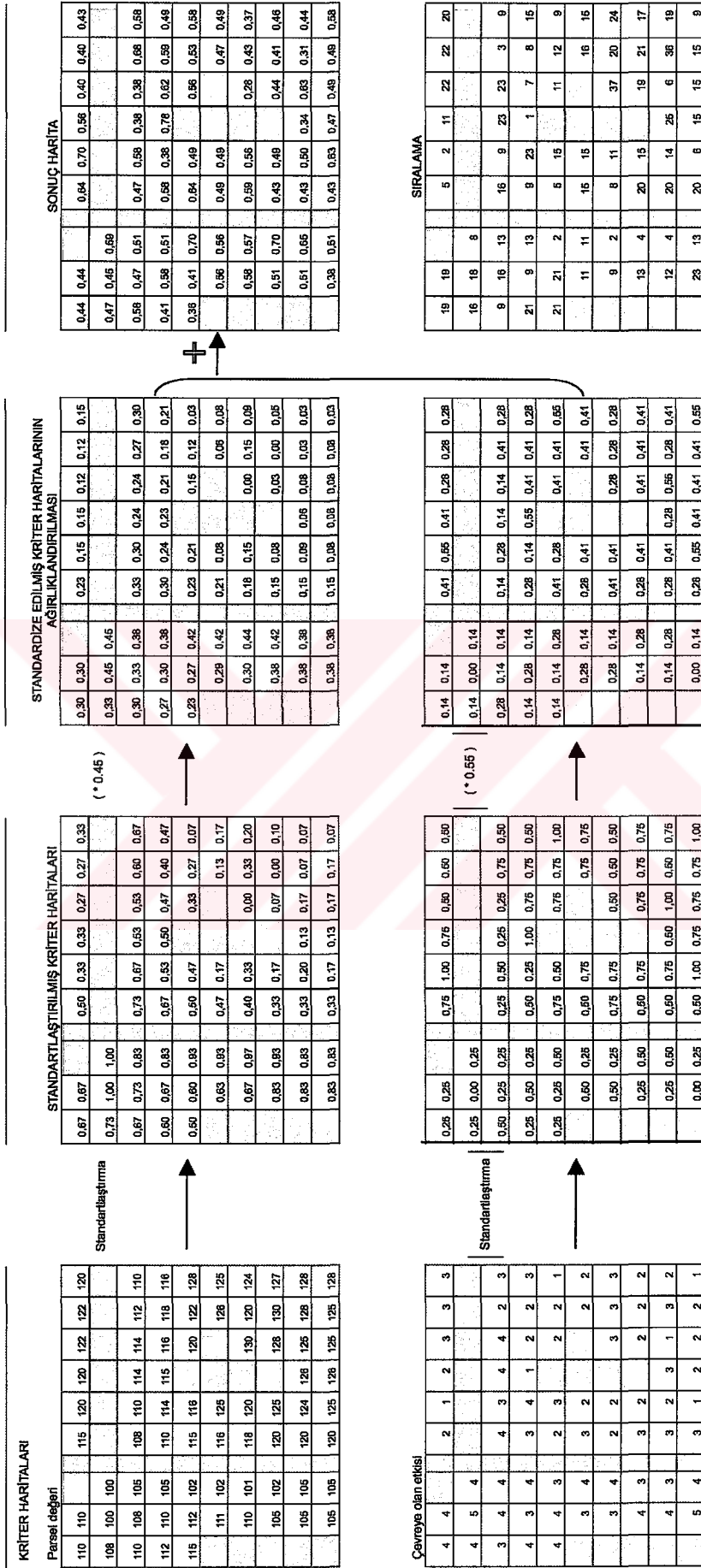
1. Değerlendirme kriterleri kapsamında kriter haritaları üretilerek uygun alternatifler ortaya konur.
2. Her bir kriter haritası standardize edilir.
3. Her bir kriter haritasının birbirine göre önem derecesini belirten ağırlıklar belirlenir.
4. Kriter haritaları için belirlenen ağırlıklar standartlaştırılır.
5. Kriter haritalarının ağırlıklı toplamları alınarak alternatifleri içeren sonuç harita oluşturulur.
6. En yüksek değere sahip olan alanlar en iyi alternatifi temsil edecek şekilde alternatiflerin sıralaması yapılır.

Yukarıda verilen adımlar CBS'nin sahip olduğu bindirme analizi (overlay analysis) yeteneği sayesinde kolaylıkla yapılabilir. Şekil 2.12'de basit ağırlıklı toplama karar kuralı ile yapılan bir örnek çalışma verilmiştir. Burada öncelikle uygun alternatifleri

ile belirlenen kriter haritaları, (2.17a) ve (2.17b)'de verilen eşitlikler kullanılarak standartlaştırılır. Daha sonra her bir kriter haritası kendileri için belirlenen ağırlık değeri ile çarpılır. Örneğin birinci kriter haritasının ilk satır ilk sütununda yer alan 0.67 değeri ile 0.45 ağırlık değeri çarpılırsa 0.3015 sonuç değerinin yuvarlandırılması ile 0.3 elde edilir. Bu işlem tüm hücreler için yapılır. Ağırlıklandırılmış kriter haritalarının toplamı ile oluşan sonuç haritanın en büyük değeri en iyi alternatifini temsil edecek şekilde sıralanır. Buna göre 1 değerine sahip olan tüm hücreler en iyi alanları temsil eder.

#### **2.3.5.5 Duyarlılık analizi**

Duyarlılık analizinde göz önünde bulundurulması gereken en önemli iki faktör kriter ağırlıkları ve kriter öznitelik değerleridir. Burada kriter ağırlıkları, karar vericinin tercihleri ve fikirlerine göre değişen bir parametre olduğu için kriter öznitelik değerlerine göre daha önemlidir. Duyarlılık analizi, kriter ağırlıkları ve kriter öznitelik değerlerinde meydana gelebilecek küçük bir değişikliğin alternatifleri ne kadar etkileyeceğini inceler. Eğer ağırlıklarda yapılacak küçük bir değişiklik, sonucu değiştirmiyorsa, kriter ağırlıklarının hesaplanmasındaki hatalar gözardı edilebilir. Fakat ağırlıklarda yapılacak küçük bir değişiklik alternatiflerde değişime neden oluyorsa ağırlıkların yeniden hesaplanması gerekir.



**Şekil 2.12: Basit ağırlıklı toplama ile karar verme kuralı örneği (Malczewski, 1999).**

### 3. UYGULAMA: KOCAELİ İLİ ÖRNEĞİ

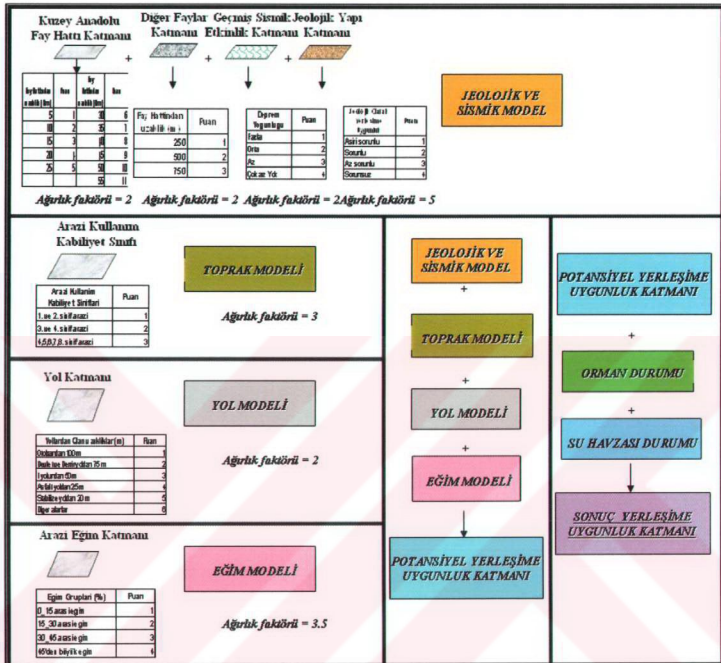
#### 3.1 Çalışma alanı ve bu alanda daha önce yapılan çalışmalar

17 Ağustos 1999 Marmara depreminde büyük kayıplar veren Kocaeli ili çalışma alanı olarak seçilmiştir. Asya ile Avrupa'yı birbirine bağlayan yolların kavşak noktasında bulunan Kocaeli, ilkçağdan itibaren insanların yerleşmek için uygun bulunduğu önemli alanlardan biri olmuştur. Kocaeli ve çevresinde sınırlı olarak yapılan araştırmalarda insanoğluna ait en erken izler, Kefken'in doğusundaki Kovanağzı ve batısındaki Sarısu ağzı ile Pembe kayalar ve Cebeci sırtlarında görülmektedir (İzmit-bld, 2005). İleri düzeyde sanayi ve endüstri kenti olan Kocaeli, ülkemizin en gelişmiş karayolu ve demiryolu ağına sahiptir. Bunun yanı sıra Derince ve Kocaeli limanlarıyla da dünyanın dört bir yanına deniz yolu bağlanmıştır (KB, 2005). Yüzölçümü açısından küçük bir il olan Kocaeli, gerek sanayi sektöründeki üretim ve katmadeğer, gerekse bu sektörde çalışan insan gücü açısından ilginç bir örnektir. Doğal güzellikleri ve tarihi eserlerinin yanı sıra, Karadeniz ve Marmara Denizi'ne olan kıyıları ile ticaret ve turizm açısından da ayrı bir önem taşımaktadır. Merkez ilçesi İzmit olan Kocaeli ilinde Derince, Gebze, Gölcük, Karamürsel, Kandıra ve Körfez ilçeleri ile birlikte toplam yedi ilçe bulunmaktadır. Derince, depremden sonra 3 Kasım 1999 tarihinde ilçe kimliğine sahip olduğu için Köy Hizmetleri İl Müdürlüğü'nden temin edilen haritada bu ilçeye ait idari sınırlar bulunmamaktadır. Bu nedenle yapılan analizlere ait sonuçlar İzmit, Gebze, Gölcük, Karamürsel, Kandıra ve Körfez ilçeleri kapsamında verilmiştir. İl ve ilçe sınırları ile Kocaeli ili uydu görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir.

Kocaeli ilinde benzer konuda daha önce yapılan çalışmalar hakkında Kocaeli valiliği ile yapılan görüşmeler sonucunda, bölgede sadece TÜBİTAK MAM tarafından depremin hemen sonrasında yapılan bir çalışmanın olduğu belirlenmiştir. Söz konusu çalışmaya daha sonra Bayındırlık ve İskan Bakanlığı da katılmış olup çalışma kapsamında yerleşime uygun alanların seçimi için uzaktan algılama ve CBS teknolojilerinin kullanıldığı tespit edilmiştir.



TÜBİTAK MAM tarafından 1999 yılında tamamlanan proje kapsamında uygulanan yönteme ait akış şeması Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2: Kocaeli ili için daha önce yapılan çalışmaya ait akış şeması (TÜBİTAK, 1999).

Temelde puanlamaya dayalı olan yöntemin hemen hemen her aşamasında kişisel tercihler ön planda tutulmuştur. Bunun yanında modeller oluşturulurken kullanılan veri katmanlarına ait değerlerin bazıları 3 sınıfa ayrılmışken bazıları 4, bazıları da 6 sınıfa ayrılmış olup standart bir yaklaşım sergilenmemiştir. Buna karşın tez çalışmasında kullanılan ve puanlamadan tamamen farklı olan çok kriterli değerlendirme yönteminde, kişiye bağlı tercihler sadece ağırlık belirleme aşamasında kullanılmıştır. Veri katmanlarına ait değerler sınıflandırmaya tabi tutulmamış en iyi ve en kötü değerleri arasında doğrusal bir ölçeklendirme söz konusudur. Ayrıca çalışma kapsamında kullanılan kriter haritaları farklı bir bakış açısı ile değerlendirilmiş ve deprem açısından önemli olabilecek yer ivmesi ve deformasyon durumu gibi yeni kriter haritaları oluşturulmuştur.



### 3.2 ERS SAR verileri ile yerkabuğu deformasyonunun haritalanması

SAR verileri deprem sonrasında oluşan yerkabuğu deformasyonlarının haritalanması için kullanılmıştır. Bu amaçla, dünyada yeni gelişen ve ülkemizde henüz çok fazla kullanılmayan SAR Interferometre tekniği kullanılmıştır. 17 Ağustos 1999 Marmara depreminden önceki ve sonraki tarihlere ait, TÜBİTAK-MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü ile İT Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Uzaktan Algılama Laboratuvarı arşivinde bulunan RAW SAR verileri çalışma kapsamında değerlendirilmiştir. Mevcut tüm verilere ilişkin bilgiler Tablo 3.1'de verilmiştir.

**Tablo 3.1:** Mevcut SAR verilerine ilişkin bilgiler.

No	UYDU	Yörünge	İz no	ereve no	Zaman	Format
1	ERS-2	18226	336	2781	15-10-1998 08:48	RAW
2	ERS-2	19228	336	2781	24-12-1998 08:48	RAW
3	ERS-2	20230	336	2781	04-03-1999 08:48	RAW
4	ERS-2	20459	064	2781	20-03-1999 08:45	RAW
5	ERS-2	20960	064	2781	24-04-1999 08:45	RAW
6	ERS-1	20364	336	2781	07-06-1999 08:48	RAW
7	ERS-2	00691	336	2781	08-06-1999 08:49	RAW
8	ERS-1	42229	157	0815	12-08-1999 20:14	RAW
9	ERS-2	22556	157	0815	13-08-1999 20:14	RAW
10	ERS-1	42408	336	2781	25-08-1999 08:48	RAW
11	ERS-2	22735	336	2781	26-08-1999 08:48	RAW
12	ERS-1	42637	064	2781	10-09-1999 08:45	RAW
13	ERS-2	22964	064	2781	11-09-1999 08:45	RAW
14	ERS-1	42730	157	0815	16-09-1999 20:14	RAW
15	ERS-2	23057	157	0815	17-09-1999 20:14	RAW

InSAR tekniği ile yerkabuğu deformasyonlarının haritalanması için ilk aşamada yapılması gereken en önemli çalışma, interferometre için uygun olan veri çiftlerinin seçimidir. Uygun olan veri çiftleri ise, aynı bölgenin farklı zamanlarda çekilen verileri arasındaki dikey baz uzunluk değerleri hesaplanarak belirlenir.

Bu amaçla ESA'nın (European Space Agency) arşivlerinde bulunan her türlü uydu verisini sorgulamaya yönelik olarak geliştirilen DESCW v-4.39 yazılımı kullanılabilir. Bu yazılım ile, seçilen bölgenin belli bir tarih aralığında çekilmiş arşiv görüntüleri hakkında bilgi almak ve bunların InSAR alışması için amaca uygunluğunu test etmek mümkündür. İnternet yolu ile ESA veri arşivini sorgulayan



DESCW INSAR listing Track: 336 Frame: 2781						
Mission	Date	Orbit	// Baseline	⊥ Baseline	Delta Days	Doppler
E1	19950607	20364	533	1208	-1366	99.90
E1	19990825	42408	491	1042	174	99.90
E2	19950608	691	464	1062	-1365	99.90
E2	19981015	18226	491	1151	-140	99.90
E2	19981224	19228	361	1033	-70	99.90
E2	19990304	20230	0	0	0	99.90
E2	19990826	22735	353	618	175	99.90

**Şekil 3.4:** 336 nolu iz için hesaplanan baz uzunluk değerleri.

Şekil 3.5'te 157 iz numarasına sahip verilerin InSAR tekniği için uygunluğu test edilmiştir. Buna göre depremin hemen öncesi ve sonrasında elde edilen 22556 ve 23057 yörünge numaralarına sahip olan veri çifti ile 42229 ve 42730 yörünge numaralarına sahip olan veri çifti arasındaki dikey baz uzunluk değeri, InSAR çalışması için gereken kritik baz uzunluk değerinin (600 m) altındadır. Dolayısı ile her iki veri çifti de InSAR çalışması için kullanılabilir.

DESCW INSAR listing Track: 157 Frame: 819						
Mission	Date	Orbit	// Baseline	⊥ Baseline	Delta Days	Doppler
E1	19990812	42229	0	0	0	99.90
E1	19990916	42730	16	88	35	99.90
E2	19990813	22556	62	23	-35	99.90
E2	19990917	23057	0	0	0	99.90

**Şekil 3.5:** 157 nolu iz için hesaplanan baz uzunluk değerleri.

Deprem sonrasında oluşan deformasyonun belirlenmesi için yukarıda verilen her iki veri seti ile ayrı ayrı çalışma yapmak mümkündür. Fakat tez kapsamında oluşan deformasyonlar ile ilgili detaylı bir çalışma hedeflenmediği için sadece 22556 ve 23057 yörünge numarasına sahip veri çifti kullanılmıştır.

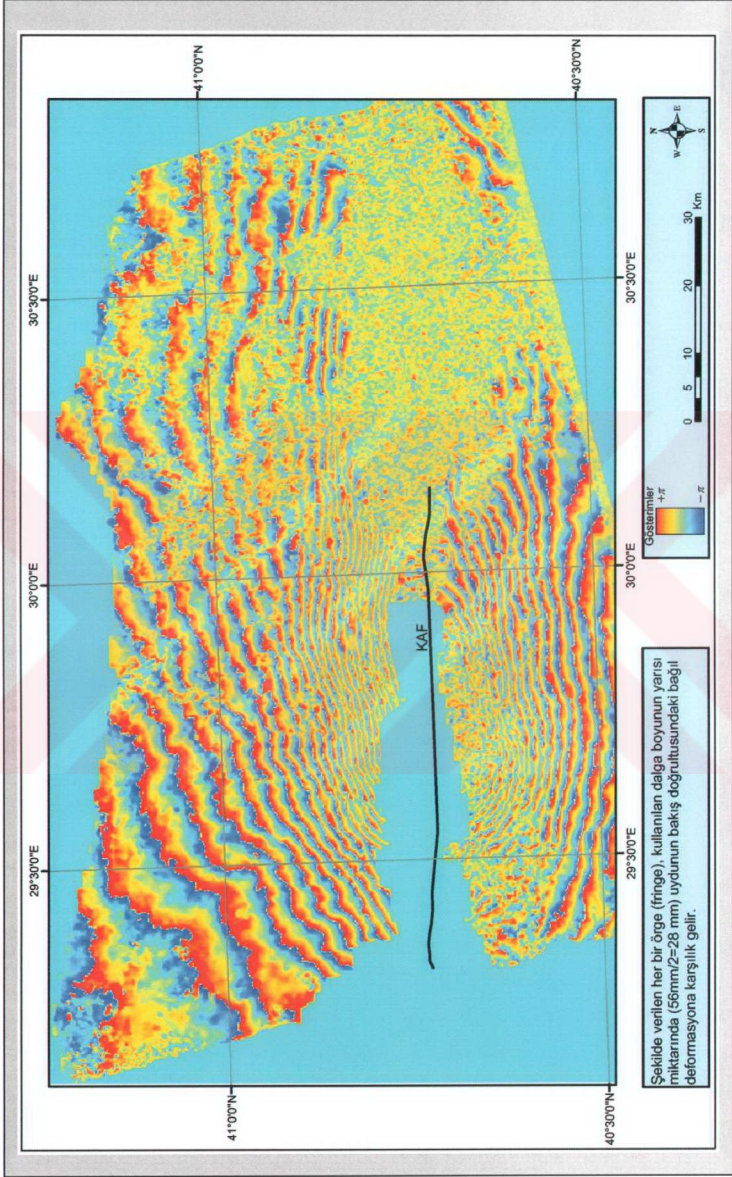
InSAR için uygun veri çifti seçiminin ardından bu verilerin işlenmesi için, NASA/JPL'de geliştirilen ve LINUX işletim sistemi altında çalışan, ROIPAC InSAR paket programı kullanılmıştır. ROIPAC yazılımı ile veri işleme çalışmalarında izlenen adımlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

1. CD ortamında RAW formatındaki SAR verileri, sabit diskte oluşturulan klasörlere kopyalanır.
2. **read\_VDF.pl** *VDF dosyası* komutu ile kopyalanan dosyaların veri işleme sırasında kullanılacak olan yeni isimleri belirlenir. Yeni isimlerde IMAGERY, SARLEADER, VDF ön ekleri kullanılır.
3. **make\_raw.pl** (*yörünge tipi*) (*leader dosyası*) (*tarih*) komutu ile raw formatında bulunan veriler ROIPAC yazılımının işleyeceği formata dönüştürülür.
4. İnterferometrik veri işleme süresince elde edilen çıktı dosyalarının kopyalanacağı klasör oluşturulur.
5. **process\_2pass.pl** (*parametre dosyası*) komutu ile analiz işlemi başlatılır. Burada kullanılan parametre dosyası veri analizleri için gerekli olan klasör ve parametrelerin tanımlandığı *ascii* niteliğinde bir dosyadır. Çalışma kapsamında kullanılan “int.proc” adlı dosyanın içeriği Şekil 3.6’da verilmiştir.

SarDir1=990813	( <i>master verinin olduğu klasör</i> )
SarDir2=990917	( <i>slave verisinin olduğu klasör</i> )
IntDir=int_990813_990917	( <i>sonuç dosyaların yazıldığı klasör</i> )
DEM=/disk1/roipac/DEM/topo30.dem	( <i>dijital yükseklik modeline ait dosya</i> )
flattening=topo	( <i>yer eğriliğini düzeltme yöntemi</i> )
unw_method=icv	( <i>Faz açılımı yöntemi</i> )
OrbitType=ODR	( <i>Yörünge hesaplama yöntemi</i> )

**Şekil 3.6:** ROIPAC yazılımı ile kullanılan parametre dosyasının içeriği.

Analiz işleminin tamamlanmasından sonra sonuç dosyaların kopyalandığı “int\_990813\_990917” klasöründe 22556 ve 23057 yörünge numaralı veri seti için hesaplanan faz farkı görüntüsü (interferogram) Şekil 3.7’de verilmiştir.

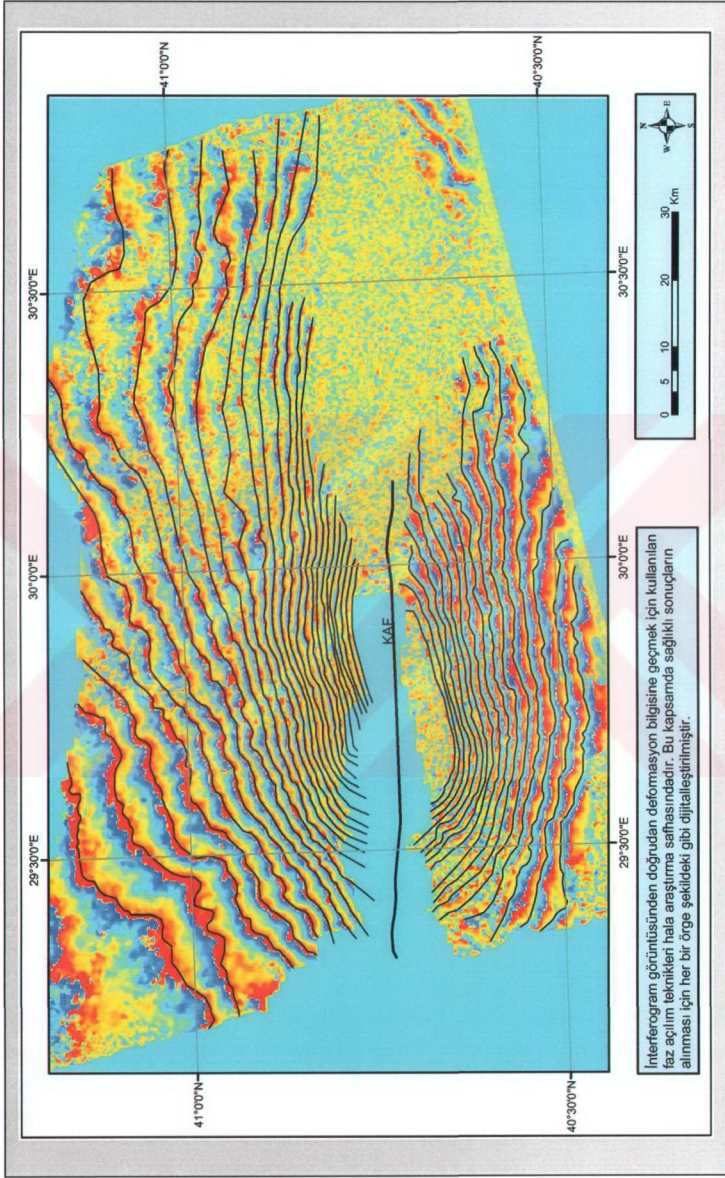


**Şekil 3.7:** 13.08.1999 ve 17.09.1999 tarihli ERS SAR kompleks verilerinden elde edilen interferogram.

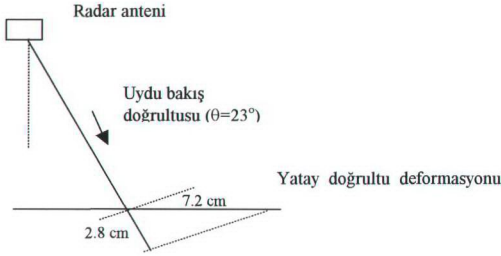
Şekil 3.7’de elde edilen interferogram görüntüsünde, atmosferik ve topoğrafik etkinin belirlenmesi yönünde yapılan çalışmalara **Çakır (2003)**’den ulaşılabılır.

İnterferogram görüntüsünden yararlanarak doğrudan uydunun bakış doğrultusundaki deformasyon bilgisine ulaşmak için faz çözüm tekniği yerine, her bir örgenin ekran üzerinden elle dijitalleştirilmesi yoluna gidilmiştir. Şekil 3.8’de dijitalleştirilmiş olan her bir öрге, dalga boyunun yarısı olan 28mm’lik bir deformasyona karşılık gelir. Kuzey Anadolu Fayı’na (KAF) yakın olan bölgelerde, koheransın kaybolması nedeni ile örgeler net olarak elde edilememiştir. Kullanılan dalga boyu, bu bölgelerde oldukça yüksek olan deformasyonu belirlemeye yetmemiştir. Dolayısı ile söz konusu bölgelerde diğer bölgelere göre daha fazla deformasyon olduğu kabul edilmiş ve bu bölgeler maskelenmiştir.

İnterferogram üzerinde hesaplanan deformasyon, uydunun bakış doğrultusuna ait göreceli deformasyondur. Nitekim, Şekil 3.8’de Karadeniz kıyısından başlayarak İzmit Körfezi’nin kuzeyine kadar sayabildiğimiz öрге sayısı 26’dır. Dolayısı ile Karadeniz kıyılarına göre, İzmit Körfezi’nin kuzey kesimleri, yaklaşık olarak  $26 \times 2.8 \text{ cm} \approx 72.8 \text{ cm}$ ’lik bir deformasyona uğramıştır. Örgelerdeki renk sıralaması ise, deformasyonun (uydu bakış doğrultusunda) uydudan uzaklaşır yönde mi yoksa uyduya yaklaşır yönde mi olduğunu belirler. Uydunun kuzeyden güneye doğru hareket ettiği varsayıldığında, eğer örgedeki renk sıralaması sarı, mavi, kırmızı (SMK) şeklinde ise deformasyon uydudan uzaklaşır yönde, sıralama sarı, kırmızı, mavi (SKM) şeklinde ise, deformasyon uyduya yaklaşır yöndedir. Buradan yola çıkarak, yapılan çalışmada uydu güneyden kuzeye doğru hareket ettiğine göre, Karadeniz kıyılarındaki bir referans noktasına göre, İzmit Körfezi’nin kuzey kıyılarının uydudan toplamda 72.8 cm uzaklaştığı söylenebilir. Belirlenen bu deformasyon, uydunun bakış doğrultusundaki eğik deformasyon miktarıdır. hesaplanan eğik deformasyon miktarının azimut doğrultusundaki yatay bileşeni  $\sim 7.2 \text{ cm/öрге}$  olarak hesaplanabilir (Şekil 3.9). Azimut doğrultusundaki yatay bileşenden hareket ederek kuzey ve doğu yönlerindeki yatay deformasyon miktarının doğrudan hesaplanması mümkün olmayıp birtakım ön bilgilere gereksinim vardır.



**Şekil 3.8:** İnterferogram üzerinden dijitalleştirilen örgeler (fringe).

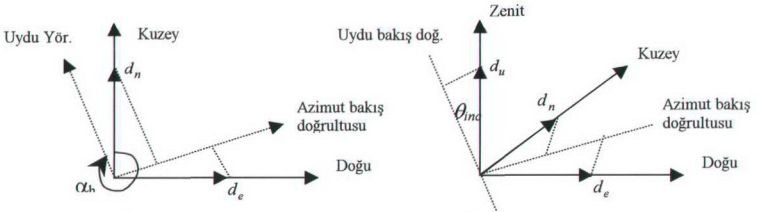


**Şekil 3.9:** Yatay doğrultu yüzey deformasyonu.

Hesaplanan göreceli deformasyon değerleri yerine, kesin (mutlak) deformasyon değerlerine ulaşmak için, uydunun bakış doğrultusundaki deformasyon bileşeni cinsinden ifade edilmiş arazi ölçümlerine gereksinim vardır. Şekil 3.10'da  $d_n, d_e, d_u$  sırasıyla kuzey, doğu ve düşey yöndeki deformasyon bileşenleri,  $d_r$  ise uydunun bakış doğrultusundaki deformasyon bileşeni olursa,

$$d_r = d_u \cos(\theta_{mc}) - \sin(\theta_{mc}) [d_n \cos(\alpha_h - 3\pi/2) + d_e \sin(\alpha_h - 3\pi/2)] \quad (3.1)$$

ifadesi elde edilir. Burada  $\alpha_h$ , uydü yörüngesine ait azimut açısı olup ERS uydusu için  $\sim 190^\circ$ ,  $\theta_{mc}$ , uydunun bakış açısı olup ERS için  $\sim 23^\circ$  dir. KAF'ın yanal atımlı bir fay olduğu göz önünde bulundurulursa renk örgelerinin net olarak elde edildiği bölgeler için düşey yöndeki deformasyonlar yatay yöndeki deformasyonlara göre çok küçük olduğundan  $d_u = 0$  alınabilir.



**Şekil 3.10:** Üç bileşenli deformasyon vektörünün  $\vec{d} = (d_n, d_e, d_u)$ , uydunun bakış doğrultusundaki deformasyon bileşenine projeksiyonu (Hanssen, 2001).

Böylece, bir noktada uydunun bakış doğrultusundaki deformasyon miktarı,

$$d_r = -0.0678d_n + 0.3848d_e \quad (3.2)$$



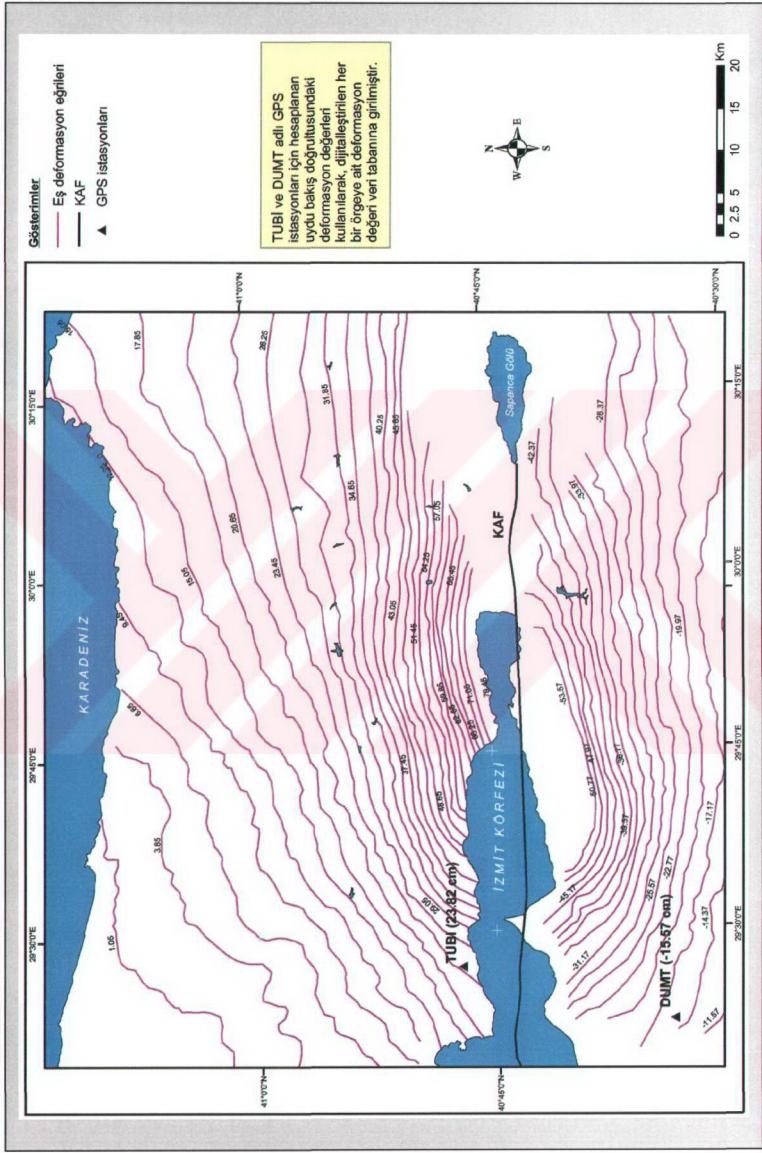
formülü ile hesaplanabilir.

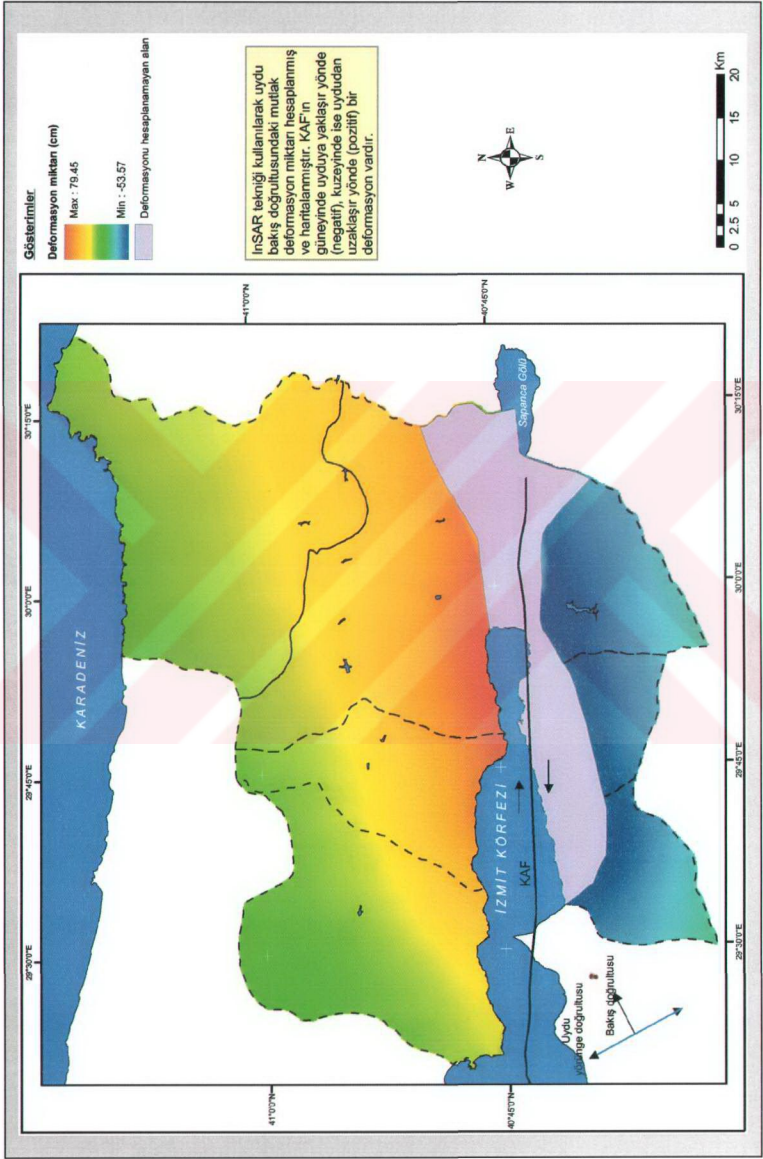
Bu kapsamda kesin deformasyon değerlerine ulaşmak için, çalışma bölgesinde TÜBİTAK MAM YDBE tarafından kurulan ve sürekli veri toplayan 2 adet GPS istasyonundan toplanan veriler kullanılmıştır. SAR verilerinin alındığı tarih aralığı (13/08/1999-17/9/1999) için, Bursa Dumanlı Tepe’de bulunan DUMT ve TÜBİTAK Gebze yerleşkesinde bulunan TUBI istasyonu için temin edilen kuzey-güney ve doğu-batı doğrultusu deformasyon değerleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

**Tablo 3.2:** Sürekli veri toplayan GPS istasyonlarından elde edilen deformasyon değerleri (13.08.1999-17.09.1999 tarih aralığına ait).

İstasyon Adı	Koordinatlar		Deformasyon değerleri (mm)	
	Enlem (°)	Boylam (°)	Kuzey-güney doğrultusu ( $d_n$ )	Doğu-batı doğrultusu ( $d_e$ )
DUMT	40°.56552469	29°.37189577	-325.90	-347.30
TUBI	40°.78672459	29°.45068173	-340.00	559.30

Tabloda verilen  $d_n$  ve  $d_e$  deformasyon değerleri (3.2) nolu eşitlikte yerine konulduğunda, noktanın  $d_r$  bileşeni, DUMT istasyonu için  $d_{r(DUMT)} = -15.57\text{cm}$ , TUBI istasyonu için ise  $d_{r(TUBI)} = 23.82\text{cm}$  olarak hesaplanır. Bu değerlerden yola çıkarak Şekil 3.8’de dijitalleştirilen her bir örge için uydunun bakış doğrultusuna ait kesin deformasyon değerleri hesaplanmış ve veri tabanına girilmiştir. Şekil 3.11’de mutlak deformasyon değerleri ile, verilen eş deformasyon eğrileri arasında lineer interpolasyon yapılarak Kocaeli il sınırları dahilinde uydu bakış doğrultusuna ait mutlak deformasyon haritası elde edilmiştir (Şekil 3.12). Burada KAF’ın sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay olan KAF’ın kuzeyinin, doğu yönünde, güneyinin ise, batı yönünde bir deformasyona uğradığını belirtmek gerekir.





Şekil 3.12: Uydu bakış doğrultusuna ait deformasyon miktarları.

### 3.3 NOAA-AVHRR verileri ile deprem öncesi ve sonrası termal anomalilerin izlenmesi

Çeşitli literatürler, büyük depremler öncesinde ortaya çıkan sıcaklık artışının belirlenmesinde NOAA uydu görüntülerinden yararlanılabileceğini göstermektedir. Termal görüntülerin sismoloji bilimindeki ilk uygulamaları 1985 yılında Rusya'da yapılmıştır. Sismik aktivitesi yüksek olan Orta Asya'ya ait bazı bölgeler için alınan NOAA görüntüleri analiz edilmiştir (Gorny ve diğ., 1988; Tronin, 1996, 2000; Li, 1998; Ouzounov, 2004). Nitekim, Qiang ve diğ. (1991, 1992a, 192b, 1997) Datong depremi (18 Ekim 1989, M=6.1), Changsu depremi (9 Şubat 1990, M=5.1) ve Gonghe depremi (26 Nisan 1990, M=7.0) öncesinde termal anomaliler saptamıştır.

Aynı şekilde, Orta Asya'da 7 yıl boyunca elde edilen termal görüntüler analiz edilerek, sıcaklık değişimi ile sismik aktivite arasında bir ilişki kurulmuştur (Tronin ve diğ., 2002). Oluşan sıcaklık değişimleri Çin ve Japonya'da farklı şekillerde ortaya çıkmıştır. Pekin'de depremden 6 ile 24 gün önce, uzunluğu 700 km, genişliği 50 km olan bir alanda, büyüklüğü 4.7'den büyük depremler için 3°C'lik bir sıcaklık değişimi saptanmıştır. Buna karşılık Japonya'da oluşan sıcaklık değişimi ise daha karmaşık olup depremden 7 ile 10 gün önce ve daha da küçük bir alanda saptanmıştır (Tronin ve diğ., 2002).

Ayrıca, 7 Eylül 1999 tarihinde Atina'da meydana gelen 5.9 büyüklüğündeki depremin öncesine ait termal anomaliler de saptanmıştır (Filizzola ve diğ., 2004).

Çalışmada kullanılan NOAA-AVHRR verileri TÜBİTAK MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü NOAA-AVHRR uydu veri arşivinden temin edilmiştir. Deprem öncesi ve sonrası için temin edilen bu verilere ait bilgiler Tablo 3.3'de verilmiştir.

**Tablo 3.3:** Çalışmada kullanılan NOAA-AVHRR verileri.

NO	UYDU	TARİH	SAAT	FORMAT
1	NOAA-14	14.08.1999	04:33	HRPT
2	NOAA-14	14.08.1999	16:00	HRPT
3	NOAA-14	15.08.1999	04:21	HRPT
4	NOAA-14	15.08.1999	15:48	HRPT
5	NOAA-14	16.08.1999	05:50	HRPT
6	NOAA-14	16.08.1999	15:37	HRPT
7	NOAA-14	17.08.1999	05:39	HRPT
8	NOAA-14	17.08.1999	15:25	HRPT
9	NOAA-14	18.08.1999	05:29	HRPT
10	NOAA-14	19.08.1999	05:18	HRPT

Deprem öncesi ve sonrası için aynı gün sabah ve öğleden sonra olmak üzere toplam 10 adet görüntü için deniz suyu yüzey sıcaklıkları ile kara yüzey sıcaklıkları hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar uygulama başlığı altında sunulmuştur. NOAA-AVHRR verileri ile kara ve deniz suyu yüzey sıcaklıklarının hesaplanmasında kullanılan yöntemler daha önce anlatılmıştı (Bkz 2.3.2 ve 2.3.3).

Tez çalışması kapsamında ise, 17 Ağustos 1999 tarihinde saat 03.02 de meydana gelen Gölçük merkezli depremin öncesi ve sonrası için hem kara yüzeyindeki, hem de deniz yüzeyindeki sıcaklıklar analiz edilerek olası anomaliler araştırılmıştır. Deprem öncesi (14,15,16 Ağustos) ve sonrasında (17,18,19 Ağustos) saat 04.00 – 06.00 arasında ve saat 15.00 – 16.00 arasında TÜBİTAK MAM'da bulunan uydu yer istasyonundan elde edilen NOAA uydu verileri (Tablo 3.3), deniz yüzeyi sıcaklığı ve kara yüzeyi sıcaklığı olmak üzere iki grupta değerlendirilerek sıcaklık haritaları üretilmiştir.

Deprem öncesi ve sonrası için aynı gün sabah ve öğleden sonra olmak üzere toplam 10 adet görüntü için yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir:

- Öncelikle doğrudan HPRT formatında kaydedilen ham uydu verileri, her türlü kalibrasyon ve kontrol noktalarına ait verileri içerisinde tutan Level-1B formatına dönüştürülmüştür.
- PCI Geomatica v-9.1 yazılımı ile kaydedilen kalibrasyon bilgileri ve önceki bölümde anlatılan NOAA-AVHRR verileri ile kara ve deniz yüzey sıcaklıklarının hesaplanmasına ait formüller kullanılarak her bir veri için ayrı ayrı deniz ve kara yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır.
- Yapılan hesaplamalardan sonra öncelikle görüntü için kayıtlı yer kontrol noktaları kullanılarak her bir görüntünün kaba olarak geometrik düzeltilmesi yapıldıktan sonra TÜBİTAK MAM YDBE arşivinde bulunan ve alt piksel doğrulukla düzeltilen başka bir NOAA görüntüsü kullanılarak görüntüden görüntüye hassas geometrik düzeltme işlemi yapılmıştır. Tüm görüntüler için UTM projeksiyon sistemine göre lineer olmayan bir dönüşüm uygulanarak yapılan geometrik düzeltme işleminde kullanılan kontrol noktaları ve doğruluklar piksel biriminde Tablo 3.4'de verilmiştir.

**Tablo 3.4:** NOAA-AVHRR verileri için geometrik düzeltme doğrulukları.

Görüntü	GCP No	Ximg	Yimg	Xutm	Yutm	Xres	Yres	Res
99226a14 Xrms=0.66 Yrms=0.55 Polinom Derecesi=2	G0001	374.3	386.6	429115	4434362	-0.52	0.04	0.52
	G0011	770.6	254.4	866748	4583518	-1.01	0.71	1.23
	G0012	512.2	202.1	584897	4638523	0.13	0.03	0.13
	G0019	554.5	291.0	628259	4540357	-0.45	0.86	0.97
	G0020	519.6	377.0	588510	4445804	-0.25	0.41	0.48
	G0024	692.8	426.0	779021	4393007	-0.17	-0.01	0.17
	G0039	451.0	549.0	511021	4257100	0.03	-0.04	0.05
	G0077	318.3	389.5	369660	4430709	0.84	-0.01	0.84
	G0078	261.0	312.0	309051	4514048	0.15	0.14	0.21
	G0079	684.8	267.8	773595	4569874	0.89	-1.2	1.49
99226b14 Xrms=0.23 Yrms=0.16 Polinom Derecesi=2	G0080	678.5	317.0	766019	4514247	1.09	-0.34	1.14
	G0081	371.0	332.5	426682	4494110	-0.72	-0.59	0.93
	G0002	370.5	444.8	426305	4434362	-0.04	0.03	0.05
	G0007	572.4	393.4	648233	4489467	-0.4	0.27	0.48
	G0013	489.3	181.0	557193	4722436	0.01	-0.01	0.01
	G0014	684.9	320.6	772597	4567860	0.08	-0.05	0.09
	G0023	517.4	434.1	588510	4445804	0.38	-0.26	0.46
99227a14 Xrms=0.46 Yrms=0.36 Polinom Derecesi=2	G0036	449.0	605.3	511824	4257100	-0.03	0.02	0.04
	G0037	777.3	586.5	877589	4276774	0.00	0.00	0.00
	G0003	373.5	383.8	429115	4434362	-0.59	-0.22	0.63
	G0028	772.5	250.8	867150	4584120	-0.12	0.11	0.16
	G0029	519.4	374.1	588109	4445403	-0.22	0.54	0.58
	G0031	555.8	278.5	627456	4552201	0.47	-0.71	0.85
	G0033	776.3	527.8	875381	4276974	0.03	-0.05	0.06
	G0034	518.0	200.5	586101	4637118	-0.14	0.19	0.24
	G0082	373.0	328.0	426682	4494110	-0.57	0.36	0.67
	G0083	317.3	386.8	369660	4430310	0.73	-0.14	0.74
99227b14 Xrms=0.14 Yrms=0.32 Polinom Derecesi=2	G0084	472.8	305.0	536338	4521226	0.4	-0.08	0.41
	G0004	371.5	448.1	428714	4434362	-0.04	-0.1	0.11
	G0009	573.4	397.9	648133	4489768	-0.26	-0.6	0.65
	G0015	686.8	324.2	772597	4567860	0.05	0.11	0.12
	G0016	515.5	261.1	585901	4638122	-0.04	-0.09	0.10
	G0022	518.3	437.5	588510	4445804	0.14	0.33	0.36
	G0026	693.4	485.4	779021	4393007	0.01	0.02	0.02
99228b14 Xrms=0.43 Yrms=0.08 Polinom Derecesi=2	G0030	501.5	354.2	570443	4536543	0.14	0.33	0.36
	G0005	376.9	385.7	428714	4434362	-0.11	0.02	0.11
	G0010	577.9	334.3	648133	4489768	-0.72	0.13	0.73
	G0017	522.5	198.3	585901	4638122	0.05	-0.01	0.05
	G0018	779.5	248.6	867050	4584823	0.07	-0.01	0.07
	G0021	521.9	374.7	588510	4445804	0.76	-0.14	0.77
	G0025	696.3	424.0	779021	4393007	0	0	0.00
	G0038	457.5	546.5	511021	4257100	-0.05	0.01	0.05

**Tablo 3.4:** NOAA-AVHRR verileri için geometrik düzeltme doğrulukları (devamı).

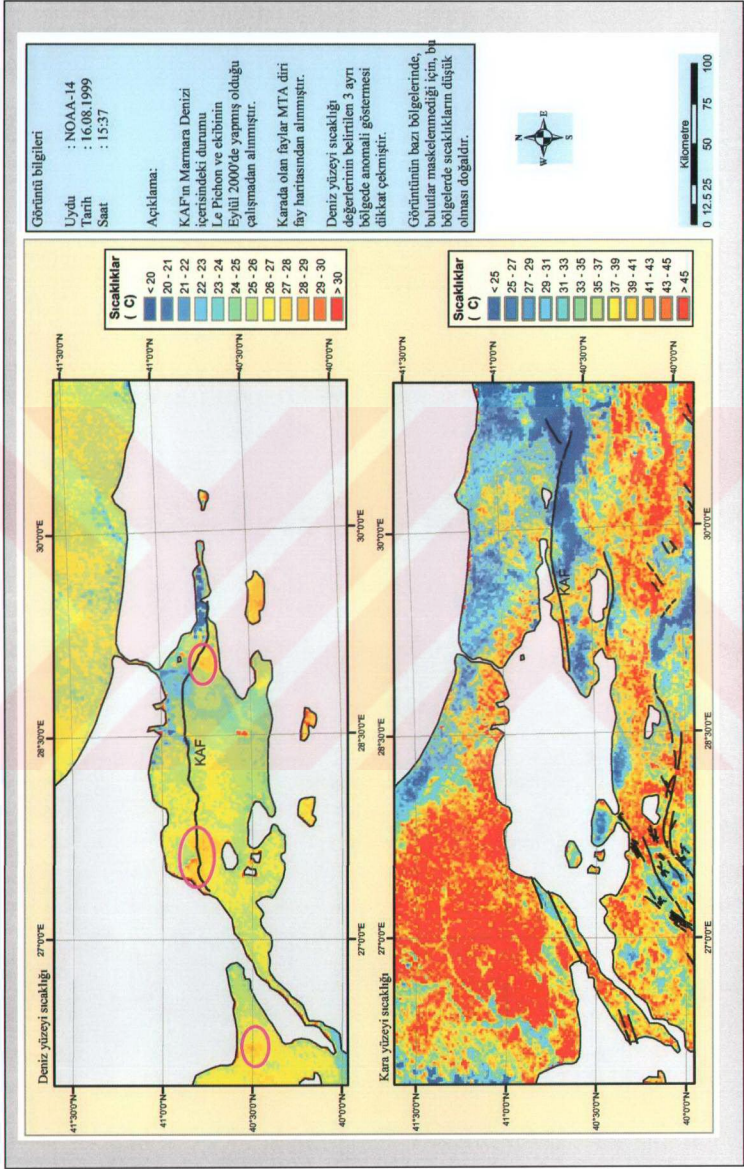
<b>99228c14</b> Xrms=0.05 Yrms=0.17 Polinom Derecesi=2	G0040	370.8	455.3	430320	4428138	0.02	-0.08	0.08
	G0041	514.8	263.3	586101	4638523	-0.03	0.12	0.12
	G0043	779.3	591.8	877187	4276774	0.04	-0.13	0.14
	G0044	447.8	611.0	511423	4257903	-0.02	0.08	0.08
	G0045	773.4	315.0	867150	4583920	0.05	-0.18	0.19
	G0046	574.0	400.5	648333	4489568	0.03	-0.1	0.10
	G0047	795.0	436.8	892043	4448615	-0.08	0.29	0.30
<b>99229a14</b> Xrms=0.01 Yrms=0.43 Polinom Derecesi=2	G0048	379.0	382.5	429115	4434161	0	-0.06	0.06
	G0049	600.3	259.5	674029	4569466	0.02	-0.96	0.96
	G0050	519.8	195.0	586101	4638122	-0.01	0.28	0.28
	G0051	690.8	260.0	773199	4567860	-0.01	0.31	0.31
	G0052	786.5	524.5	877589	4277175	0	-0.04	0.04
	G0053	519.0	524.5	578071	4277175	0	0.01	0.01
	G0054	578.0	331.5	649136	4489166	-0.01	0.47	0.47
<b>99229b14</b> Xrms=0.21 Yrms=0.07 Polinom Derecesi=2	G0055	297.2	276.4	343195	4550194	0	0	0.00
	G0056	286.8	348.8	343195	4550194	-0.06	0.02	0.06
	G0057	387.3	439.8	449592	4450221	0.22	-0.08	0.23
	G0058	773.8	317.3	866949	4583518	-0.07	0.02	0.07
	G0059	507.8	597.0	578874	4276774	0.01	0	0.01
	G0060	646.3	411.5	728432	4480333	0.25	-0.08	0.26
	G0061	513.5	268.0	585901	4636917	0.04	-0.01	0.04
<b>99230a14</b> Xrms=0.06 Yrms=0.05 Polinom Derecesi=2	G0062	516.5	443.0	587507	4445804	-0.39	0.13	0.41
	G0063	524.8	367.0	587507	4445804	0	0	0.00
	G0064	518.5	192.0	585499	4636717	0.04	-0.03	0.05
	G0065	786.0	520.3	876184	4276573	-0.05	0.03	0.06
	G0066	517.5	519.5	578473	4276774	0.05	-0.03	0.06
	G0067	380.0	377.3	428714	4433759	-0.04	0.03	0.05
	G0068	774.5	242.5	867551	4583117	-0.09	0.07	0.11
<b>99231a14</b> Xrms=0.32 Yrms=0.14 Polinom Derecesi=2	G0069	852.8	330.3	953071	4487560	0.09	-0.07	0.11
	G0070	517.3	278.5	580882	4537747	0.48	-0.21	0.52
	G0071	300.3	266.8	345002	4549391	-0.27	0.12	0.30
	G0072	653.3	330.5	728232	4480333	-0.47	0.21	0.51
	G0073	516.3	514.8	579075	4276774	-0.12	0.05	0.13
	G0074	786.0	516.0	876585	4276472	0.1	-0.04	0.11
	G0075	800.5	359.0	892846	4448615	0.07	-0.03	0.08
G0076	321.6	374.5	366482	4430949	0.22	-0.1	0.24	

Kara ve deniz yüzeyi sıcaklıkları için üretilen tüm haritalar Ek-A'da verilmiştir. Tüm haritaların görsel yorumlama tekniği ile yapılan analizlerinde deniz yüzeyindeki sıcaklık değişimleri net bir şekilde izlenmiştir. Fakat özellikle KAF ve civarının bulutla kaplı olması karada meydana gelen sıcaklık değişimlerinin tam olarak izlenmesini engellemiştir. Aynı şekilde bulutluluk nedeni ile hem denizde, hem de

karada bazı bölgelerde kara ve deniz yüzey sıcaklıkları olması gerekenden daha düşük çıkmıştır. Söz konusu bölgelerdeki sıcaklıklar gündüzleri 20°C'nin altında olup mavi renkle gösterilmiştir.

Deniz yüzey sıcaklıklarının incelenmesi sırasında deprem öncesi 16.08.1999 tarihinde saat 15.37'de elde edilen görüntüden hesaplanan deniz yüzeyi sıcaklığı haritasında önemli bulgulara rastlanmıştır (Şekil 3.13). Özellikle Gelibolu Yarımadası'nın batısındaki bölgede, Çınarcık ile Adalar arasındaki bölgede ve Tekirdağ ile Marmara Adası arasındaki bölgede olmak üzere toplam üç farklı noktada yaklaşık 2-3°C lik sıcaklık artışları göze çarpmaktadır. Söz konusu sıcaklık artışlarının özellikle KAF üzerinde olması ilginçtir. Tapırdamaz (2004) bu sıcaklık artışını şu şekilde yorumlamaktadır: "Marmara Denizi'ne ait NOAA verilerinden elde edilen deniz suyu sıcaklığı değerlerinde, depremden 3 gün önceki görüntülerde başlayan ve depremden bir gün önceki gündüz görüntülerinde de belirgin olan önemli sıcaklık anomalileri görülmektedir. Sadece birkaç günlük deprem öncesi NOAA-AVHRR verileriyle yapılmış çalışmada, anomalilerin oldukça belirgin bir şekilde ve Marmara Denizi içerisinden geçen fay boyunca düzenli ve sistematik şekilde görülmesi ilginçtir (Şekil 3.13). Benzer şekilde Atina depremi için uydudan yapılan deniz suyu sıcaklığındaki değişimi inceleyen bir çalışmada da, Ege Denizi'nde depremden önce sıcaklık anomalilerinin görüldüğü belirtilmektedir (Filizzola ve diğ., 2004). Yeni olmakla birlikte bu tür çalışmaların, depremlerin önceden kestirilmesi çabalarına katkı sağlayacak araçlardan biri olarak göz önüne alınıp ciddi şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla konu ile ilgili olarak bir ön çalışma başlatılabilir. Bu çalışmada öncelikle Marmara Denizi'ne ait deniz suyu sıcaklığını veren NOAA kayıtlarından en az bir yıl önceki veriler alınarak, yıllık, mevsimlik ve aylık deniz suyu sıcaklık değişimleri ayrıntılı olarak saptanmalıdır. Sonra bu sıcaklık değişimlerinin, Marmara Denizi'ne ait akıntı rejimi ve meteorolojik koşullarla nasıl değiştiği eş zamanlı olarak karşılaştırılır ve 17 Ağustos 1999 depreminden 3 gün önce görülen sıcaklık anomalilerinin, fayın hareketine bağlı bir değişim olup olmadığı incelenebilir. Eğer önemli ip uçları elde edilirse, içerisinde deniz bilimlerinde uzman kişilerin de yer alacağı bir proje hazırlanarak Marmara Denizi'nde deniz suyu sıcaklık verileri toplanıp deprem kestirimi amacı ile kullanılabilir".





**Şekil 3.13:** NOAA-AVHRR verileri ile 16.08.1999 tarihinde elde edilen deniz ve kara yüzeyi sıcaklıkları

Yukarıda yapılan bu yorumdan da anlaşılacağı gibi NOAA-AVHRR verileri ile yapılan bu çalışma, Türkiye’de deprem kestirimi çalışmalarında uydu verilerinin önemini vurgulamaktadır. Özellikle fay hareketlerinden kaynaklanabilecek sıcaklık değişimlerini günlük NOAA-AVHRR verileri ile izlemek deprem kestirimi çalışmalarına önemli bir destek sağlayacaktır.

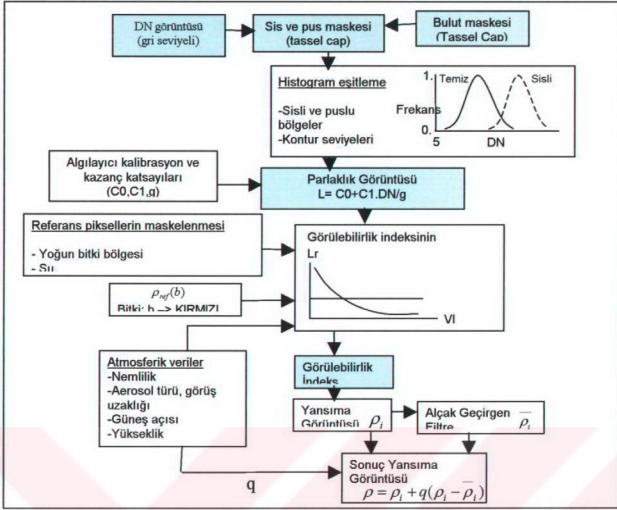
### **3.4 LANDSAT ve SPOT verileri ile yerleşim ve kıyı çizgisi değişimlerinin haritalanması**

17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen depremin hemen öncesi ve sonrası için kısa zaman aralığında elde edilen LANDSAT ve SPOT görüntüleri ayrı ayrı analiz edilerek, hem kıyı çizgisinde, hem de yerleşim birimlerinde depremin oluşturduğu değişimler haritalanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda daha önce anlatılan değişim saptama yöntemleri kullanılmıştır (Bkz 2.3.4).

#### **3.4.1 LANDSAT verileri ile kıyı çizgisi ve yerleşim birimlerinde oluşan değişimlerin incelenmesi**

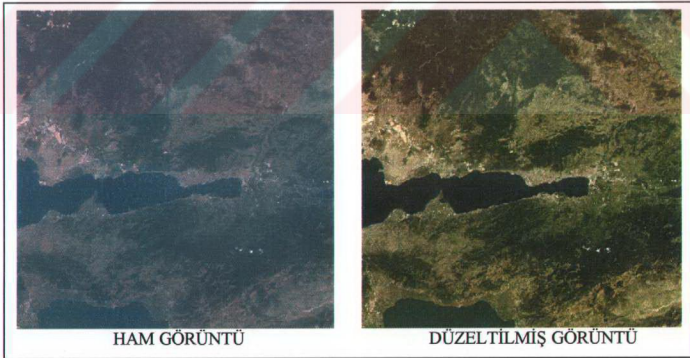
Kocaeli ilini kapsayan 179/32 nolu deprem öncesi (10.08.1999 tarihli) LANDSAT-7 görüntüsü ile deprem sonrası (18.08.1999 tarihli) LANDSAT-5 görüntüsü birlikte analiz edilerek deprem sonrasında İzmit Körfezi kıyı çizgisi ve yerleşim birimlerinde oluşan değişimler saptanmıştır. Değişimlerin saptanması için her iki LANDSAT-TM verilerinin birtakım ön işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen ön işlemler ve değişim saptama analizi sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

*Atmosferik etkinin giderilmesi* : Aynı bölgenin iki farklı zamana ait görüntüleri arasında değişim saptama analizi yapmak için ilk olarak görüntüye atmosferik düzeltme işlemi uygulanmıştır. Bu amaçla, PCI Geomatica-9.1.2 uzaktan algılama ve görüntü işleme yazılımında bulunan, Alman Havacılık ve Uzay Merkezi’nde (DLR, Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt) geliştirilen ATCOR2 adı verilen atmosferik düzeltme paketi kullanılmıştır. Detaylı bilgilerin **Richter (1996)**’da verildiği söz konusu atmosferik düzeltme paketinde izlenen adımlar ve kullanılan parametreler Şekil 3.14’te özetlenmiştir.

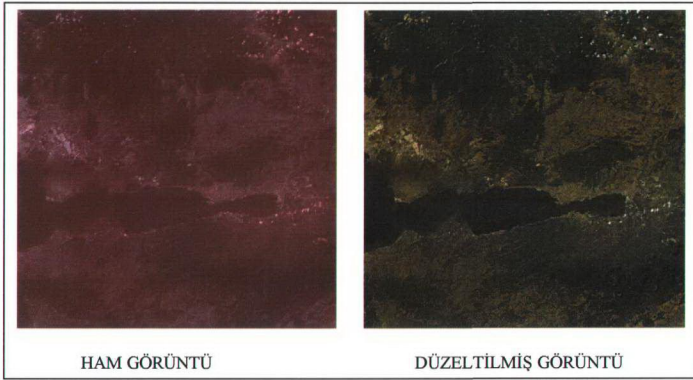


**Şekil 3.14:** ATCOR2 kapsamında izlenen adımlar ve kullanılan parametreler (Richter, 1996).

Ham uydu görüntüleri ile birlikte, atmosferik düzeltme uygulanmış görüntüler deprem öncesi ve sonrası için Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da ayrı ayrı verilmiştir.



**Şekil 3.15:** Deprem öncesi LANDSAT-TM görüntüsünde atmosferik etkinin giderilmesi (3,2,1 bantları).



**Şekil 3.16:** Deprem sonrası LANDSAT-TM görüntüsünde atmosferik etkinin giderilmesi (3,2,1 bantları).

Atmosferik düzeltmenin uygulandığı görüntüler incelendiğinde ham görüntülerdeki sis ve pus etkisinin azaldığı rahatlıkla görülebilir. Atmosferik düzeltmenin değişim saptama analizlerindeki gerekliliği ve etkisi ile ilgili olarak daha önceki bölümlerde detaylı bilgiler verilmişti.

**Geometrik düzeltme:** Uydu verileri genellikle sistematik ve sistematik olmayan birtakım geometrik hataları içerir. Sistematik hataların matematiksel formüllerle giderilmesine karşın sistematik olmayan geometrik bozukların giderilmesi için uygun dağılımda yer kontrol noktalarına gereksinim vardır. Bu amaçla yer kontrol noktaları olarak görüntü ve harita üzerinde ayırt edilebilen yol kesişimleri, kıyılardaki iskeleler, nehirler üzerine kurulmuş olan köprüler, baraj setleri vb. gibi zaman içerisinde değişimi zor olan noktalar kullanılmalıdır. 1/25.000 ölçekli standart topoğrafik haritalar kullanılarak toplanan yer kontrol noktaları ile yaklaşık 1.5 piksel doğrulukla düzeltilen ve Kocaeli ili mozayığı oluşturulan IRS verileri kullanılarak görüntüden görüntüye geometrik düzeltme yapılmıştır.

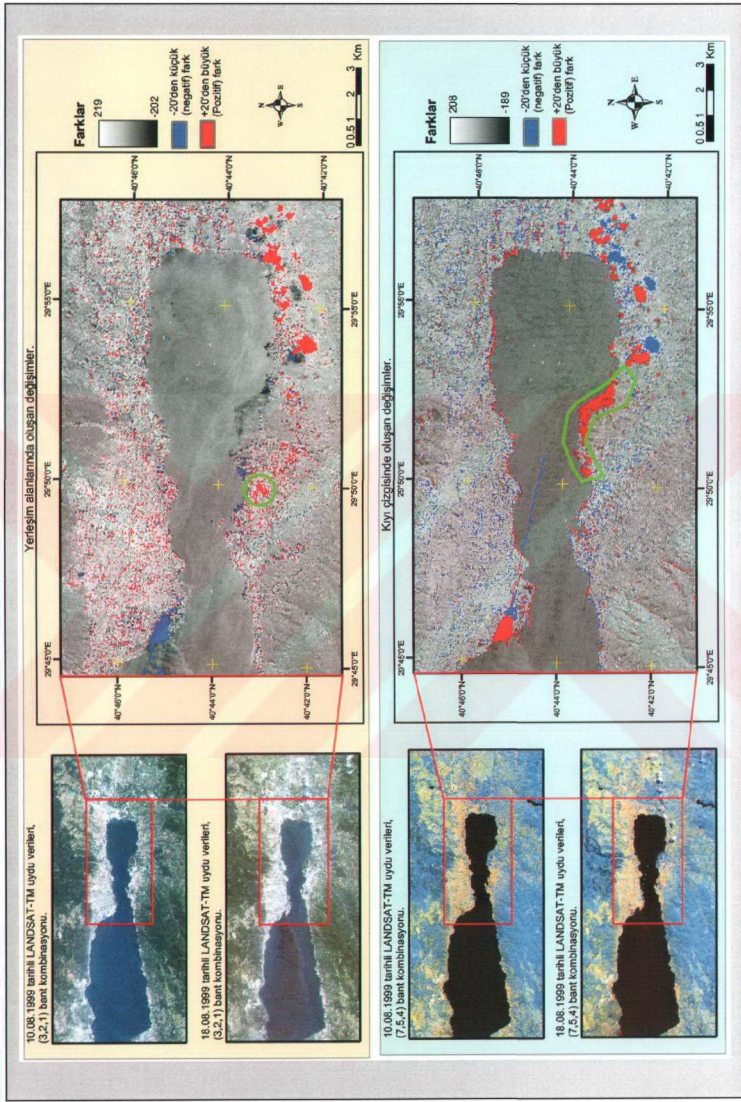
Geometrik düzeltme işlemi için, algılayıcı geometrisi, uydu yörünge ve yüksekliğindeki değişimler, yerin şekli ve dönmesi ile arazi yüksekliği nedeni ile oluşan distorsiyonları gideren, Kanada Uzaktan Algılama Merkezi'nden Dr. Thierry Toutin tarafından geliştirilen uydu yörünge modeli kullanılmıştır. Temelde cisim ve görüntü uzayı arasındaki dönüşümleri esas alan fotogrametride kolinearite koşuluna

dayanan model kapsamında kullanılan kontrol noktaları ve doğruluklar piksel biriminde Tablo 3.5'te özetlenmiştir.

**Tablo 3.5:** LANDSAT verleri için geometrik düzeltme doğrulukları.

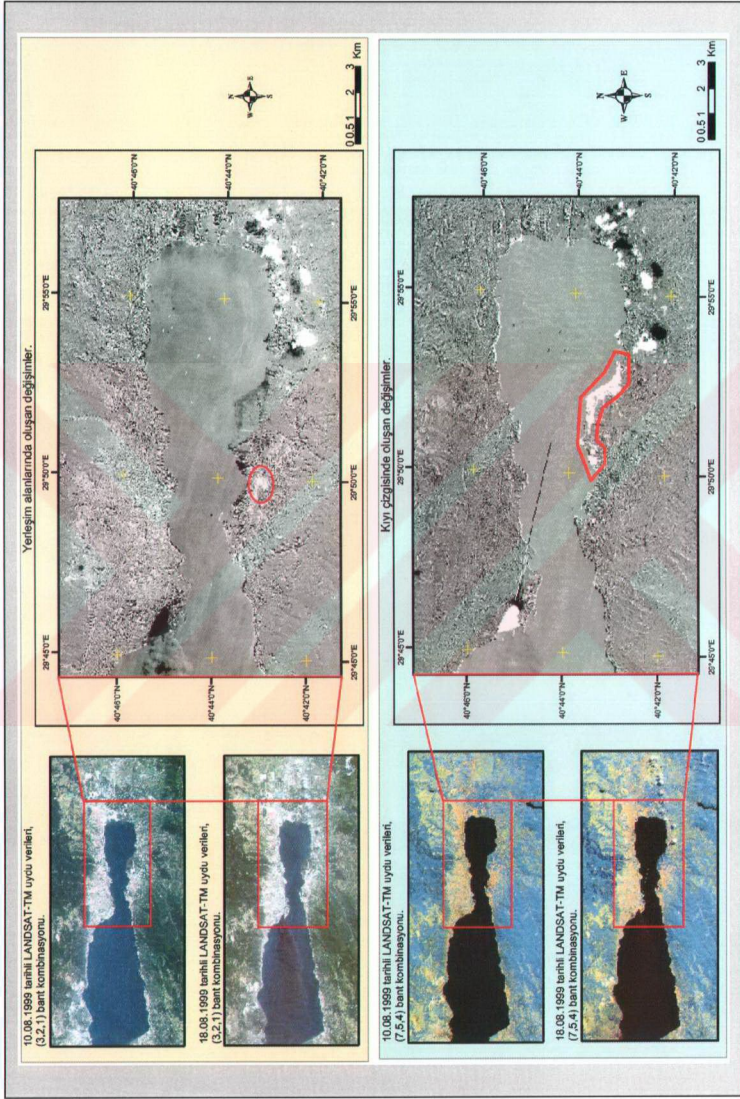
GCP No	Ximg	Yimg	Xutm	Yutm	Xres	Yres	Res
1	864.56	311.44	695570	4556544	0.21	0.27	0.34
2	6201.44	188.56	854546	4535941	-0.11	0.17	0.20
3	4789.06	1482.94	806755	4503992	0.09	-0.14	0.17
4	6248.38	4352.88	836948	4412226	-0.48	-0.63	0.79
5	3359.94	4488.06	750632	4421472	-0.32	0.42	0.53
6	547.69	5539.56	662422	4403301	0.17	-0.21	0.27
7	6227.56	2262.56	845907	4474295	0.16	0.02	0.16
8	3931.94	511.06	785710	4536694	-0.08	0.35	0.36
9	1629.94	1817.94	711476	4508487	0.02	-0.56	0.56
10	1427.94	3742.06	696725	4452430	-0.33	0.24	0.41
11	5152.06	5498.06	799177	4383289	0.24	0.57	0.62
12	4786.94	3188.94	798941	4453429	0.63	-0.23	0.67
13	3324.94	2255.06	759792	4487792	0.04	-0.13	0.14
14	2513.44	667.44	742893	4538526	-0.25	-0.13	0.28
<b>Yrms= 0.35 Xrms= 0.29</b>							

**Fark alma yöntemi ile değişim saptama analizi:** Atmosferik ve geometrik düzeltme yapılmış iki görüntü ile değişim saptama analizi yapmadan önce görüntülerdeki radyometrik farklılıkların ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu amaçla histogram eşleme tekniği kullanılmış ve görüntülerdeki bu farklılıklar giderilmiştir. Değişim saptama analizine hazır olan LANDSAT-TM görüntülerinin görünür bölgedeki bantları yerleşim birimlerinde oluşan hasarların tespiti için, kıvılcığı bölgedeki bantları ise İzmit Körfezi kıyı çizgisinde meydana gelen değişimin saptanması için kullanılmıştır. Elektromanyetik spektrumun her iki bölgesinde bulunan bantlara ait ortalama değerler hem deprem öncesi, hem de deprem sonrası için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Deprem sonrasına ait ortalama değerlerin deprem öncesine ait ortalama değerden çıkarılması suretiyle oluşan değişimler açık veya koyu renk tonlarında elde edilmiştir. Fark görüntülerine ait histogramın incelenmesi, değişimleri daha da belirginleştirilmesi açısından önemli ipuçları sağlamış olup her iki fark görüntüsü için 20 olarak belirlenen eşik değere uygun olarak hem kıyı, hem de yerleşim birimlerinde oluşan değişimler için elde edilen sonuçlar Şekil 3.17'de verilmiştir.



**Şekil 3.17: LANDSAT-TM verileri ile deprem sonrasında oluşan değişimin haritalanması (Fark alma yöntemi).**

**Ana bileşenler yöntemi ile değişim saptama analizi:** Yerleşim birimlerinde meydana gelen değişimlerin ana bileşenler yöntemi ile tespiti için deprem öncesi ve sonrası görüntülerin görünür bölgeye ait bantları, kıyı çizgisinde oluşan değişimin tespiti için ise, kızılötesi bölgeye ait bantları girdi veriler olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda deprem öncesi LANDSAT-TM görüntüsünün (1,2,3) bantları ile deprem sonrası LANDSAT-TM görüntüsünün (1,2,3) bantları alınarak 6 bantlı bir görüntü oluşturulmuştur. Oluşturulan bu görüntüye ana bileşen dönüşümü uygulandıktan sonra yerleşim birimlerinde değişimi belirten en küçük özdeğere sahip olan bileşen tespit edilmiştir. Kıyı çizgisinde oluşan değişimlerin ana bileşenler yöntemi ile saptanması için deprem öncesi ve sonrası LANDSAT-TM verilerinin (4,5,7) bantları kullanılarak 6 bantlı bir görüntü oluşturulmuştur. Uygulanan ana bileşen dönüşümü sonrasında en küçük özdeğere ait bileşenler arasında değişimin bulunduğu bileşen saptanmıştır. Şekil 3.18’de ana bileşenler analizi sonunda yerleşim birimlerinde ve kıyı çizgisinde oluşan değişimler daha açık veya daha koyu renk tonlarında haritalanmıştır. 30m çözebilirliğe sahip LANDSAT-TM görüntüsünde, değişimin çok belirgin olduğu Gölcük ilçesinde depremin neden olduğu hasarın boyutları görülebilmektedir.



**Şekil 3.18:** LANDSAT-TM verileri ile deprem sonrasında oluşan değişimin haritalanması (Ana bileşenler analizi (PCA)).



### 3.4.2 SPOT verileri ile kıyı çizgisi ve yerleşim birimlerinde oluşan değişimlerin incelenmesi

LANDSAT uydusuna göre çözebilirliği daha yüksek olan deprem öncesi ve sonrasına ait 102/268 nolu SPOT verileri ile, kıyı çizgisinde ve yerleşim birimlerinde oluşan değişimlerin belirlenmesi benzer analizler yapılmıştır. Deprem öncesi (15.07.1999) ve sonrasına (20.08.1999) ait 10m çözebilirlikli SPOT-PAN verileri yine geometrik düzeltilmiş IRS verileri temel alınarak, Dr. Thierry Toutin'in uydu yörünge modeli ile görüntüden görüntüye geometrik olarak düzeltilmiş olup elde edilen geometrik düzeltme doğrulukları piksel biriminde Tablo 3.6(a-d)'de özetlenmiştir.

**Tablo 3.6a:** Deprem öncesi SPOT-PAN verileri için geometrik düzeltme doğrulukları.

GCP No	Ximg	Yimg	Xutm	Yutm	Yukseklık (m)	Xres	Yres	Res
G0001	823.0	3236.8	712475	4517891	111	0.04	0.06	0.07
G0002	2995.1	3369.5	733886	4514049	20	0.98	-0.23	1.01
G0003	6847.5	2839.0	772808	4514831	93	-1.1	-0.19	1.12
G0004	6871.5	5502.0	769938	4488334	72	-0.24	1.46	1.48
G0005	1173.5	5763.8	713064	4492390	213	-0.59	-1.21	1.35
G0006	835.0	1274.8	714993	4537364	305	-1.04	-0.57	1.19
G0007	3040.8	983.0	737209	4537680	181	0.28	1.24	1.27
G0008	5385.8	904.0	760605	4535743	206	-1.07	0.43	1.15
G0009	5105.5	2997.8	755285	4515290	15	-0.37	-0.69	0.78
G0010	4699.8	5745.3	748465	4488436	843	-1.64	-0.78	1.82
G0011	859.0	4131.0	711733	4508983	14	-0.04	-1.04	1.04
G0012	3677.3	5386.5	738780	4493190	917	-0.62	-1.3	1.44
G0014	2049.0	4401.0	723566	4504869	556	0.71	0.79	1.06
G0015	4303.8	1534.3	749136	4530740	228	-0.41	0.48	0.63
G0016	4723.8	3858.8	750603	4507168	226	0.36	-0.27	0.45
G0017	1904.0	2000.5	724930	4528875	598	-1.7	1.59	2.33
G0018	3631.8	3717.8	739820	4509853	31	1.31	-0.78	1.52
<b>Yrms= 0.92 Xrms= 0.92</b>								

**Tablo 3.6b:** Deprem sonrası SPOT-PAN verileri için geometrik düzeltme doğrulukları.

GCP No	Ximg	Yimg	Xutm	Yutm	Yukseklk (m)	Xres	Yres	Res
G0019	372.5	3328.3	712475	4517891	111	0.55	0.68	0.87
G0020	2545.8	3412.5	733886	4514049	20	1.76	-0.61	1.86
G0021	6389.3	2793.5	772808	4514831	93	-1.37	0.28	1.40
G0022	6411.8	5488.3	769304	4488103	0	0.3	0.44	0.53
G0023	780.5	5846.0	713064	4492390	213	-0.51	0.04	0.51
G0024	347.0	1367.8	714993	4537364	305	-0.49	-1.27	1.36
G0025	1438.5	2069.0	724930	4528875	598	-0.37	0.84	0.92
G0026	2192.8	1822.3	732633	4530279	241	-0.3	0.68	0.74
G0027	4549.5	1500.8	756455	4530183	323	0.63	1.02	1.20
G0028	3711.8	5478.5	742773	4491958	749	-0.65	-0.71	0.96
G0029	4806.0	3354.0	756353	4511484	73	-0.82	-0.1	0.83
G0030	3230.0	4108.8	739705	4506205	90	-0.41	-0.85	0.94
G0031	1479.0	4142.8	722273	4508298	28	-1.49	-0.13	1.50
<b>Yrms= 0.72 Xrms= 0.91</b>								

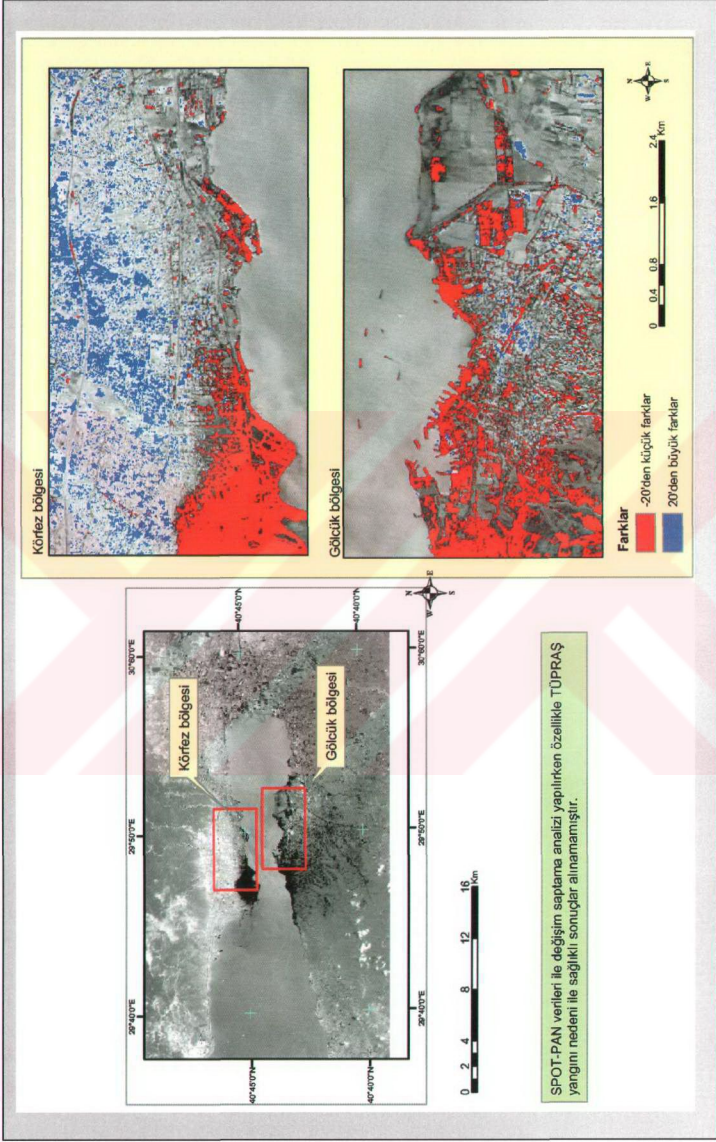
**Tablo 3.6c:** Deprem öncesi SPOT-XI verileri için geometrik düzeltme doğrulukları.

GCP No	Ximg	Yimg	Xutm	Yutm	Yukseklk (m)	Xres	Yres	Res
G0032	410.5	1618.5	712470.0	4517900.0	112	-0.28	0.25	0.38
G0033	1459.5	1619.3	733295.0	4515447.5	4	0.93	-0.03	0.93
G0034	3443.0	1439.0	773135.0	4514410.0	40	-0.3	-0.26	0.40
G0035	2870.0	2498.3	759712.5	4494652.5	908	-0.1	0.33	0.34
G0036	1804.8	2680.0	738155.0	4493535.0	947	-0.39	-0.36	0.53
G0037	186.5	2879.5	705272.5	4493385.0	456	0.09	-1.46	1.46
G0038	486.8	684.8	716302.5	4536265.0	339	-0.36	0.12	0.38
G0039	2022.0	539.0	747145.0	4535570.0	337	-0.8	0.85	1.17
G0040	3412.8	405.8	775025.0	4535017.5	173	0.19	-0.99	1.01
G0041	2436.3	1440.3	753110.0	4516715.0	8	-0.2	0.67	0.70
<b>Yrms= 0.72 Xrms= 0.48</b>								

**Tablo 3.6d:** Deprem sonrası SPOT-XI verileri için geometrik düzeltme doğrulukları.

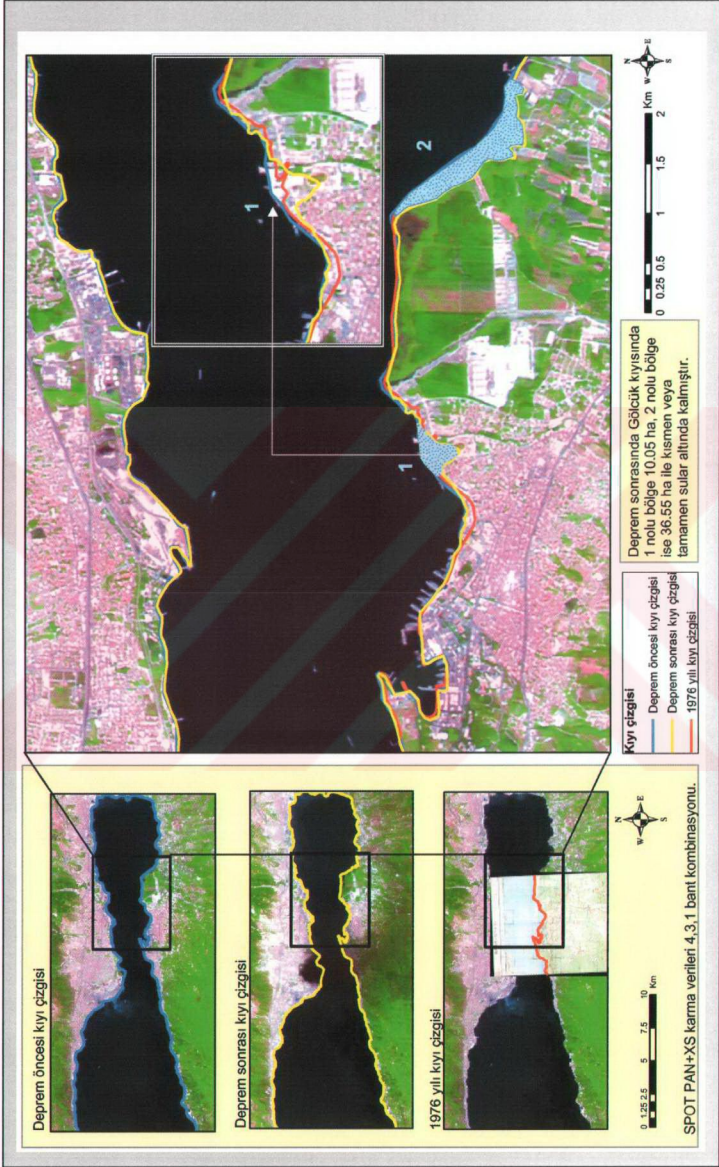
GCP No	Ximg	Yimg	Xutm	Yutm	Yukseklık (m)	Xres	Yres	Res
G0043	1113.0	1462.8	731465.0	4519285.0	342	-0.13	0.89	0.90
G0044	186.8	1664.0	712470.0	4517895.0	111	-0.27	-0.14	0.30
G0045	765.8	2833.5	720857.5	4493100.0	540	0.03	0.46	0.46
G0046	1764.5	2680.0	741145.0	4493392.5	819	-0.5	-0.88	1.01
G0047	2206.8	1440.5	753110.0	4516715.0	8	-0.1	-0.36	0.37
G0048	3158.5	2633.3	768735.0	4490427.5	264	-0.16	0.22	0.27
G0049	3163.0	383.0	775022.5	4535010.0	173	-0.27	-0.57	0.63
G0050	2343.3	448.0	758627.5	4535975.0	270	-0.27	0.68	0.73
G0051	1572.0	527.8	743151.3	4536543.8	321	0.18	0.29	0.34
G0052	184.8	629.0	715365.0	4538410.0	304	-0.17	-0.63	0.65
<b>Yrms= 0.60 Xrms= 0.25</b>								

Geometrik düzeltme işlemlerinden sonra fark alma yöntemi ile değişim saptama analizi yapılmıştır. Şekil 3.19'da verilen fark görüntüsü incelendiğinde dumandan etkilenmeyen yerleşim alanlarında özellikle Gölcük ve Körfez ilçeleri için LANDSAT-TM görüntüsünde fazla belirgin olmayan değişimler daha net göze çarpmaktadır. Ancak TÜPRAŞ rafinerisinde meydana gelen yangının oluşturduğu yoğun duman, yerleşim alanlarında depremin yarattığı değişimlerin sağlıklı olarak belirlenmesine engel olmuştur. Gerçekte değişim olmayan alanlar duman nedeni ile değişime uğramış gibi görülebilmektedir. Dolayısıyla söz konusu görüntülerle değişim saptama analizi yapmak için fark alma yöntemi yerine, sınıflandırma veya görsel yorumlama tekniklerinin kullanılması daha uygun olabilir.



Şekil 3.19: SPOT PAN verileri ile yapılan değişim saptama analizi sonuçları.

SPOT verileri ile kıyı çizgisinde oluşan değişimin belirlenmesi için, ilk olarak SPOT uydusunun 20m çözünürlüklü çok spektrumlu XS (renkli) verileri ile 10m çözünürlüklü siyah/beyaz (PAN) verileri birleştirilerek 10m çözünürlüklü renkli karma veriler oluşturulmuştur. Deprem öncesi ve sonrası için oluşturulan 10m çözünürlüklü bu veriler üzerinden depremden önceki ve sonraki kıyı çizgileri dijitalleştirilmiştir (Şekil 3.20). Şekil 3.20 incelendiğinde, özellikle Gölcük bölgesindeki kıyı çizgisi değişiminin önemli boyutlarda olduğu tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda 1 nolu bölgede yaklaşık 10.05 hektarlık, 2 nolu bölgede ise yaklaşık 36.55 hektarlık bir alan tamamen veya kısmen sular altında kalmıştır. Gölcük kıyısındaki bu derece büyük bir değişimin nedenlerinin araştırılması yönünde yapılan farklı bir çalışmada ise SPOT uydusu karma verileri ile aynı ölçekte veri detayına sahip olan 1976 yılındaki veriler temel alınarak üretilmiş 1/25.000 ölçekli standart topoğrafik haritadaki kıyı çizgisi 3. bir kıyı çizgisi olarak dijitalleştirilmiştir. Deprem öncesi, sonrası ve 1976 yılına ait olan kıyı çizgisinin birlikte verildiği Şekil 3.20 incelendiğinde, depremden sonra çöken 1 nolu alanın 1976 yılında deniz niteliğinde olduğu, dolayısı ile söz konusu alanın zaman içerisinde yer kazanılmak amacıyla doldurulmuş olduğu anlaşılmaktadır.



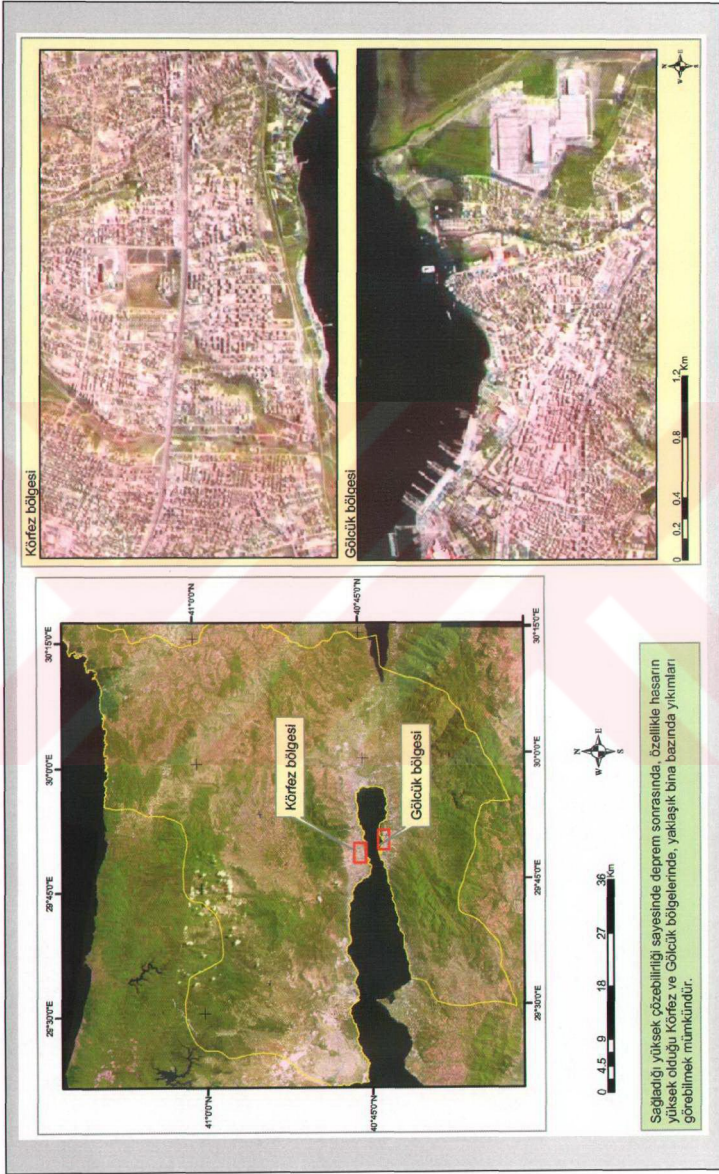
**Şekil 3.20:** Deprem öncesi, sonrası ve 1976 yılı kıyı çizgileri ve oluşan değişimler.

### 3.5 IRS verileri ile mevcut arazi örtüsü/arazi kullanımının haritalanması

5 m çözebilirliğe sahip olan IRS-1C PAN ve 23.5 m çözebilirliğe sahip çok spektrumlu LISS verileri, depremin hemen öncesi için temin edilememiştir. Bu nedenle sadece deprem sonrası için TÜBİTAK-MAM YDBAE arşivinde bulunan 27 Eylül 1999 tarihli IRS-PAN ve LISS-III verilerinden yararlanılmıştır. Bu veriler yüksek çözebilirliği sayesinde, hem diğer uydu verilerinden elde edilen sonuçların kontrolü, hem de il bazında çeşitli haritaların üretilmesi için altlık veri olarak kullanılmıştır. Daha önce ortalama 1.5 piksel doğrulukla geometrik olarak düzeltilen 5m çözebilirlikli PAN (siyah-beyaz) ve 23.5m çözebilirlikli LISS-III (renkli) birleştirilmiş görüntüsü Şekil 3.21’de verilmiştir. LANDSAT ve SPOT verileri ile yapılan değişim saptama analizlerinde dikkat çeken Gölcük ve Körfez bölgelerini IRS verileri ile yorumladığımızda yerleşim alanlarında oluşan hasarlar yaklaşık bina bazında görülebilmektedir. Örnek oluşturması açısından LANDSAT verilerinden elde edilen değişimler ile IRS verileri birlikte değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 3.22’deki harita gösterilmiştir.

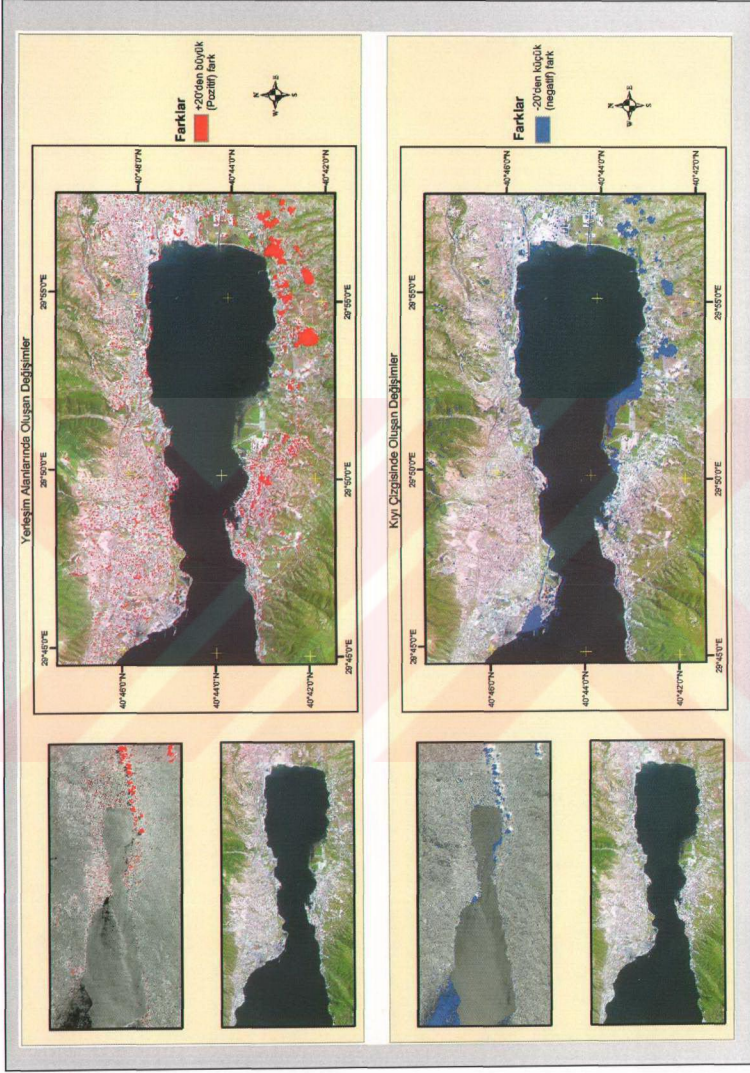
IRS verileri sadece deprem sonrasına ait olduğu için, LANDSAT-TM ve SPOT verileriyle yapılan değişim saptama analizleri yapılamamıştır. Fakat sağlamış olduğu yüksek çözebilirliği nedeniyle tüm il için üretilecek olan güncel arazi örtüsü/arazi kullanım haritası ile güncel yerleşim ve ulaşım durumu haritası için önemli bir veri kaynağı olmuştur.

Depremi hemen sonrası için temin edilen IRS verilerinin yanında, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü’nce doktora tezi araştırma projelerine verilen destekle, depremden 4 yıl sonra oluşan değişimlerin izlenmesi için yeni bir IRS-1C PAN verisi daha satın alınmıştır. 15 Ağustos 2003 tarihine ait olan bu veri özellikle deprem sonrasındaki yapılaşma durumunun belirlenmesi açısından oldukça yararlı olmuştur.



**Şekil 3.21:** Deprem sonrası 27.09.1999 tarihli IRS PAN ve LISS-III karma görüntüsü.



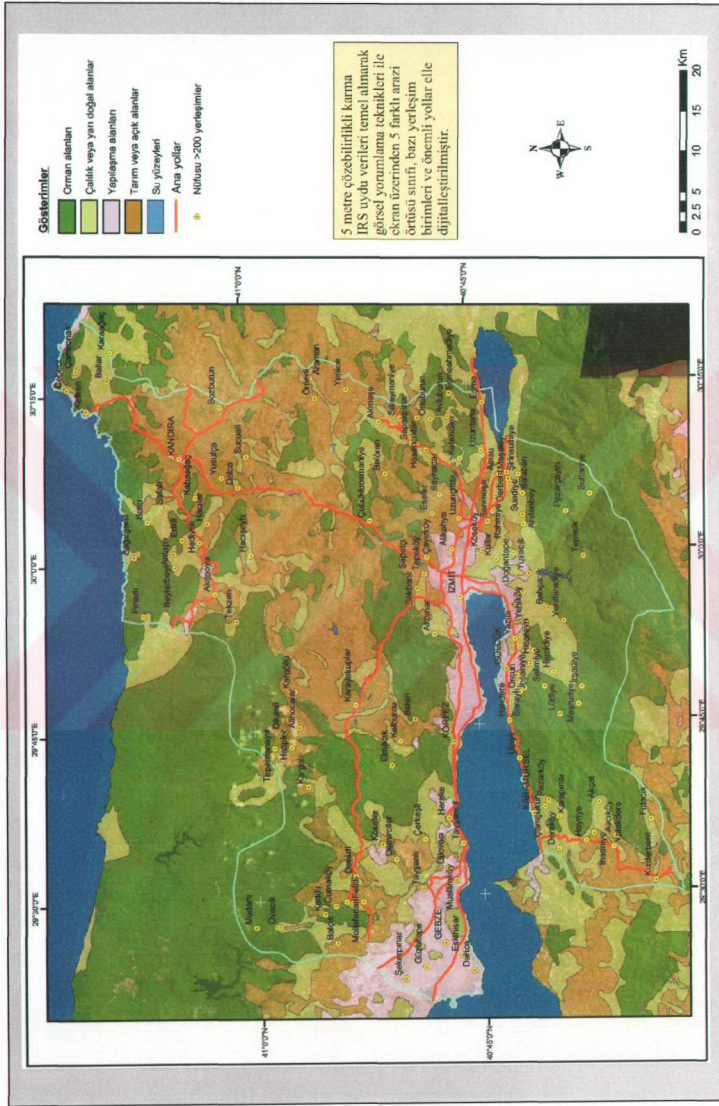


**Şekil 3.22:** LANDSAT-TM verilerinden elde edilen değişimlerin IRS verileri ile karşılaştırılması.



3. IRS görüntüsü üzerinde yukarıda ifade edilen sınıflar elle ekran üzerinden Kocaeli ili kapsamında dijitalleştirilerek güncel arazi örtüsü/arazi kullanımı haritası oluşturulmuştur.
4. Üretilen arazi örtüsü/arazi kullanımı haritası, köy bazında yerleşim birimleri ve ana ulaşım hatları ile birlikte Şekil 3.24'te verilmiştir.

Söz konusu haritanın oluşturulmasındaki ana amaç, ÇKKV yöntemi ile üretilecek olan yerleşime uygunluk haritasının, mevcut arazi örtüsü/arazi kullanımı haritası ile karşılaştırılmasını sağlamaktır. Böylece Kocaeli ilinde mevcut yerleşim alanlarının büyüklüğü ve bu alanların ne kadarının yerleşime uygun, ne kadarının yerleşime uygun olmayan alanlar üzerinde bulunduğu hesaplanabilecek ve haritalanabilecektir.



**Şekil 3.24:** IRS uyduları temel alınarak üretilen arazi örtü/alanı kullanımı, yerleşim birimleri ve ana ulaşım hatları.

### 3.6 Yersel verilerin CBS ortamında hazırlanması

#### 3.6.1 Dijital yükseklik modeli

Kocaeli ili için yapılacak analizlerde en önemli veri katmanlarından biri olan dijital yükseklik modeli hazırlanırken TÜBİTAK-MAM, YDBAE veri arşivinde bulunan **HGK (1976)**'ya ait dijital eş yükseklik eğrilerinden yararlanılmıştır. 1/25.000 ölçeğindeki detaya sahip olan dijital eş yükseklik eğrilerinden oluşturulan Kocaeli ili yükseklik haritası Şekil 3.25'te verilmiştir.



### 3.6.2 Jeolojik veriler

Jeolojik formasyonlara ilişkin veri katmanının oluşturulması için TÜBİTAK-MAM YDBE veri arşivinde mevcut 1/25.000 ölçekli MTA (1999)'a ait jeolojik veriler kullanılmıştır. Kocaeli Valiliği için deprem sonrasında yeni yerleşim alanlarının belirlenmesi amacı ile MTA'dan dijital olarak temin edilen bu veriler Kocaeli ilini örtecek şekilde toplam 42 adet 1/25.000 ölçekli paftadan oluşmaktadır. Tüm paftaların birleştirilmesi ile Kocaeli ili jeolojik formasyon haritası oluşturulmuştur. Toplam 62 farklı simge ile gösterilen söz konusu formasyonlar Tablo 3.7'de verilmiştir. Oldukça fazla sayıda jeolojik formasyonu içeren bu harita, 2 Eylül 1997 tarih ve 23098 sayılı resmi gazete ile yürürlüğe giren "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe" uygun olarak Tablo 3.8'de verilen bilgiler kapsamında, 4 sınıfa indirgenmiştir.

**Tablo 3.7:** Kocaeli ili jeolojik formasyonlar (MTA, 1999).

No	Simge	Sim_25	Formasyon	Litoloji	Zemin grubu
1	D13-Pzj-p	Pzgr	Sancaktepe	Granit	B
2	D2-j-2q-e	Pm	Pamukova	Granit	A
3	P2M1m	Pm	Pamukova	Granit	A
4	Pzclm	Pm	Pamukova	Metakırıntılılar	A
5	Pzga	Pm	Pamukova	Metabazik, Metagabro	A
6	Pzçm	Pm	Pamukova	Metakırıntılı	A
7	Q-21-k	Qal	Alüvyon	Güncel alüvyon	D
8	Q-22-k	Qal	Alüvyon	Eski alüvyon	C
9	Q-23-k	Qym		Yamaç molozu	C
10	Q-24-k	Qm	Maşukiye	Alüvyal yelpaze	C
11	Q-29-k	Qt		Traverten	C
12	C1-14-s	Cb	Baltalimanı	Çört	A
13	Cb-20-y	Ct	Trakya	Grovak	A
14	D1-d2-20-s	Dk	Kartal	Grovak-kireçtaşı	A
15	Dgca-17-sy	Di	İstinye	Nodüllü kireçtaşı	A
16	E1-10-s	Ts	Sarısu volkanikleri	Volkano sedimanter Kayalar	B
17	E1-19-sy	Ktat	Atbaşı	Kumtaşı, çamurtaşı	B
18	E1e2.V15.V13.V2.sy	Ts	Sarısu volkanikleri	Volkano sedimanter Kayalar	B
19	E6-10-s	Ts	Sarısu volkanikleri	Volkano sedimanter Kayalar	B

**Tablo 3.7:** Kocaeli ili jeolojik formasyonlar (MTA, 1999) (devamı).

20	j2klm1	İm	İznik metamorfikleri	Kireçtaşı blokları	A
21	j3klmr	İm	İznik Metamorfikleri	Kireçtaşı blokları	A
22	K2-10-sy		Üst kretase	Şile volkanitleri	B
23	K2-19-s	Kb	Bakacak	Kumtaşı, olistolit, kireçtaşı bloklu marn	B
24	K2dm	İm	İznik Metamorfikleri	Metakırıntı	A
25	K2-pn-8-s	*	Alikahya dolayı	Kireçtaşı	B
26	K2s-8-s	*	Cennetdere dolayı	Kireçtaşı	A
27	kl-1-s	Kt	Peksimet	Kumtaşı	B
28	kl-2-s	*	Eski İst. yolu dolayı	Çakıltaşı	A
29	kl-8-s	Kş	Şemseddin	Kireçtaşı	A
30	Klc-1-7-s	Kş	Şemseddin	Killi kireçtaşı	B
31	Klkm-7-sy	Kş	Şemseddin	Killi kireçtaşı	B
32	Km-V13-V2-sy	*	Kerpe-Kandıra	Andezit	A
33	Kme1-7-sy	Kş	Şemseddin	Killi kireçtaşı	B
34	Mnpl-18-k	Ta	Arslanbey	Tutturulmamış çakıltaşı-kumtaşı	C
35	o-1-ks	Oç, Oa	Çenedağ-Aydoz	Kuvarsarenit	A
36	o-19-k	Os, Ok	Sopalı, Kurtköy	Kumtaşı, çamurtaşı	A
37	of-Mz-Mz	Of	*	Ofiyolit	C
38	pl-18-k	Qm	Maşukiye	Çakıltaşı, kumtaşı	C
39	Pn2e1-10-ks	Ti	İncebel	Fliş	B
40	Pnc1-7-sy	Tki	Korucu	Killi kireçtaşı	B
41	pt-18-k		Hereke konglomerası	Çakıltaşı, kumtaşı	A
42	pt1-18-k		Hereke konglomerası	Çakıltaşı, kumtaşı	A
43	Ptmr	İm	İznik metamorfikleri	Mermer	A
44	Pti	İm	İznik metamorfikleri	Şist	A
45	s1-ks	Ok	Kurtköy	Kumtaşı	A
46	s1-2k	Ok	Kurtköy	Çakıltaşı	A
47	Sa-1-s	Ok	Kurtköy	Kumtaşı	A
48	Sa-20-s	Ok	Kurtköy	Kumtaşı, çamurtaşı	A
49	Sd-8-s		Devoniyen kçt	Kireçtaşı	A
50	t1-8-s		Triyas	Kireçtaşı	A
51	t1-V13-k		Triyas	Andezit	A
52	t1-V2-V13-V16-k		Triyas	Andezit	A
53	Ta-1-s		Triyas	Kumtaşı	A



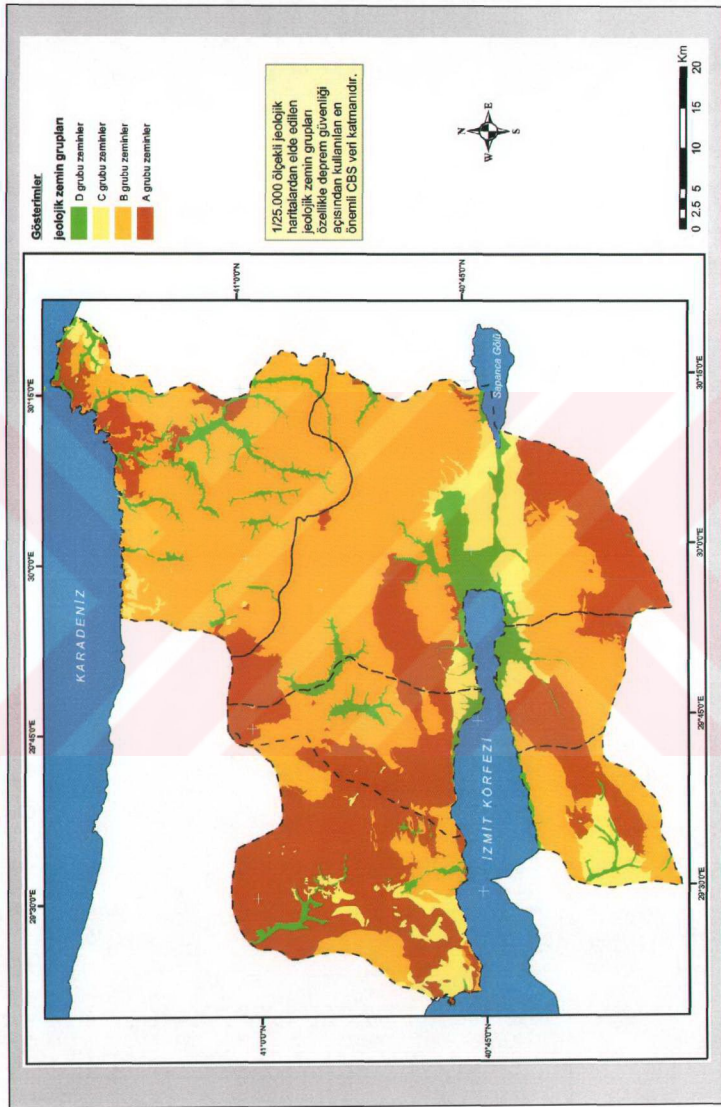
**Tablo 3.7:** Kocaeli ili jeolojik formasyonlar (MTA, 1999) (devamı).

54	Ta-8-s		Orta triyas	Kireçtaşı	A
55	Ta-V2-V13-k		Triyas	Andezit	A
56	Ta-tb-20-s		Triyas	Kumtaşı, kireçtaşı,	A
57	Tb-20-s		Triyas	Kumtaşı, kireçtaşı,	A
58	Tb-8-s		Triyas	Kireçtaşı	A
59	Td-19-s		Triyas	Kumtaşı	A
60	Td-2-s		Triyas	Yumru kireçtaşı	A
61	Td-3-s		Triyas	Çamurtaşı, şeyl	B
62	Ele2-19-sy	Ktak	Akveren Fm.	Kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı	B

**Tablo 3.8:** “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar” hakkındaki yönetmeliğe göre zemin gruplarının belirlenmesi ve tanımı.

Zemin Grubu	Zemin grubu tanımı
A	Masif volkanik kayalar ve ayrılmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar Çok sıkı kum, çakıl Sert kil ve siltli kil
B	Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrılmış çimentolu tortul kayalar Sıkı kum, çakıl Çok katı kil ve siltli kil
C	Yumuşak, süreksizlik düzlemleri bulunan, çok ayrılmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar Orta sıkı kum, çakıl Katı kil ve siltli kil
D	Yeraltı su düzeyinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları Gevşek kum Yumuşak kil, siltli kil

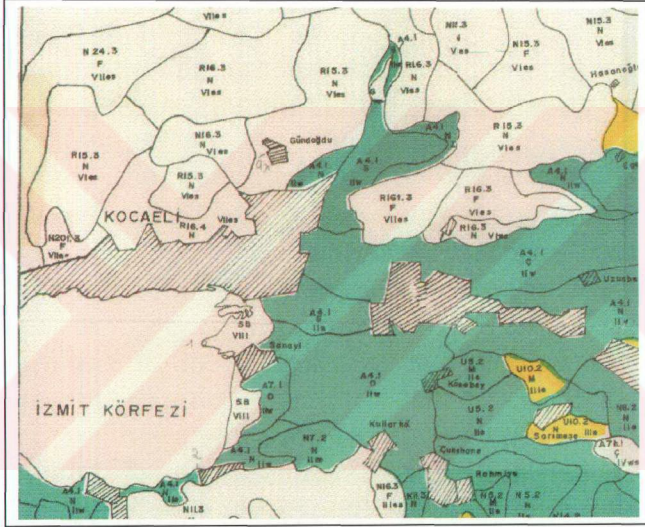
Dört sınıfa indirgenmiş olarak üretilen zemin grupları haritası Şekil 3.26'da verilmiştir.



Sekil 3.26: Kocaeli ili jeolojik zemin grupları.

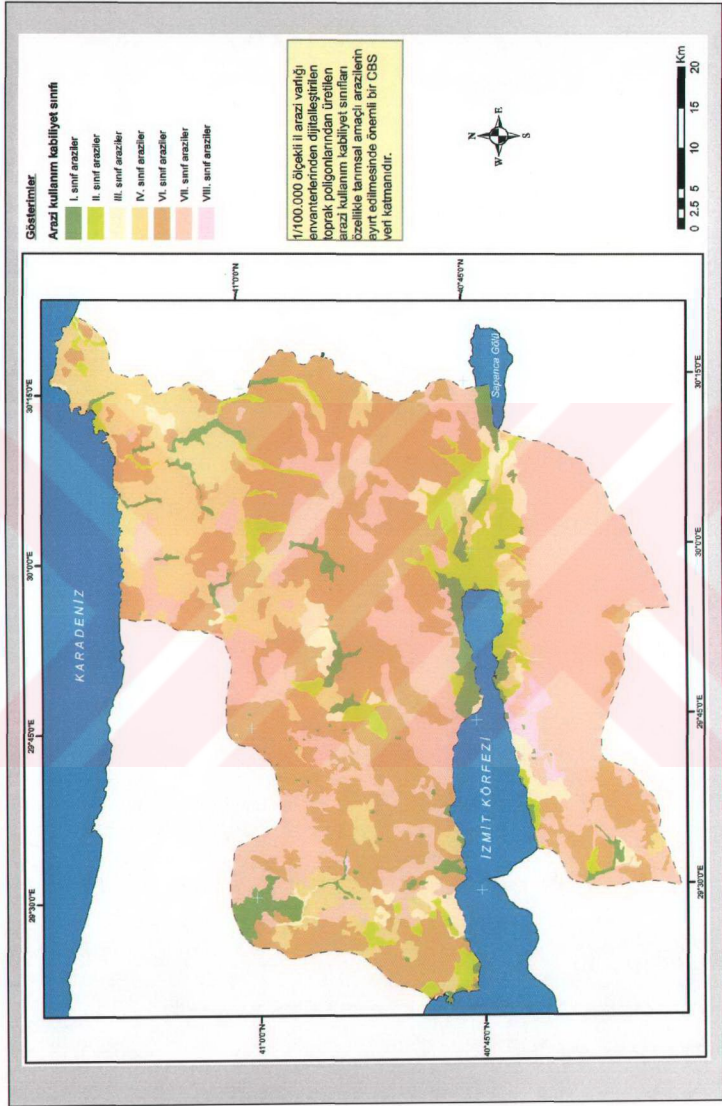
### 3.6.3 Toprak verileri

Kocaeli ili toprak bilgileri için **TOPRAKSU (1991)**'de verilen haritalardan yararlanılmıştır. Şekil 3.27'de örneği verilen 1/100.000 ölçekli haritalarda her bir toprak poligonu için "büyük toprak grubu", "toprak özellikleri kombinasyonu", "erozyon derecesi", "arazi kullanım kabiliyet sınıfları", "arazi kullanım şekli", "önemli tarım arazileri" ile birlikte "alt sınıf" bilgileri bulunmaktadır. Tez çalışması kapsamında tarımsal bazda detaylı bir çalışma amaçlanmadığı için sadece arazi kullanım kabiliyet sınıfları (AKKS) kullanılmıştır.



Şekil 3.27: 1/100.000 ölçekli toprak haritası örneği (TOPRAKSU, 1991).

Analog ortamda bulunan ve Kocaeli ili için iki parçadan oluşan 1/100.000 ölçekli toprak haritalarındaki toprak poligonları dijitalleştirilmiş ve belirlenen kontrol noktaları yardımıyla UTM projeksiyon sistemine dönüşümü yapılmıştır. Topolojinin oluşturulmasından sonra her bir poligon için arazi kullanım kabiliyet sınıfı (AKKS) öznelik değeri olarak veri tabanına girilmiştir. Kocaeli ili AKKS durumunu gösteren harita Şekil 3.28'de verilmiştir.



Şekil 3.28: Kocaeli ili arazi kullanım kabiliyet sınıfları.

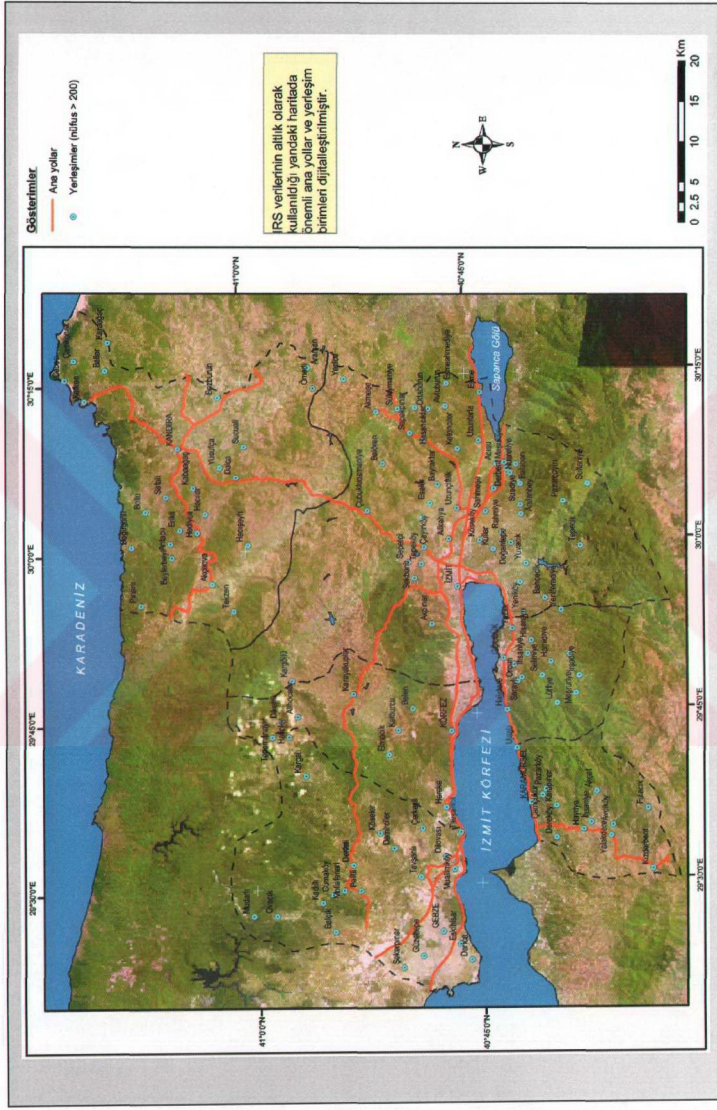
### 3.6.4 Ulaşım ve yerleşim durumuna ait veriler

Bir il yönetimi için güncel ve doğru ulaşım bilgisi çok önemlidir. Özellikle bir afet anında, afetzedelere kısa bir zamanda ulaşım gerekli yardımları zamanında sağlamak, ancak güncel ulaşım bilgisi ile olasıdır. IRS-1C/D verileri deprem sonrasında oluşan hasarların tespiti için önemli bir veri olmasının yanısıra, özellikle tüm il bazında oluşturulabilecek güncel ulaşım ve yerleşim durumu için de önemli bir veri kaynağıdır. 1/25.000 ölçekli bir haritanın sahip olduğu detayı içeren bu uydu verileri kullanılarak, mevcut arazi örtüsünü, arazi kullanımını, köy ve mahalle bazında yerleşim birimlerini ve yol durumunu güncel olarak haritalamak mümkündür. Nitekim Kocaeli Köy Hizmetleri İl Müdürlüğü'nden temin edilen 1/100.000 ölçekli Kocaeli il içi yol ve yerleşim birimleri haritası üzerindeki bilgiler temel alınarak, 5m çözebilirliğe örneklenmiş IRS verilerinden güncel yerleşim ve yol durumu dijitalleştirilmiştir.

Güncel yol ve yerleşimlere ait veri tabanının oluşturulmasında kullanılan **KHGM (1991)**'de, sırasıyla il ve ilçe sınırları; il, ilçe, bucak, köy ve mahalle merkezleri; demir yolları, devlet yolları, il yolları, asfalt, tesviye, stabilize ve ham yollar bulunmaktadır. Çalışma kapsamında sadece aşağıda verilen detaylar dijitalleştirilmiştir.

- İl ve ilçe sınırları
- İl, ilçe, bucak ve nüfusu >200 olan köy merkezleri
- Otoyol
- Devlet yolu
- İl yolu

Yukarıda verilen detaylar uydu görüntüsü üzerinden daha doğru ve hassas bir şekilde, mevcut harita da temel alınarak dijitalleştirilmiştir (Şekil 3.29).



Şekil 3.29: Kocaeli ili ana yollar ve yerleşim birimleri haritası.

### 3.7 Yer ivmesi haritasının üretilmesi

Tez kapsamında yerleşime uygun alan belirleme çalışmalarında kullanılmak üzere hazırlanması düşünülen en önemli veri katmanlarından birisi Kocaeli ili için yatay yer ivmesi değerleridir. Çünkü bir bölgedeki maksimum yer ivmesi, o bölgede yapılacak olan inşaat çalışmaları için gereken girdi parametrelerden birisidir. Marmara depremi için Afet İşleri Genel Müdürlüğü (AİGM), Deprem Araştırma Dairesi tarafından İzmit, Gebze ve Yarımca bölgesinde ölçülen ivme değerleri Tablo 3.9'da verilmiştir.

**Tablo 3.9:** Deprem sonrasında ölçülen ivme değerleri (Akkar ve Gülkan, 2002).

NO	Tarih	L (Gal)	T (Gal)	A <sub>H</sub> (Gal)	Alet Yeri	Alet konumu	
						Enlem (°)	Boylam (°)
1	17.08.1999	163.88	222.73	276.52	İZMIT	40°.790N	29°.960E
2	17.08.1999	264.17	140.56	299.24	GEBZE	40°.820N	29°.440E
3	17.08.1999	315.63	226.05	388.23	YARIMCA	40°.763N	29°.761E

L : Kuzey-Güney yönündeki en büyük yatay yer ivmesi.

T : Doğu-Batı yönündeki en büyük yatay yer ivmesi.

Gal : Yer ivmesi birimi "Yerin ivmesi  $g=980 \text{ cm/sn}^2$  (gal)"

Yatay yöndeki en büyük yer ivmesinin ana bileşeni,

$$A_H = \sqrt{L^2 + T^2} \quad (3.3)$$

dir.

Tablo 3.9'da verilen ivme ölçüm değerleri sadece ivme ölçer bulunan bölgeler için belirleyici olacağından Kocaeli ili bazında yapılacak çalışmalar için yeterli değildir. Bu nedenle, en büyük yatay yer ivmesi, deprem odağına uzaklık, jeoloji ve zemin koşulları arasındaki ilişkiyi tanımlayan ve deneysel ölçümlerden yararlanılarak **Campbell (1997)** tarafından geliştirilen model kapsamında (3.4) formülü tüm il bazında en büyük yatay yer ivmesi durumu modellenmiştir. Modelin oluşturulması sırasında teknik terimlerle ilgili olarak sismoloji konusunda uzman TÜBİTAK MAM

Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü araştırmacılarından Doç.Dr. Serdar Özalaybey ve M. Cengiz Tapırdamaz'ın görüşlerinden yararlanılmıştır.

$$\ln(A_H) = -3.512 + 0.904M - 1.328 \ln \sqrt{R_{SEIS}^2 + [0.149 \exp(0.647M)]^2} + [1.125 - 0.112 \ln(R_{SEIS}) - 0.0957M]F + [0.440 - 0.171 \ln(R_{SEIS})]S_{SR} + [0.405 - 0.222 \ln(R_{SEIS})]S_{HR} + \varepsilon \quad (3.4)$$

Burada,

**A<sub>H</sub>** : En büyük yatay yer ivmesi değeri.

**M** : Depremi moment büyüklüğü.

**R<sub>SEIS</sub>** : Deprem odağına olan uzaklık (km). Söz konusu uzaklık hipotenüs olduğu için faya dik uzaklık ile depremin derinliğinin (Kocaeli depremi için ~17km) kareleri toplamının kareköküdür.

**F** : Faylanmanın türünü temsil eden bir sabit (yanal atımlı faylar için F=0, ters faylar için F=1 alınır).

**S<sub>SR</sub>, S<sub>HR</sub>** : Yerel zemin koşullarını temsil eden sabitlerdir. Alüvyon veya sert toprak türünde zeminler için S<sub>SR</sub>= S<sub>HR</sub>=0, zayıf kayaç türünde zeminler için S<sub>SR</sub>= 1, S<sub>HR</sub>=0, sağlam kayaç türünde zeminler için S<sub>SR</sub>= 0, S<sub>HR</sub>=1 değerleri kullanılmaktadır.

**ε** : Standart sapma.

KAF yanal atımlı bir fay olduğu için bağıntıda F=0 alınırsa,

$$\ln(A_H) = -3.512 + 0.904M - 1.328 \ln \sqrt{R_{SEIS}^2 + [0.149 \exp(0.647M)]^2} + [0.440 - 0.171 \ln(R_{SEIS})]S_{SR} + [0.405 - 0.222 \ln(R_{SEIS})]S_{HR} + \varepsilon \quad (3.5)$$

olur (Campbell, 1997).

Yukarıda verilen (3.5) ifadesindeki S<sub>SR</sub>, S<sub>HR</sub> değerleri, MTA'dan temin edilen 1/25.000 ölçekli jeoloji haritalarındaki formasyonların Tablo 3.7'de A, B, C, D olmak üzere 4 farklı zemin sınıfına indirgenmesinden sonra belirlenmiştir. Buna göre alüvyon ve sert toprak olarak değerlendirilen D grubundaki zeminler için S<sub>SR</sub>= S<sub>HR</sub>=0, zayıf kayaç olarak değerlendirilen B ve C grubundaki zeminler için S<sub>SR</sub>= 1, S<sub>HR</sub>=0, sağlam kayaç olarak değerlendirilen A grubundaki zeminler için S<sub>SR</sub>= 0, S<sub>HR</sub>=1 alınmıştır. Sonuçta 17 Ağustos 1999 tarihinde 7.4 büyüklüğünde meydana gelen Gölcük merkezli depremin yarattığı en büyük yatay yer ivmesi A<sub>H</sub>, tüm Kocaeli ili bazında hesaplanmış olup, üretilen yer ivmesi modeli haritası Şekil



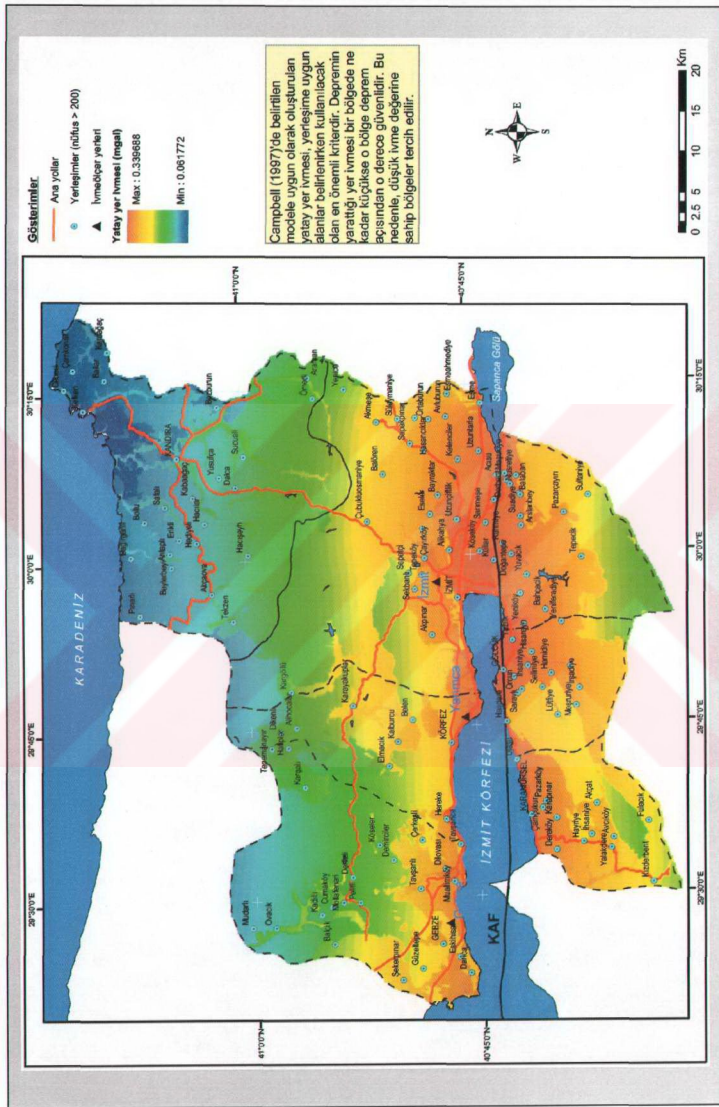
3.30'da verilmiştir. Modele uygun olarak elde edilen yatay yer ivmesi değerlerinin doğruluğunun kontrol edilmesi için bölgede deprem sırasında ölçülmüş ve daha önce Tablo 3.9'da verilen aletsel ivme değerleri kullanılmıştır. Kocaeli il sınırları içerisindeki Afet İşleri Genel Müdürlüğü'ne ait istasyonlardan elde edilen aletsel ölçüm değerleri ile, hesaplanan değerlerin karşılaştırılması yapılmış elde edilen sonuçlar ve farklar Tablo 3.10'da özetlenmiştir.

**Tablo 3.10:** Ölçülen ve **Campbell (1997)**'e göre hesaplanan yer ivmesi değerleri arasındaki farklar.

Yer	Ölçülen değer (mgal)	Hesaplanan değer (mgal)	Fark (mgal)
İZMİT	0.2765	0.2928	0.0163
GEBZE	0.2992	0.3045	0.0049
YARIMCA	0.3882	0.3339	0.0543

Tablo 3.10'daki ölçülen değerlerle, hesaplanan değerler karşılaştırıldığında farkların çok önemli boyutlarda olmadığı konu uzmanı kişiler tarafından belirtilmiştir.

Şekil 3.30'da verilen yatay yer ivmesi haritası, ÇKKV yöntemi ile deprem esas alınarak yapılacak olan yerleşime uygunluk analizi için en önemli kriter haritasıdır.



### 3.8 Deprem sonrası yerleşime uygun yeni alanların belirlenmesi

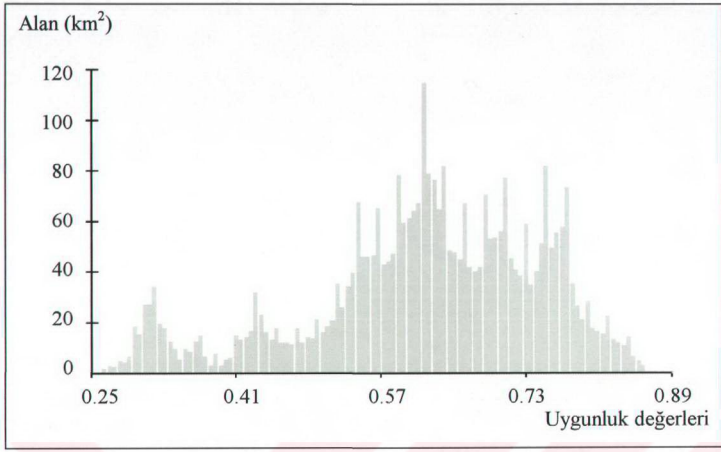
Uydu ve yersel verilerin entegrasyonu ile, özellikle deprem sonrasında önemli gereksinimlerden biri olan yerleşime uygun yeni alanların belirlenmesi için yöntemler geliştirilmesi, tez çalışmasının temel hedefleri arasındadır. 17 Ağustos 1999 depreminin sonrasında sadece Kocaeli ilinde on binlere varan can ve mal kaybının en önemli nedenleri arasında, yerleşime uygun alanların belirlenmesinde bazı kriterlerin gözardı edilmiş olması ve çağdaş teknolojilerin yeterince kullanılmamış olması sayılabilir. Aşağıda, yerleşime uygun alanların ÇKKV yöntemi ile belirlenmesinde, mevcut veri olanaklarından yararlanılarak deprem öncesi veya sonrası için kullanılacak bir yöntem ortaya konmuştur.

CBS'nin yeteneklerinin kullanıldığı bu yöntem kapsamında, izlenen adımlar ve elde edilen sonuçlar Şekil 3.31'de özetlenmiş olup detaylar aşağıda açıklanmıştır.

- İlk olarak, yerleşime uygunluk analizi için önemli olan kriter haritaları üretilmiştir. Bu kapsamda, uzaktan algılama ve CBS teknolojilerinin sunduğu olanaklar ile önceki bölümlerde sözü edilen ve üretilen dijital yükseklik modeli, jeolojik yapı, ulaşım ve yerleşim durumu, deformasyon durumu, toprak yapısı ana verileri girdi olarak kullanılmıştır. Bu girdilerden yararlanılarak, eğim durumu, yer ivmesi durumu, ulaşım ağına yakınlık durumu, yerleşim birimlerine yakınlık durumu, toprak durumu ve deformasyon durumundan oluşan toplam 6 adet kriter haritası üretilmiştir. Şekil 3.31'de *Hk* ile ifade edilen kriter haritaları dışında, temin edilebildiği takdirde önemli sayılabilecek farklı kriter haritalarını da kullanmak olasıdır.

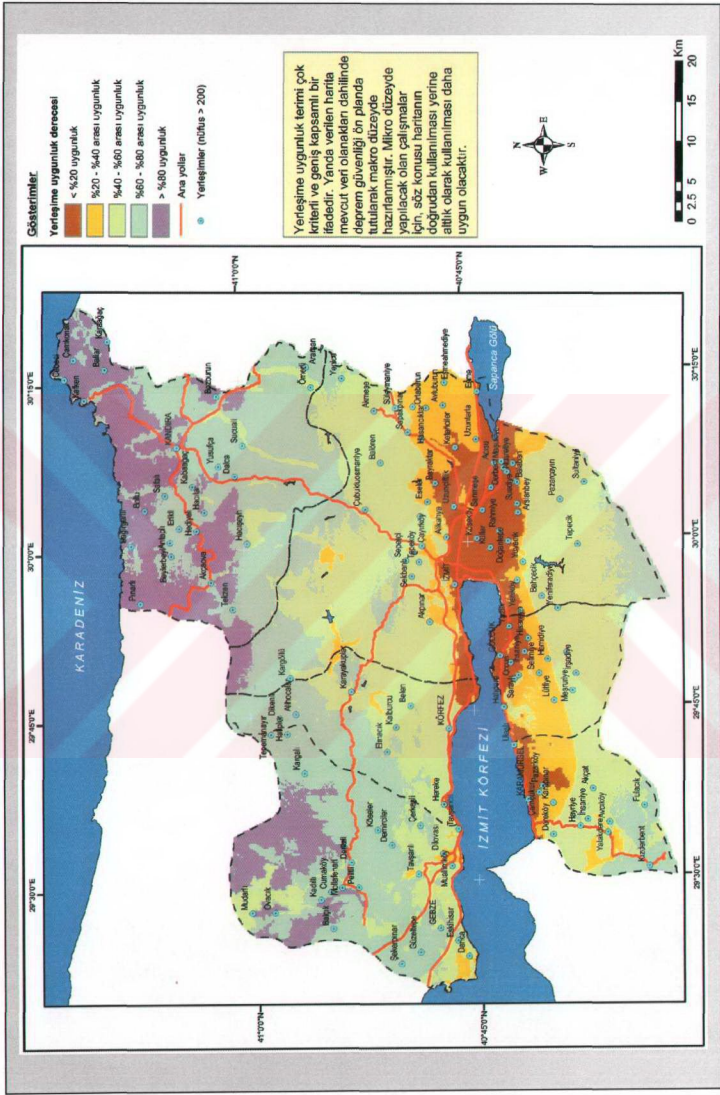


- Her biri farklı birim değer aralıklarına sahip olan kriter haritalarının ortak bir birim ve değer aralığında ifade edilmesi gerekmektedir. Standartlaştırma adı verilen bu işlem için doğrusal ölçek dönüşümü (linear scale transformation) ve değer/fayda fonksiyon yaklaşım (value/utility function approach) yöntemleri olmak üzere iki farklı yöntem kullanılabilir. Çalışmada kullanılan doğrusal ölçek dönüşüm yöntemi sonucunda tüm veriler 0 ile 1 arasındaki değerlere dönüştürülerek standartlaştırılmıştır. Standartlaştırılmış kriter haritaları  $Hkst$  ile gösterilmiştir (Şekil 3.31). Standartlaştırılmış kriter haritalarında 0 değerine sahip olan bölgeler yerleşime uygunluk açısından en kötü yeri (kriter uygunluk yüzdesi = 0), 1 değerine sahip olan bölgeler ise en iyi yeri (kriter uygunluk yüzdesi = 100) temsil etmektedir. Analizler kapsamında üretilen tüm kriter haritaları Ek-B’de verilmiştir.
- Standartlaştırılmış kriter haritalarının üretilmesinden sonra bu haritalar yerleşime uygunluk açısından önem derecelerine göre sıralanmıştır. Bu işlemin yapılmasının en önemli nedeni yerleşime uygunluk açısından her bir kriter haritasının ağırlığının belirlenmesidir.  $N$ , toplam kriter haritalarının sayısı,  $R_i$  kriter haritasının önem sırası ise, bu kriter haritasının ağırlığı  $W_i = N - R_i + 1$  formülü ile hesaplanır. 1 ile 6 arasındaki değerlere sahip olan ağırlıklar kriter haritalarında olduğu gibi doğrusal ölçek dönüşüm yöntemi ile standartlaştırılmıştır.  $W_i$  toplam ağırlıksa, 0-1 aralığındaki değerlere sahip olan standartlaştırılmış ağırlıklar  $Wst = W_i / W_i$  formülü ile hesaplanır. Yerleşime uygunluk analizinde önem sıralaması tamamen karar vericinin tercihleri doğrultusunda olduğu için, yer ivmesi 1. öneme sahip kriter, deformasyon durumu 2. öneme sahip kriter, toprak durumu 3. öneme sahip kriter, eğim durumu 4. öneme sahip kriter, ulaşım yakınlık 5. öneme sahip kriter, yerleşime yakınlık ise 6. öneme sahip kriter olarak değerlendirilmiştir. Hesaplanan standartlaştırılmış ağırlıklar Şekil 3.31’de verilmiştir.
- Karar verme kuralı olarak, “basit ağırlıklı toplama yöntemi” kullanılmıştır. Bu işlemden sonra potansiyel olarak yerleşime uygunluğu gösteren sonuç harita elde edilmiş olur. Sonuç haritada yüksek değerlere sahip olan alanların yerleşime uygunluğu da o derece yüksektir. Belli değer aralığına sahip olan sonuç potansiyel yerleşime uygunluğun değer dağılımını gösteren histogram Şekil 3.32’de verilmiştir.



**Şekil 3.32:** Potansiyel yerleşime uygunluğun değer dağılımına ait histogram.

Çok kriterli karar verme analizi kapsamında üretilen potansiyel olarak yerleşime uygunluk haritası, standartlaştırıldıktan sonra 5 eşit sınıfa ayrılarak yol ve yerleşim birimleri ile birlikte Şekil 3.33’de verilmiştir. Bu haritanın Kocaeli ilçeleri bazında değerlendirmesi sonucunda elde edilen alansal bilgiler Tablo 3.11’de verilmiştir.



**Şekil 3.33:** Deprem açısından çok kriterli karar verme analizi ile üretilen potansiyel yerleşime uygunluk haritası.

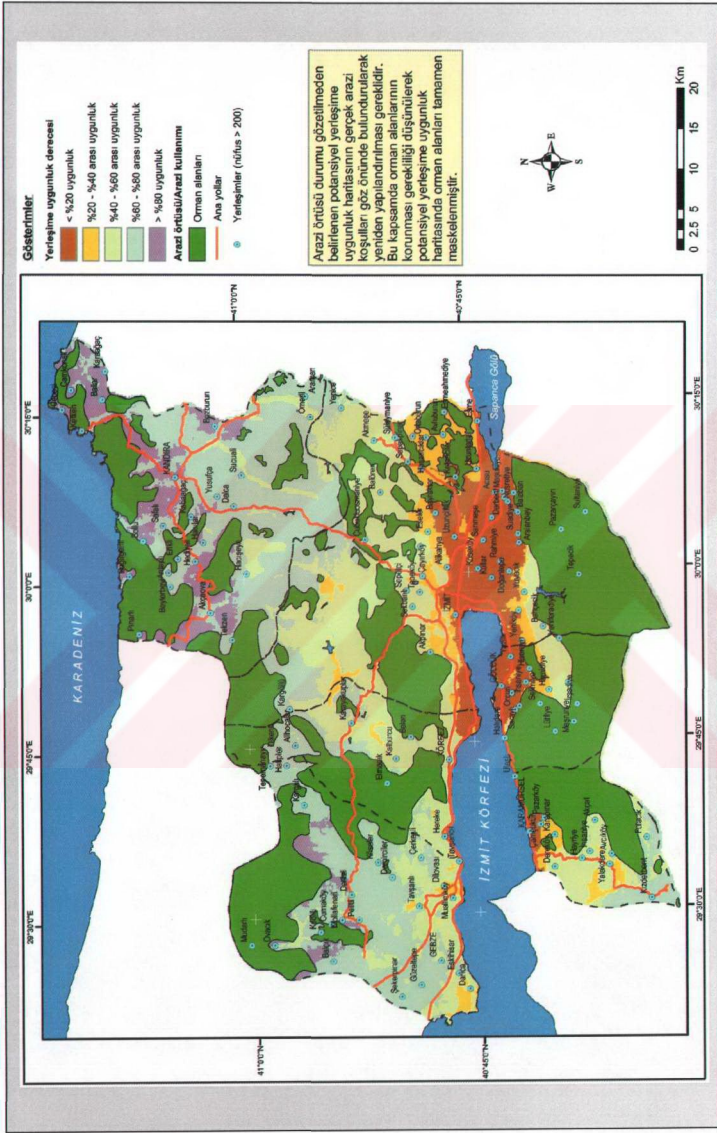
**Tablo 3.11: İlçe bazında potansiyel yerleşime uygunluk alan dağılımları.**

Oran aralığı (%)	KARAMÜRSEL		GÖLCÜK		İZMİT		KANDIRA		KÖRFEZ		GEBZE		TOPLAM (ha)	%
	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%		
0-20	2319,3	9,5	3432,9	15,2	19342,8	16,0	0,0	0,0	934,3	2,9	4,3	0,0	26033,6	7,6
20-40	5049,8	20,7	5902,6	26,1	17259,4	14,3	0,0	0,0	804,2	2,5	1783,1	2,9	30799,1	9,0
40-60	11641,0	47,7	13021,5	57,5	63520,7	52,6	5046,8	6,1	16334,5	50,9	13414,9	22,1	122979,4	35,8
60-80	5376,6	22,0	285,4	1,3	19254,2	15,9	47592,2	57,6	14025,0	43,7	34129,2	56,2	120662,5	35,1
80-100	0,0	0,0	0,0	0,0	1434,1	1,2	29976,7	36,3	14,9	0,0	11398,7	18,8	42824,4	12,5
<b>TOPLAM</b>	<b>24386,6</b>	<b>100,0</b>	<b>22642,4</b>	<b>100,0</b>	<b>120811,2</b>	<b>100,0</b>	<b>82615,8</b>	<b>100,0</b>	<b>32112,9</b>	<b>100,0</b>	<b>60730,2</b>	<b>100,0</b>	<b>343299,0</b>	<b>100,0</b>



Buna göre, yerleşime uygunluk açısından en uygun alana (>%80) sahip ilçe 29976.7 ha ile Kandıra'dır. Bu ilçeyi 11398.7 ha ile Gebze ilçesi ve 1434.1 ha ile İzmit merkez ilçesi izlemektedir. Yapılan analiz sonucunda Gölcük ve Karamürsel ilçeleri için >%80 yerleşim uygunluğuna sahip bir alanın olmadığı görülmüştür. Diğer taraftan 3432.9 ha ile Gölcük ilçesinin %15.2'si, 19342.8 ha ile İzmit merkez ilçesinin %16'sı, 2319.3 ha ile Karamürsel ilçesinin %9.5'i ve 934.3 ha ile Körfez ilçesinin %2.9'u yerleşime uygunluk açısından <%20 değere sahiptir. Kandıra ilçesinin tamamı, yerleşime uygunluk açısından >%40 değere sahiptir.

Orman alanlarının yerleşime uygun olmayacağı göz önünde bulundurulursa bu alanların maskelenmesi ile gerçek anlamda yerleşime uygunluk haritası elde edilebilir. Orman alanlarının, potansiyel yerleşime uygunluk haritası üzerine çakıştırılması sonucunda elde edilen yerleşime uygunluk haritası Şekil 3.34'te verilmiştir.



**Şekil 3.34:** Deprem açısından çok kriterli karar verme analizi ile üretilen yerleşime uygunluk haritası (Orman alanları hariç).

### 3.9 Mevcut arazi kullanımı ile yerleşime uygunluğun karşılaştırılması

IRS verileriyle üretilen güncel arazi örtüsü/arazi kullanımı haritası ile yerleşime uygunluk haritasının karşılaştırılması sonucunda elde edilen sonuçlar ilçe bazında Tablo 3.12'de verilmiştir.

**Tablo 3.12:** İlçe bazında arazi örtüsü/arazi kullanımı ile yerleşime uygunluk dağılımının karşılaştırılması

İLÇE	Arazi örtüsü / Arazi kullanımı	Yerleşime uygunluk derecesi (%)										TOPLAM	
		0-20		20-40		40-60		60-80		80-100		Alan (ha)	%
		Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%	Alan (ha)	%		
KARAMÜRSEL	Orman alanları	1469.0	12.7	2941.3	25.4	5467.8	47.2	1709.8	14.8	0.0	0.0	11587.9	47.7
	Çalılık yarı doğal alanlar	555.7	8.3	1661.7	24.9	3304.9	49.5	1149.6	17.2	0.0	0.0	6671.8	27.5
	Yapılaşma alanları	282.8	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	282.8	1.2
	Tarım alanları ve açık alanlar	0.0	0.0	426.6	7.4	2769.7	48.2	2553.9	44.4	0.0	0.0	5750.2	23.7
	<b>TOPLAM</b>	<b>2307.4</b>	<b>9.5</b>	<b>5029.6</b>	<b>20.7</b>	<b>11542.3</b>	<b>47.5</b>	<b>5413.3</b>	<b>22.3</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>24292.6</b>	<b>100.0</b>
GÖLCÜK	Orman alanları	387.5	2.4	5063.2	31.5	10320.1	64.2	299.8	1.9	0.0	0.0	16070.6	71.3
	Çalılık yarı doğal alanlar	1656.3	33.0	651.3	13.0	2713.5	54.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5021.1	22.3
	Yapılaşma alanları	1356.5	92.9	95.5	6.5	7.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1459.4	6.5
	Tarım alanları ve açık alanlar	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	<b>TOPLAM</b>	<b>3400.2</b>	<b>15.1</b>	<b>5810.0</b>	<b>25.8</b>	<b>13041.1</b>	<b>57.8</b>	<b>299.8</b>	<b>1.3</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>22551.1</b>	<b>100.0</b>
İZMİT	Orman alanları	485.3	1.0	6352.9	12.6	30953.4	61.5	11077.3	22.0	1464.6	2.9	50333.5	41.9
	Çalılık yarı doğal alanlar	8265.9	36.0	4936.3	21.5	8355.2	36.4	1380.6	6.0	0.0	0.0	22938.0	19.1
	Yapılaşma alanları	6374.8	61.4	2249.9	21.7	1749.8	16.9	0.0	0.0	0.0	0.0	10374.5	8.6
	Tarım alanları ve açık alanlar	4099.5	11.3	3274.1	9.0	21449.8	59.0	7547.2	20.8	0.0	0.0	36370.6	30.3
	<b>TOPLAM</b>	<b>19225.4</b>	<b>16.0</b>	<b>16813.3</b>	<b>14.0</b>	<b>62508.2</b>	<b>52.1</b>	<b>20005.1</b>	<b>16.7</b>	<b>1464.6</b>	<b>1.2</b>	<b>120016.6</b>	<b>100.0</b>

**Tablo 3.12:** İlçe bazında arazi örtüsü/arazi kullanımı ile yerleşime uygunluk dağılımının karşılaştırılması (devamı).

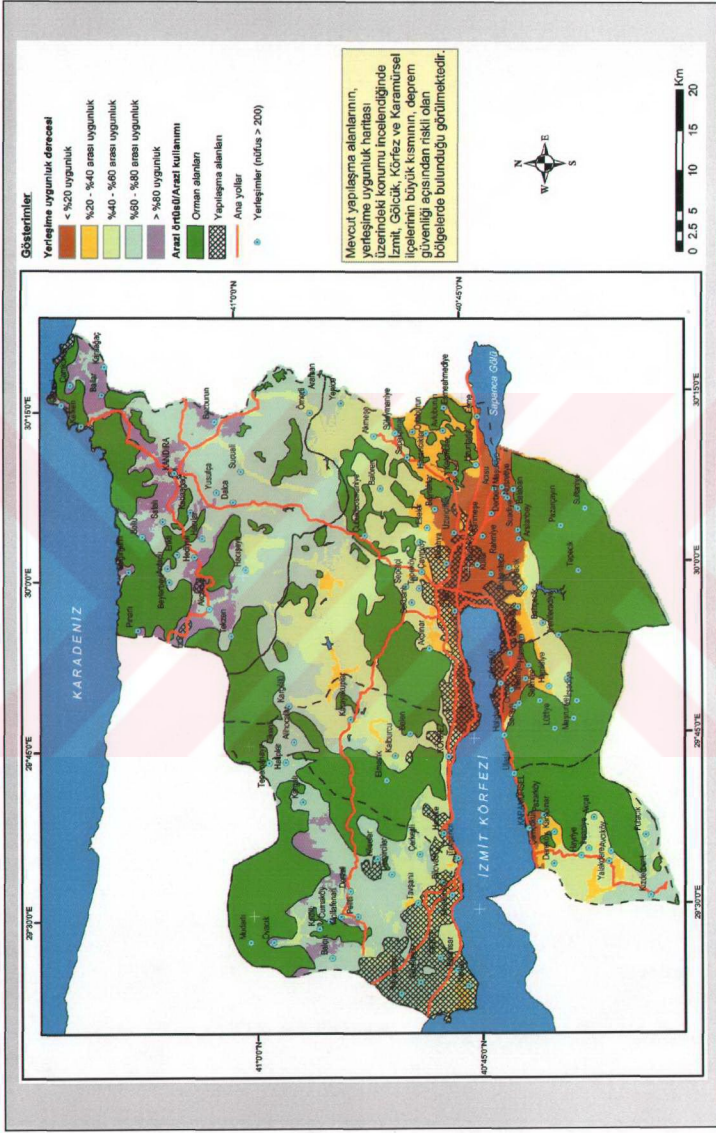
KANDIRA	Orman alanları	0.0	0.0	0.0	0.0	437.0	1.7	8754.1	33.5	16956.3	64.8	26147.3	31.8
	Çalılık yarı doğal alanlar	0.0	0.0	0.0	0.0	825.8	4.7	10173.2	58.4	6415.8	36.8	17414.8	21.2
	Yapılaşma alanları	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	273.6	19.8	1109.1	80.2	1382.7	1.7
	Tarım alanları ve açık alanlar	0.0	0.0	0.0	0.0	3615.0	9.7	27435.0	73.6	6208.7	16.7	37258.7	45.3
	<b>TOPLAM</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>0.0</b>	<b>4877.8</b>	<b>5.9</b>	<b>46635.8</b>	<b>56.7</b>	<b>30689.9</b>	<b>37.3</b>	<b>82203.6</b>	<b>100.0</b>
KÖRFEZ	Orman alanları	0.0	0.0	5.0	0.0	5358.4	35.4	9753.4	64.5	14.7	0.1	15131.5	47.4
	Çalılık yarı doğal alanlar	0.0	0.0	174.9	3.4	3964.2	76.0	1076.4	20.6	0.0	0.0	5215.5	16.3
	Yapılaşma alanları	925.4	30.9	165.8	5.5	1818.0	60.6	90.1	3.0	0.0	0.0	2999.3	9.4
	Tarım alanları ve açık alanlar	0.0	0.0	417.2	4.8	4816.7	56.0	3370.3	39.2	0.0	0.0	8604.3	26.9
	<b>TOPLAM</b>	<b>925.4</b>	<b>2.9</b>	<b>762.9</b>	<b>2.4</b>	<b>15957.4</b>	<b>49.9</b>	<b>14290.2</b>	<b>44.7</b>	<b>14.7</b>	<b>0.0</b>	<b>31950.5</b>	<b>100.0</b>
GEBZE	Orman alanları	0.0	0.0	0.0	0.0	2678.2	13.0	8551.4	41.4	9430.5	45.6	20660.1	34.2
	Çalılık yarı doğal alanlar	0.0	0.0	132.0	1.0	2330.2	17.6	9001.7	67.8	1804.6	13.6	13268.5	21.9
	Yapılaşma alanları	4.2	0.0	1494.4	10.5	5605.6	39.6	7062.2	49.9	0.0	0.0	14166.4	23.4
	Tarım alanları ve açık alanlar	0.0	0.0	91.5	0.7	2417.3	19.5	8942.1	72.3	925.4	7.5	12376.4	20.5
	<b>TOPLAM</b>	<b>4.2</b>	<b>0.0</b>	<b>1717.9</b>	<b>2.8</b>	<b>13031.3</b>	<b>21.5</b>	<b>33557.5</b>	<b>55.5</b>	<b>12160.4</b>	<b>20.1</b>	<b>60471.4</b>	<b>100.0</b>

Buna göre, tüm il bazında, mevcut yerleşimin de içerisinde bulunduğu yapılaşma alanlarının, Karamürsel ilçesi için 2828 ha ile %100'ü, Gölcük ilçesi için 1356.5 ha ile %92.9'u, İzmit merkez ilçesi için 6374.8 ha ile %61.4'ü, Körfez ilçesi için 925.4 ha ile %30.9'u, yerleşime uygunluk açısından düşük bir değere sahip %20'den küçük bölgede bulunduğu saptanmıştır. Dolayısıyla Gölcük, İzmit, Körfez ve Karamürsel ilçelerindeki mevcut yerleşimin deprem açısından düşük yüzdeye sahip bölgelerde bulunması, belkide deprem sonrası yaşanan mal ve can kaybının en önemli nedenlerinden biri olmuştur. Gebze ilçesindeki yerleşimin %49.9'unun yerleşime

uygunluk açısından yüksek sayılabilecek %40-%60 aralığındaki bölgede, Kandıra ilçesindeki yerleşimin %80'i yerleşime uygunluk açısından en yüksek değere sahip %80-%100 aralığındaki bölgede olduğu görülmektedir. Nitekim, depremin neden olduğu hasarlarla ilgili raporlar incelendiğinde Gebze ve Kandıra ilçelerinde meydana gelen hasarların çok az olması yukarıda verilen sonuçları doğrulamaktadır. Mevcut yapılaşma alanlarının deprem açısından yerleşime uygunluk haritası üzerinde gösterildiği Şekil 3.35 incelendiğinde, yerleşim kriteri olarak depremin göz önünde bulundurulmadığı anlaşılmaktadır.

Daha önce uydu verileri ile yapılan hasar tespit çalışmaları sonucunda elde edilen haritaları yerleşime uygunluk haritası ile birlikte değerlendirdiğimizde hasarın yoğun olduğu bölgelerin yerleşime uygunluk açısından en düşük değere sahip bölge üzerinde bulunması önemli sonuçlardan bir tanesidir.

Tablo 3.12'de verilen arazi örtüsü/arazi kullanımına su yüzeyleri dahil edilmediği için ilçelerin toplam alan miktarları ile Tablo 3.11'de verilen alan miktarları arasında küçük farklar bulunmaktadır.



**Şekil 3.35:** Mevcut yapılaşma alanlarının deprem açısından yerleşime uygunluk haritası üzerindeki konumu.

### 3.10 Deprem sonrası yapılan konut alanlarının yerleşime uygunluk haritası ile karşılaştırılması

Deprem sonrasında yıkılan binlerce konutun yerine yenilerinin yapılması, zorunlu barınma gereksinimi için gereklidir. Bu nedenle deprem sonrasında hızlı bir şekilde kalıcı konut yapımına başlanmış ve çok kısa bir zamanda tamamlanmıştır. Kocaeli ilinde yapılan kalıcı konutların hangi bölgelerde yapıldığının belirlenmesi için 5m çözebilirliğe örneklenmiş IRS verilerinden yararlanılmıştır. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nün vermiş olduğu destek kapsamında, 15 Ağustos 2003 tarihli ve Kocaeli ilini kısmen örten, bulutsuz IRS-1D PAN görüntüsü temin edilmiştir. Bu görüntü kullanılarak deprem sonrasında yapılan konut yerlerinin haritalanması için yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

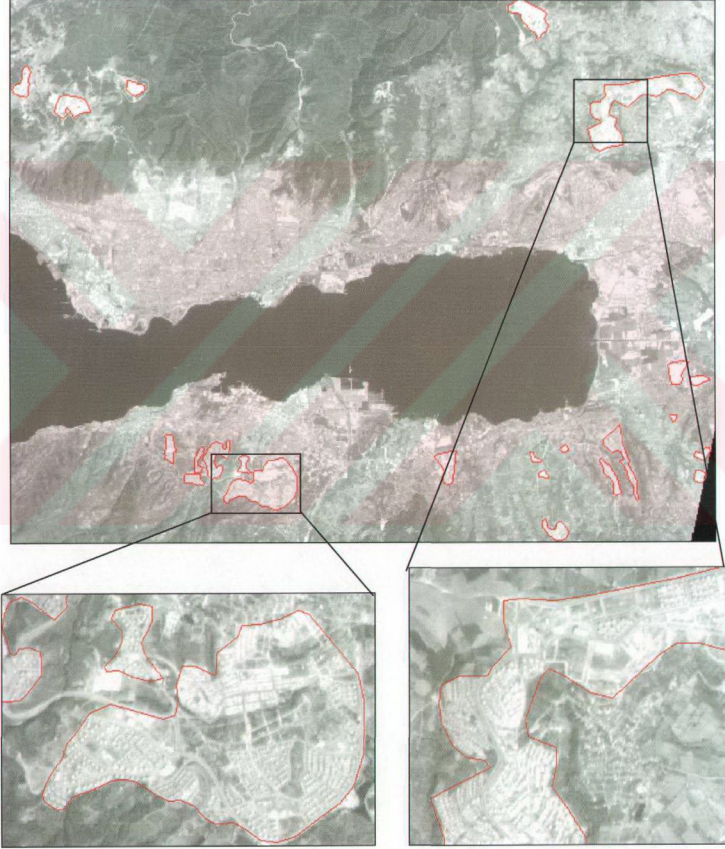
1. Öncelikle depremin hemen sonrasında temin edilen IRS verileri baz alınarak, görüntüden görüntüye (image to image) geometrik düzeltme yapılmıştır. Dr. Thierry Toutin tarafından geliştirilen uydu yörünge modeline göre düzeltilen görüntüye ait geometrik düzeltme doğrulukları piksel biriminde Tablo 3.13'te verilmiştir.

**Tablo 3.13:** Ağustos 2003 tarihli IRS-1D PAN verisi geometrik düzeltme doğruluğu.

GCP No	Ximg	Yimg	Xutm	Yutm	Yük-seklik (m)	Xres	Yres	Res
G0001	1579.38	9179.38	733971.3	4514332.5	0	-0.23	0.21	0.31
G0003	2083.25	14037.88	732577.5	4489960.0	0	0.15	-0.29	0.33
G0004	2470.00	598.00	745245.0	4555960.0	90	-0.07	0.01	0.07
G0005	4944.00	243.50	757725.0	4555740.0	33	-0.16	-0.27	0.31
G0006	4678.38	10699.25	748060.0	4504357.5	593	-0.24	0.28	0.37
G0007	1876.50	2315.00	740945.0	4547962.5	200	0.01	0.00	0.01
G0009	1257.00	6821.38	734280.0	4526223.8	243	0.22	0.21	0.30
G0010	4472.50	6419.63	750462.5	4525640.0	343	-0.07	0.04	0.08
G0011	1517.00	4446.50	737462.5	4537735.0	185	0.05	-0.30	0.30
G0012	925.50	11870.50	728620.0	4501580.0	631	-0.14	0.16	0.21
G0013	3887.50	12188.50	742985.0	4497645.0	954	0.17	-0.31	0.35
G0016	5144.25	2830.75	756642.5	4542811.3	120	0.30	0.26	0.40

Yrms= 0.23 Xrms= 0.18

2. Geometrik olarak düzeltilen IRS görüntüsüne uygulanan zenginleştirme algoritmaları ile detaylar daha da belirginleştirilmiştir.
3. Depremın hemen sonrasında alınan IRS görüntüsü ile 15 Ağustos 2003 tarihli IRS görüntüsünün karşılaştırılması sonucunda yeni yapılan kalıcı konut bölgeleri ekran üzerinden elle dijitalleştirilmiştir (Şekil 3.36).



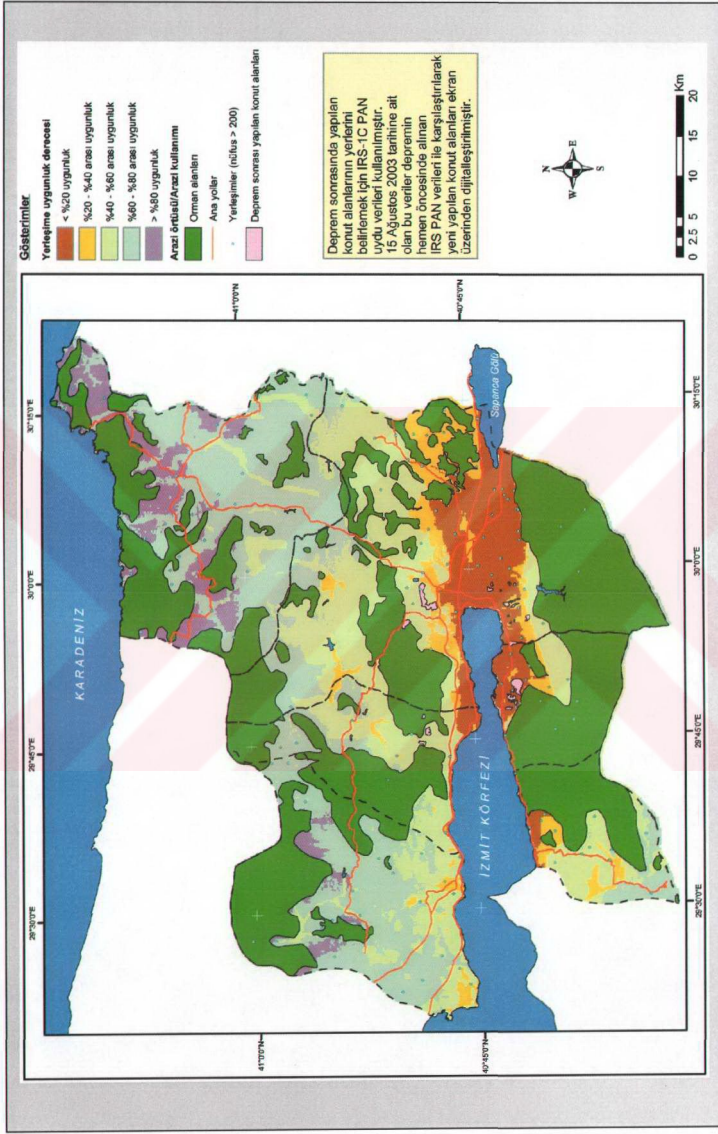
**Şekil 3.36:** Kocaeli ilinde yeni yapılan konut alanlarının IRS verilerinden elle dijitalleştirilmesi.



Dijitalleştirilen kalıcı konut bölgeleri, yerleşime uygunluk haritası ile çakıştırıldığında, Gölcük ilçesinde yapılan kalıcı konutların İzmit merkez ilçesinde yapılan kalıcı konutlara göre daha riskli bölgede olduğu görülmektedir (Şekil 3.37). Ancak Tablo 3.12 incelendiğinde, %71.3'ü ormanla kaplı ve oldukça sarp olan Gölcük ilçesinde yerleşime uygunluğun yüksek olduğu (>%60) alanların %66'sının ormanla kaplı olduğu, geri kalan arazilerin ise oldukça sarp ve eğimli olması, Gölcük ilçesinde deprem açısından uygun olabilecek alan alternatiflerini hemen hemen yok denecek düzeye indirmiştir.

İzmit ve Körfez ilçelerinde yapılan kalıcı konutlar, deprem açısından mevcut yerleşime göre daha uygun olan %20-40 uygunluk oranına sahip bölgede bulunmaktadır.

Çeşitli çalışmalarda altlık olarak kullanılabilmesi için Kocaeli ili yerleşime uygunluk haritası, mevcut yerleşim ve konut alanları ile birlikte daha büyük ölçekte hazırlanmış olup Ek-C'de verilmiştir.



Şekil 3.37: Depremden sonra yapılan konut alanlarının yerleşime uygunluk haritası üzerindeki konumu.

#### 4. SONUÇLAR

Modern dünyada gittikçe artan coğrafi bilgilerin oluşturduğu karmaşık yapı artık bilinen bir gerçektir. Bu karmaşıklıkta yaşanan doğal afetlerin sonrasında, daha hızlı ve optimal kararların verilmesinin gerekliliği; hem karar vericileri strese sokmakta, hem daha fazla zaman gerektirmekte, hem de verilen kararların uygulanmasında yüksek risk yaratmaktadır. Dolayısıyla burada karar vericilerin en önemli gereksinimi, kendi sorumluluklarına, deneyimlerine ve sezgilerine göre hızlı ve optimal kararlar üretilmesinde altlık oluşturabilecek bir afet bilgi sisteminin kurulmasıdır. Veri ile bilgi arasındaki temel farklılığın ve ilişkinin anlaşılmasından sonra gittikçe yaygınlaşan CBS, söz konusu sistemin oluşturulmasında stratejik öneme sahiptir. CBS tabanlı kurulacak olan afet bilgi sisteminin risk analizi, erken uyarı, afet izleme, hasar belirleme, yardım amaçlı veri iletimi vb. gibi yeteneklere sahip olması gerekir.

Bu tez çalışmasında, Kocaeli ili için uygulaması yapılan ve afet bilgi sisteminin bir alt modülü olarak kullanılabilen bir metodoloji geliştirilmiştir. Geliştirilen bu metodoloji hem afet öncesinde, hem de sonrasında önemli bir karar destek sistemi olarak kullanılabilir. Şöyle ki; 17 Ağustos 1999 Marmara depreminin öncesi ve sonrasına ait farklı spektral ve mekansal çözebilirlikli uydu verileri ile yapılan analiz ve değerlendirmelerle, hem depremin yıkıcı etkilerinin boyutunun belirlenmesi, hem de deprem öncesinde oluşan sıcaklık anomalileri ile ilgili önemli bilgiler elde edilmiştir. Depremin 2 gün öncesi ve 2 gün sonrasına ait NOAA-AVHRR verileri ile hesaplanan deniz yüzey sıcaklıklarında depremden bir gün önce noktasal sıcaklık artışları saptanmıştır. Fay üzerinde belirlenen 2-3°C lik bu sıcaklık artışı NOAA-AVHRR verileri ile deprem kestirimine yönelik çalışmaların başlatılması için önemli bir dayanak oluşturabilir. Nitekim konunun uzmanı kişilerin görüşleri de bu yönde olmuştur. Literatürde konu ile ilgili çalışmalar çok fazla olmasa da halen potansiyel bir deprem tehlikesi altında bulunan Marmara Denizi'nin günlük bazda alınan NOAA-AVHRR verileri ile izlenmesinin yararlı olacağı açıktır. Deniz ve kara için her gün yapılacak sıcaklık hesaplamaları sonucunda anormal artışların tespit edilmesi

durumunda gerekli önlemlerin alınabilmesi için ilgili kuruluşlarla koordinasyon sağlanmalıdır.

Diğer taraftan, afet sonrasında gerekli müdahalenin yapılması açısından LANDSAT, SPOT ve IRS verileri geniş ölçekteki hasar dağılımlarının belirlenmesinde önemli bilgiler sağlamıştır. Depremi oluşturduğu değişimler, hem yerleşim birimleri, hem de kıyı çizgisi bazında ayrı ayrı değerlendirilerek geniş ölçekte haritalanmıştır. Sadece deprem sonrası için elde edilebilen daha yüksek çözünürlüklü IRS verileri, afet bilgi sistemi altyapısı için gerekli olan güncel arazi örtüsü/arazi kullanım haritası ile güncel yerleşim ve ulaşım durumu haritası için önemli bir veri kaynağı olmuştur.

Daha hızlı ve optimal kararların verilmesinde CBS tabanlı çok kriterli değerlendirme yöntemi bir afet yönetimi için en önemli karar destek mekanizmasıdır. Tez çalışması kapsamında çok kriterli değerlendirme yöntemi ile 17 Ağustos 1999 Marmara depremi esas alınarak mevcut uydu ve yersel veriler ile deprem açısından yerleşime uygunluk analizi yapılmıştır. Bu kapsamda, jeolojik haritalar, toprak haritaları, yükseklik verileri, ana ulaşım hatları ve IRS uydu görüntülerinden elde edilen arazi örtüsü verileri, coğrafi bilgi sistemi ortamında kriter haritalarının üretilmesi için ana girdileri oluşturmuştur. Mevcut veri olanakları dahilinde oluşturulan yerleşime uygunluk haritaları üzerinde, mevcut yerleşimlerin bulunduğu bölgelerin uygunluk durumları analiz edilmiştir. Buna göre, Karamürsel, Körfez, Gölcük ve İzmit merkez ilçesindeki yapılaşma alanlarının tamamına yakın bir bölümünün deprem açısından en kötü olan sınıfta bulunduğu saptanmıştır. Öte yandan Gebze ve Kandıra ilçeleri için tablo daha farklı olup, Gebze yapılaşma alanlarının yarısı, Kandıra'nın tamamına yakın bölümü, uygunluk açısından yüksek sayılabilecek sınıfta bulunmaktadır. Dolayısıyla, bir sanayi kenti olması nedeniyle çok fazla göç alan Kocaeli ilindeki mevcut konut dokusunun çoğunun son derece uygunsuz bir alanda yerleştiği anlaşılmaktadır. Deprem büyüklüğü, fay özelliklerinin ve jeolojik formasyonların ana girdi olarak kullanıldığı yatay yer ivmesi, deprem sonrası oluşan deformasyon, arazi kullanım kabiliyet sınıfları, arazi eğimi, mevcut ulaşım ve yerleşime yakınlık dikkate alınarak üretilen yerleşime uygunluk haritası, yeni yerleşim alanlarının seçimi için önemli bir altlık olarak kullanılabilir.

Arazi kullanımı ile ilgili geliştirilen politikaların ve planlama faaliyetlerinin hem doğru hem de uygulanabilir olmasında, sağlanan coğrafi bilgilerin niteliği yanında ulaşılmak istenen hedefler de önemlidir. Marmara Bölgesi'nde etkili olan depremin

neden olduğu yıkım felaketi, özellikle arazi kullanım planlarının hazırlanmasında ülkemizdeki deprem gerçeğinin gözardı edilmiş olduğunu göstermektedir. Bu çalışma ile, söz konusu eksikliğin giderilmesi yönünde yararlı bir adım atılmıştır. Nitekim, ülkemizin başta deprem olmak üzere farklı doğal afetler ile karşılaşabileceği gerçeği göz önünde bulundurularak, arazi örtüsü/arazi kullanımı analizlerine yönelik olarak izlenebilecek adımlar konusunda bir yöntem geliştirilmiştir. Uydu ve yersel veri entegrasyonu kullanılarak Kocaeli ili için yapılan bu örnek uygulamanın, deprem tehdidi altında bulunan diğer iller için de yapılması, bu bölgelerde yaşanacak olası depremlerin an az hasarla atlatılması bakımından önem taşımaktadır. Tabiki bu yöntemin sel, heyelan, orman yangını vb. gibi diğer afetlerin öncesi ve sonrasında da kullanılması mümkündür. Burada dikkat edilmesi gereken diğer bir husus da verilecek kararların doğru olabilmesi için çok disiplinli çalışma ortamının kesinlikle oluşturulmasıdır. Ayrıca doğal afet olarak depremin esas alındığı bu çalışmada geliştirilen metodolojinin ülkemizdeki kullanımının, planlama faaliyetlerinde isabetli ve doğru kararların alınması açısından, gerek merkezi yönetim, gerekse yerel yönetimler bazında yaygınlaştırılması yararlı olacaktır.

Diğer taraftan, Kocaeli ili örnek alınarak uzaktan algılama ve CBS teknolojileri desteği ile yapılan bu örnek uygulama ile aşağıda belirtilen kolaylıklar da sağlanmıştır:

1. Arazi kullanımı/arazi örtüsü durumunun zamansal değişiminin kısa zamanda sağlıklı olarak haritalanması,
2. Farklı harita ve kaynaklardan elde edilen verilerin entegrasyonu sağlanarak amaca yönelik yeni analizlerin yapılması,
3. Plancılar için seçili kriterlere uygun potansiyel alanları sunabilmenin yanında, mevcut kriterlere göre belirlenen yeni politikalara uygun farklı alternatiflerin sunulması,
4. Elde edilen sonuçların görsel zenginliği olan ve yorumlamaya çok açık ortamda sunulması.

Görüldüğü gibi, CBS farklı disiplinlere özgü uygulamalarda mekansal veri analizi ve bölgesel planlama problemlerinin çözümü için klasik yöntemlere göre daha hızlı ve kolay araçlar sağlamaktadır. Hatta sağlanan bu araçlar yardımı ile planlama faaliyetlerinin formülasyonunu yapıp uygun nitelikte arayüzler geliştirmek

mümkündür. Fakat yeni teknolojilerin, beraberinde yeni sorunları da getirdiği unutulmamalıdır. CBS'yi kısa bir süreç için kullanmak oldukça pahalıdır. Nitekim, personel, yazılım ve donanımı ile sistemin kurulmasından sonra mevcut tüm verilerin dijital ortama aktarılması, devamlılığın sağlanması için bakım ve onarımının yapılması, verilerin sürekli güncellenmesi, eleman eğitimi vb. her biri maliyeti arttıran unsurlardır. Fakat bu maliyet eğer veriler geniş hacimli ve analiz kapsamında sık sık kullanılıyorsa, sürekli güncel tutulması önemli ise, çok ekonomik olabilir. Hatta zaman içerisinde problemler karşısında maliyetin sürekli azaldığı görülebilir.

## KAYNAKLAR

- Ahuja, R.K., Magnanti, T.L. and Orlin, J.B., 1993. Network Flows: Theory, Algorithms and Applications. Prentice Hall, New Jersey.
- AİGM, Deprem Araştırma Dairesi, 2004. İvme ölçerler ve depremin ivmesi. <http://angora.deprem.gov.tr/index.htm>, 02/09/2004.
- Akça, M.D. ve Dogan, S., 2002. Sayısal görüntülerde ana bileşenler dönüşümü, *Harita Dergisi*, **129**, 1-15.
- Akkar, S. ve Güllkan P., 2002. A critical examination of near-field accelerograms from Sea of Marmara region earthquakes, *Bulletin of Seismological Society of America*, **92-1**, 428-447, February 2002.
- Aydöner, C., Maktav D., Yahn, D. ve Çelik, R., 2001. Sayısal arazi modeli ve batimetrik verilerin kıyı bilgi sistemine entegrasyonu, *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları III. Ulusal Konferansı*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 26-29 Haziran.
- Bamler, R. and Schaeftler, B., 1993. SAR data acquisition and image formation, in: *SAR Geocoding: Data and Systems*, pp. 435, Eds. Schreier G., Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- Becker, F., 1987. The impact of spectral emissivity on the measurement of land surface temperature from a satellite, *International Journal of Remote Sensing*, **8**, 1509-1522.
- Becker, F. and Li, Z.L., 1990. Towards a local split window method over land surfaces, *International Journal of Remote Sensing*, **11**, 369-393.
- BM, 2004. Australian government, Bureau of meteorology (BM), Sea surface temperatures derived from NOAA satellite data, <http://www.bom.gov.au/sat/SST/sst.shtml#intro>, 06/08/1999.
- Bürgmann, R., Rosen, P.A. and Fielding, E.J., 2000. Synthetic aperture radar interferometry to measure Earth's surface topography and its deformation, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **28**, 169-209.
- Byrne, G.R. and Crapper, P.F., 1979. Monitoring land cover changes by principal component analysis of multitemporal Landsat data, *Remote Sensing of Environment*, **10**, 175-184.

- Campbell, K.W.**, 1997. Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra, *Seismological Research Letter*, **68**, 154–179.
- Coll, C., Caselles, V. and Schmugge, T.J.**, 1994a. Estimation of land surface emissivity differences in the split-window channels of AVHRR, *Remote Sensing of Environment*, **48**, 127-134.
- Coll, C., Caselles, V., Sobrino, J.A. and Valor, E.**, 1994b. On the atmospheric dependence of the split-window equation for land surface temperature, *International Journal of Remote Sensing*, **15**, 105-122.
- Collins, J.B. and Woodcock, C.E.**, 1994. Change detection using the Gram–Schmidt transformation applied to mapping forest mortality, *Remote Sensing of Environment*, **50**, 267–279.
- Costantini, M.**, 1996. A phase unwrapping method based on network programming *ESA Fringe'96 Workshop*, Zurich, Switzerland.
- Çakır, Z.**, 2003. Analysis of the crustal deformation caused by the 1999 İzmit and Düzce earthquakes using synthetic radar interferometry, *PhD Thesis*, Istanbul Technical University, İstanbul, Turkey.
- DPT**, 1999. Depremın ekonomik ve sosyal etkileri muhtemel finansman ihtiyacı kısa-orta ve uzun vadede alınabilecek tedbirler, Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Raporu, Ankara, Türkiye.
- Eastman, J.R., Jin, W., Kyem, A.K. and Toledano, J.**, 1995. Raster procedures for multi-criteria/multiobjective decisions, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **61-5**, 539–547.
- Ekstrand, S.**, 1994. Assessment of forest damage with Landsat TM: correction for varying forest stand characteristics, *Remote Sensing of Environment*, **47**, 291–302.
- ESA (European Space Agency)**, 2004. ERS-1 satellite concept, <http://earth.esa.int:80/ers/satconc/index.html>, 06/10/04.
- Euromap**, 2005. IRS missions, IRS-P6, IRS-1C, IRS-1D, IRS-P5 [http://www.euromap.de/docs/doc\\_001.html](http://www.euromap.de/docs/doc_001.html) 10/10/2003.
- Filizzola, C., Pergola N., Pietrapertosa C. and Tramutoli V.**, 2004. Robust satellite techniques for seismically active areas monitoring: a sensitivity analysis on September 7, 1999 Athens's earthquake, *Physics and Chemistry of the Earth*, **29**, 517–527.
- Foody, G.M., Palubinska, G., Lucas, R.M, Curran, P.J. and Honzak, M.**, 1996. Identifying terrestrial carbon sinks: classification of successional



stages in regenerating tropical forest from Landsat TM data, *Remote Sensing of Environment*, **55**, 205–216.

- Fung, T. and LeDrew, E.**, 1987. Application of principle components analysis to change detection, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **53-12**, 1649–1658.
- Gorny, V.I., Salman, A.G., Tronin, A.A. and Shilin, B.B.**, 1988. The Earth outgoing IR radiation as an indicator of seismic activity, *Proceeding of the Academy of Sciences of the USSR*, **301**, 67–69.
- Gens, R. and Vangenderen, J.L.**, 1996a. An approach to error propagation modeling of SAR interferometric data, *ESA Fringe'96 Workshop*, Zurich, Switzerland.
- Gens, R. and Vangenderen, J.L.**, 1996b. SAR interferometry - issues, techniques, applications, *International Journal of Remote Sensing*, **17**, 1803-1835.
- Gens, R.**, 1998. Quality assessment of SAR interferometric data, *PhD Thesis*, University of Hannover, Hannover, Germany.
- Goldstein, R.M., Zebker, H.A. and Werner, C.L.**, 1988. Satellite radar interferometry: Two-dimensional phase unwrapping, *Radio Science*, **23**, 713-720.
- Graham, L.C.**, 1974. Synthetic interferometer radar for topographic mapping, *Proceedings of the IEEE*, **62**, 763-768.
- Haan, J.F., Hovenier, J.W., Kokke, J.M.M. and Stokkom, H.T.C.**, 1991. Removal of atmospheric influences on satellite-borne imagery: a radiative transfer approach, *Remote Sensing of Environment*, **37**, 1–21.
- Hansen, R.F.**, 2001. Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Heywood, I., Oliver, J. and Tomlinson, S.**, 1995. Building an exploratory multi-criteria modeling environment for spatial decision support, in *Innovations of GIS 2*, pp. 127–136, Eds. Fisher, P., Taylor and Francis, Leicester, UK.
- HGK**, 1976. *Kocaeli ili dijital eşyükseklik eğrileri*, Ölçek 1:25.000, 42 adet, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.
- Holm, R.G., Jackson, R.D., Yuan, B., Moran, M.S., Slater, P.N. and Bigger, S. F.**, 1989. Surface reflectance factor retrieval from Thematic Mapper data, *Remote Sensing of Environment*, **27**, 47–57.
- İzmit-bld**, 2004. İzmit büyükşehir belediyesi, İl hakkında bilgiler, <http://www.izmit-bld.gov.tr/>, 02/18/2005.

- Jang, J.D., Viau, A.A. and Ancil, F.**, 2003. Comparison of Split-Window Algorithms for the Retrieval of Surface Temperatures from AVHRR Data in Southern Québec, *Canadian Journal of Remote Sensing*, **30-2**, 216-220.
- Janssen, R. and Rietved, P.**, 1990. Multicriteria analysis and GIS: an application to agriculture landuse in the Netherlands, in *Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning*, pp. 129-139, Eds. Scholten, H. and Stilwell, J., Kluwer Academic Publishers, Amsterdam.
- JRC (Joint Research Center)**, 2004. Natural hazard, <http://natural-hazards.jrc.it/documents/fires/1997-presentations/enamors.pdf>, 08/10/2002.
- Joerin, F., Thériault, M. and Musy, A.**, 2001. Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment, *International Journal of Geographical Information Science* **10-8**, 321-339.
- KB (Kocaeli burada)**, 2004. Kocaeli burada, Kocaeli'nin tarihçesi, <http://www.kocaeliburada.com/kocaeli/tarihcesi.asp>, 22/02/2005.
- Kerr, Y.H., Lagouarde, J.P. and Imbernon, J.**, 1992. Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved split window algorithm, *Remote Sensing of Environment*, **41**, 197-209.
- KHGM**, 1991. *Kocaeli ili yol ve yerleşim birimleri haritası*, Ölçek 1:100.000, 1 adet, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kneizys, F.X., Shettle, E.P. and Gallery, W.O.**, 1988. Atmospheric transmittance/radiance: computer code LOWTR4AN-7, *Air Force Geophysics Laboratory Technical Report*, **AFGL-TR-88-0177**, Hanscomb Air Force Base, MA.
- Kolouch, D.**, 1983. Geometrische Auswertung von Sonarbildern und Interferometeraufnahmen mit Hilfe digitaler Bildverarbeitung, *PhD Thesis*, University of Hannover, Germany.
- Konak, N.**, 2005. Ülkemizde yapılan jeoloji araştırmalarının ve jeoloji haritalarının tarihçesi, <http://www.jmo.org.tr/basin/nesat.asp>, 21/02/2005.
- Le Pichon, X., Şengör A.M.C., Demirbağ, E., Rangin, C., İmren, C., Armijo, R., Görür, N., Çağatay, N., Mercier De Lapinay, B., Meyer, B., Saatçılar, R. and Tok, B.**, 2001. The active main Marmara fault, *Earth and Planetary Science Letters*, **192**, 595-616
- Lin, Q., Vesecky, J.F. and Zebker, H.A.**, 1992. New approaches in interferometric SAR data processing. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **30**, 560-567.

- Li, L., Xu, M., Wang, L., Qiang, Z. and Dian, C.,** 1998. Satellite thermal infrared anomaly and earthquake prediction, *Space Technology*, **18(4-6)**, 169-170.
- Loughlin, W.P.,** 1991. Principal component analysis for alteration mapping, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **57-9**, 1163-1169.
- Madsen, S.N., Zebker, H.A. and Martin, J.,** 1993. Topographic Mapping Using Radar Interferometry: Processing Techniques. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **31-1**, 246-256.
- Malczewski, J.A.,** 1996. GIS-based approach to multiple criteria group decision-making, *International Journal of Geographical Information Science*, **10-8**, 321-339.
- Malczewski, J.,** 1999. GIS and Multicriteria Decision Analysis. John Wiley and Sons. New York.
- Massonnet, D. and K.L. Feigl,** 1998. Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface, *Reviews of Geophysics.*, **36-4**, 441-500.
- Moran, M.S., Jackson, R.D., Slater, P.N. and Teillet, P.M.,** 1992. Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output, *Remote Sensing of Environment*, **41**, 169-184.
- MTA,** 1999. *Kocaeli ili jeolojik formasyonlar*, Ölçek 1:25.000, 42 adet, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Munda, G.,** 1995. Multicriteria Evaluation In a Fuzzy Environment: Theory and Applications in Ecological Economics. Physica-Verlag, Heidelberg, Germany.
- Ouzounov, D. and Freund, F.,** 2004. Mid-infrared emission prior to strong earthquakes analyzed by remote sensing data, *Advances in Space Research*, **33**, 268-273.
- Ozernoi, V.M. and Guft, M.G.,** 1977. Multicriterion decision problems, in *Conflicting Objectives in Decisions*, pp. 17-39, Eds. Bell, D.E., Keeney, R.L. and Raiffa, H., John Wiley and Sons, New York.
- Pereira, J.M.C. and Duckstein, L.,** 1993. A multiple criteria decision-making approach to GIS-based land suitability evaluation, *International Journal of Geographical Information Science*, **7-5**, 407-424.
- Pettit, C. and Pullar D.,** 1999. An integrated planning tool based upon multiple criteria evaluation of spatial information, *Computers, Environment and Urban Systems*, **23**, 339-357.

- Prata, A.J. and Platt, C.M.R.**, 1991. Land surface temperature measurements from the AVHRR, *Proceeding of The 5th AVHRR Data Users' Meeting*, Tromso, Norway, June 1991, 433-438.
- Price, J.C.**, 1984. Land surface temperature measurements from the split window channels of the NOAA 7 Advanced Very High Resolution Radiometer, *Journal of Geophysical Research*, **89**, 7231-7237
- Qiang, Z.J., Xu, X.D. and Dian, C.G.**, 1991. Thermal infrared anomaly precursor of impending earthquakes, *Chinese Science Bulletin*, **36-4**, 319-323.
- Qiang, Z.J. and Dian, C.G.**, 1992a. Satellite thermal infrared impending temperature increase precursor of Gonghe earthquake of magnitude 7.0, Qinghai Province, *Geoscience*, **6-3**, 297-300.
- Qiang, Z.J., Dian, C.G., Wang, X.J. and Hu, S.Y.**, 1992b. Satellite thermal infrared anomalous temperature increase and impending earthquake precursor, *Chinese Science Bulletin*, **37-19**, 1642-1646.
- Qiang, Z.J., Xu, X.D. and Dian, C.G.**, 1997. Thermal infrared anomaly precursor of impending earthquakes, *Pure and Applied Geophysics*, **149**, 159-171.
- Qin, Z. and Karnieli, A.**, 1999. Progress in the remote sensing of land surface temperature and ground emissivity using NOAA-AVHRR data., *International Journal of Remote Sensing*, **20**, 2367-2393.
- Richter, R.**, 1990. A fast atmospheric correction algorithm applied to Landsat TM images, *International Journal of Remote Sensing*, **11**, 159-166.
- Richter, R.**, 1996. A spatially adaptive fast atmospheric correction algorithm, *International Journal of Remote Sensing*, **17**, 1201-1214.
- Rogers, A.E.E. and Ingalls, R.P.**, 1969. Venus: Mapping the surface reflectivity by radar interferometry, *Science*, **165**, 797-799.
- Rosen, P.A., Hensley, S., Joughin, I.R., Li, F.K., Madsen, S.N., Rodriguez, E. and Goldstein, R.M.**, 2000. Synthetic aperture radar interferometry, *Proceedings of IEEE*, **88**, 333-382.
- Samson, J.**, 1996. Coregistration in SAR interferometry, *MSc Thesis*, Technical University Delft, Netherlands.
- Sesören, A.**, 1999. Uzaktan Algılamada Temel Kavramlar, Mart Matbaacılık Sanatları, İstanbul.
- Skole, D. and Tucker, C.**, 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988, *Science*, **260**, 1905-1910.

- Sobrino, J.A. and Raissouni, N.**, 2000. Toward remote sensing methods for land cover dynamic monitoring: application to Morocco, *International Journal of Remote Sensing*, **21-2**, 353-366.
- Solaas, G.A.**, 1994. ERS-1 interferometric baseline algorithm verification, *ESA Technical Report, ES-TN-DPE-OM-GS02*, ESA.
- Song, C., Woodcock, C.E., Seto, K.C., Lenney, M.P. and Macomber, S.A.**, 2001. Classification and Change Detection Using Landsat TM Data: When and How to Correct Atmospheric Effects?, *Remote Sensing of Environment*, **75**, 230– 244.
- Spanner, M.A., Pierce, L.L., Peterson, D.L., and Running, S.W.**, 1990. Remote sensing of temperate coniferous forest leaf area index: the influence of canopy closure, understory vegetation and background reflectance, *International Journal of Remote Sensing*, **11-1**, 95–111.
- Springer**, 2004. Analytic hierarchy process, [http://www.springeronline.com/sgw/cda/pageitems/document/cda\\_do\\_wloadddocument/0,10900,0-0-45-110278-0,00.pdf](http://www.springeronline.com/sgw/cda/pageitems/document/cda_do_wloadddocument/0,10900,0-0-45-110278-0,00.pdf), 21/02/2005.
- TOPRAKSU**, 1991. *Kocaeli ili arazi varlığı*, Ölçek 1:100.000, 2 adet, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Tronin, A.A.**, 1996. Satellite thermal survey a new tool for the study of seismoactive regions, *International Journal of Remote Sensing*, **41-8**, 1439–1455.
- Tronin, A.A.**, 2000. Thermal IR satellite sensor data application for earthquake research in China, *International Journal of Remote Sensing*, **21-16**, 3169–3177.
- Tronin, A.A., Hayakawa, M. and Molchanov, O.A.**, 2002. Thermal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China, *Journal of Geodynamics*, **33 (4-5)**, 519–534.
- TÜBİTAK**, 1999. Kocaeli ilinde deprem sonrası yeni yerleşim alanlarının uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi teknolojileri ile belirlenmesi, TÜBİTAK MAM proje sonuç raporu, Gebze, Kocaeli.
- UDK**, 2002. Deprem zararlarını azaltma ulusal stratejisi, Ulusal Deprem Konseyi raporu, Ankara, Türkiye.
- Ulivieri, C., Castronuovo, M.M., Francioni, R. and Cardillo, A.**, 1994. A split-window algorithm for estimating land surface temperature from satellites, *Advances in Space Research*, **14-3**, 59-65.
- Voogd, H.**, 1983. Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning. Pion, London.

Zebker, H.A. and Goldstein, R.M., 1986. Topographic mapping from interferometry synthetic aperture radar observations, *Journal of Geophysical Research*, **91**, 4993-4999.



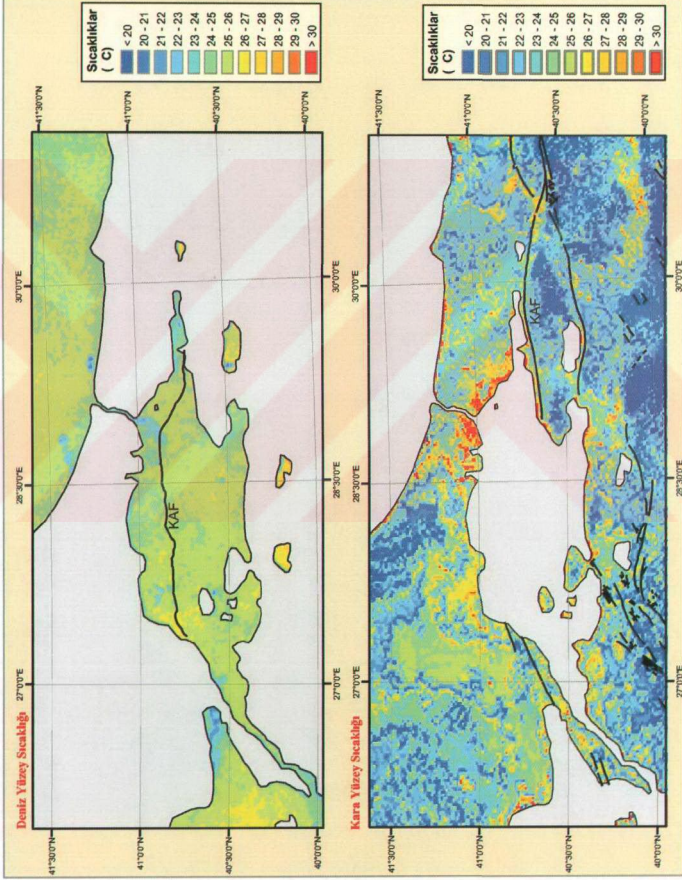
## **EKLER**

EK A. NOAA-AVHRR verileri ile üretilen sıcaklık haritaları.

EK B. Yerleşime uygun yeni alanların tespiti için üretilen kriter haritaları.

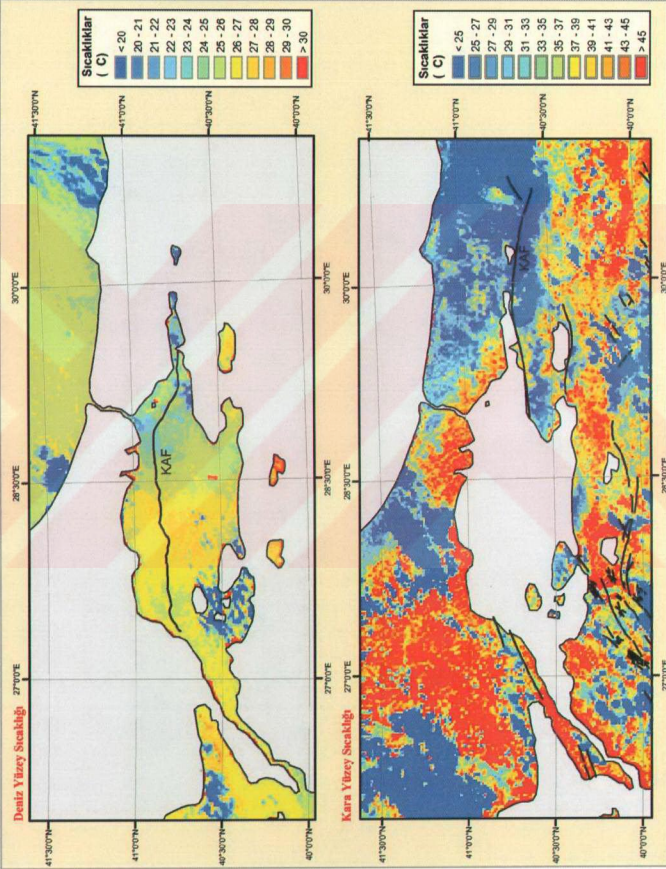
EK C. Kocaeli ili yerleşime uygunluk haritası.

## NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları

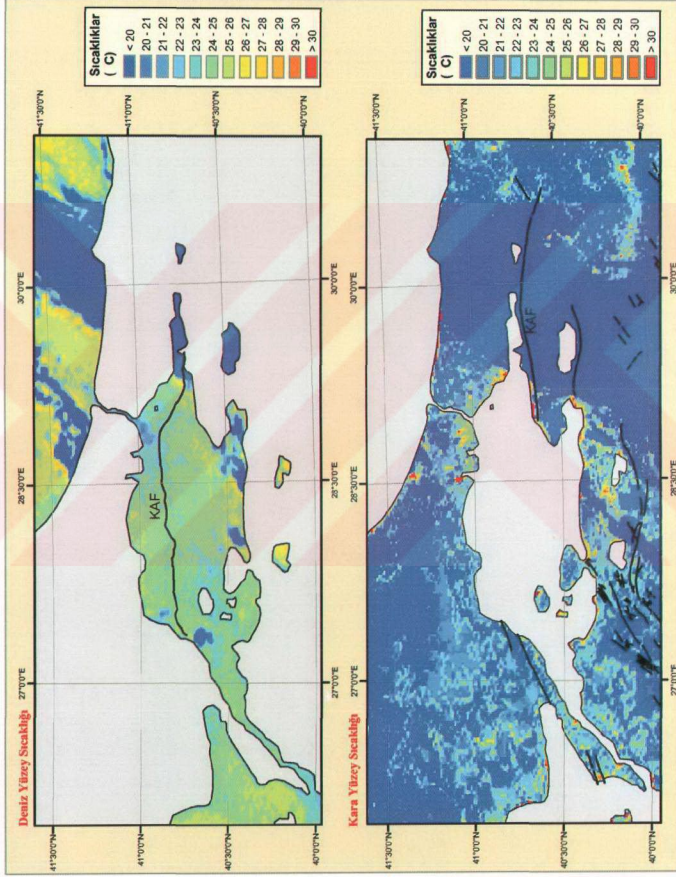




## NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları



## NOAA-AVHRR uydur verilerinden elde edilen deniz ve kara yuzyer sicakliklari



Şekil A.3

Uydu : NOAA-14  
Tarih : 15.08.1999  
Saat : 04:21

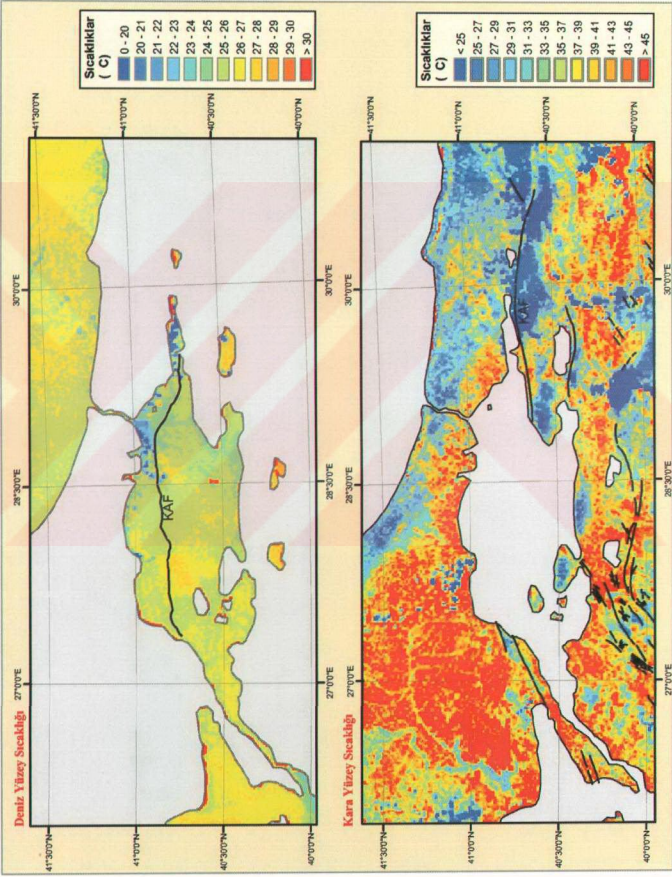
KAF'n Marmara Denizi  
içerisindeki durumu  
Le Pichon ve eđ. (2001)'den  
dijitalize edilmiştir.

Karada olan faylar MTA diri  
fay haritasından alınmıştır.

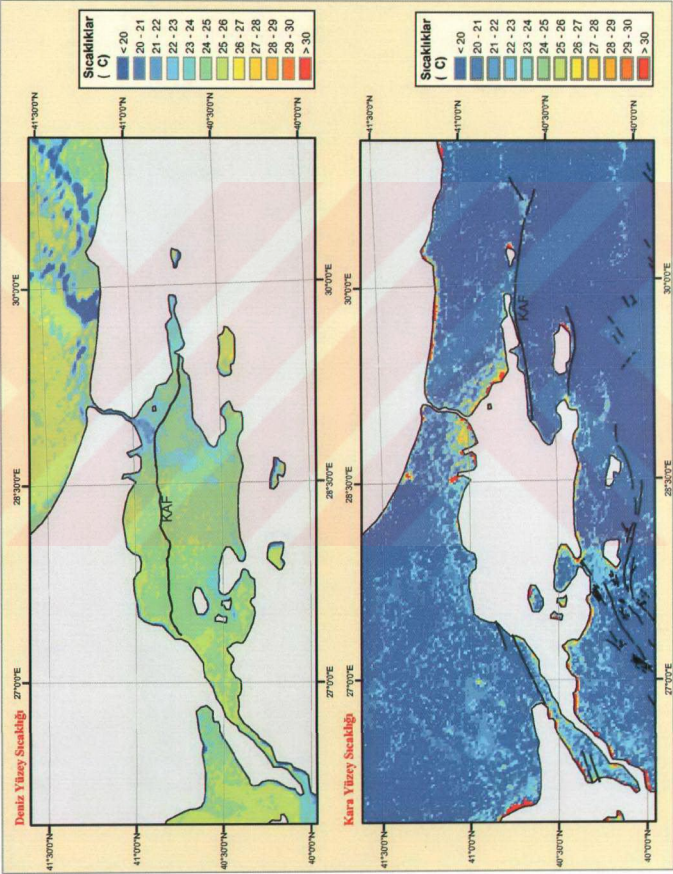


0 12.5 25 50 75 100  
Kilometre

## NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları



## NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları



Şekil A.5

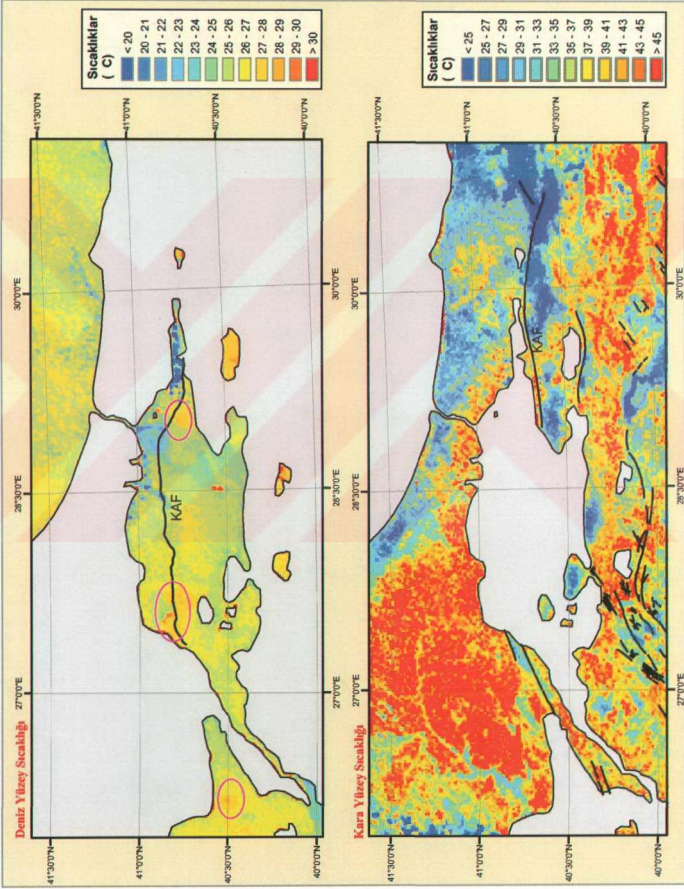
Uydu : NOAA-14  
Tarih : 16.08.1999  
Saat : 05:50

KAF'nı Marmara Denizi  
içindeki durumu  
Le Fichon ve diğ. (2001)'den  
dijitalleştirilmiştir.

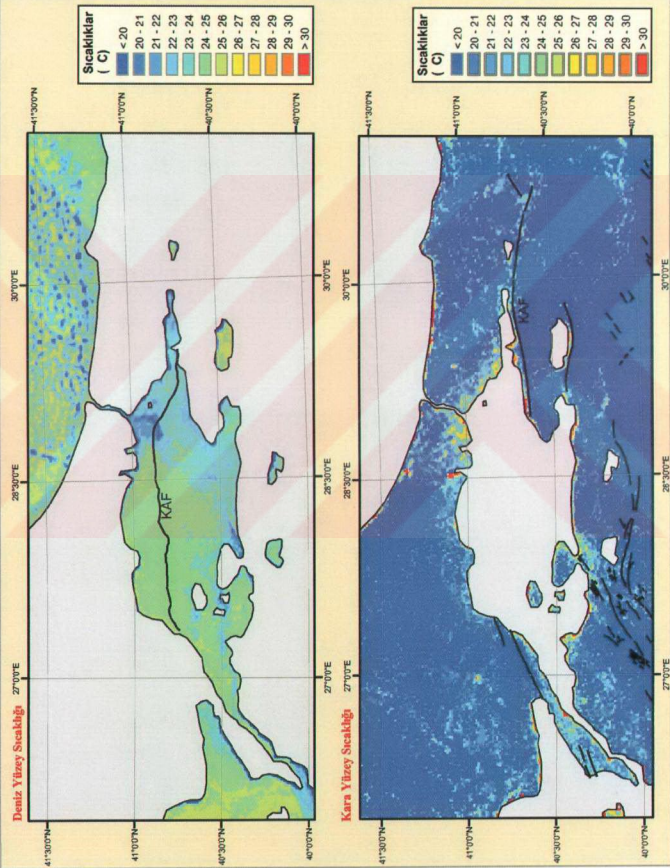
Karada olan fiyalar MTA diti  
fiy hantından alınmıştır.



## NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları



## NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları



Şekil A.7

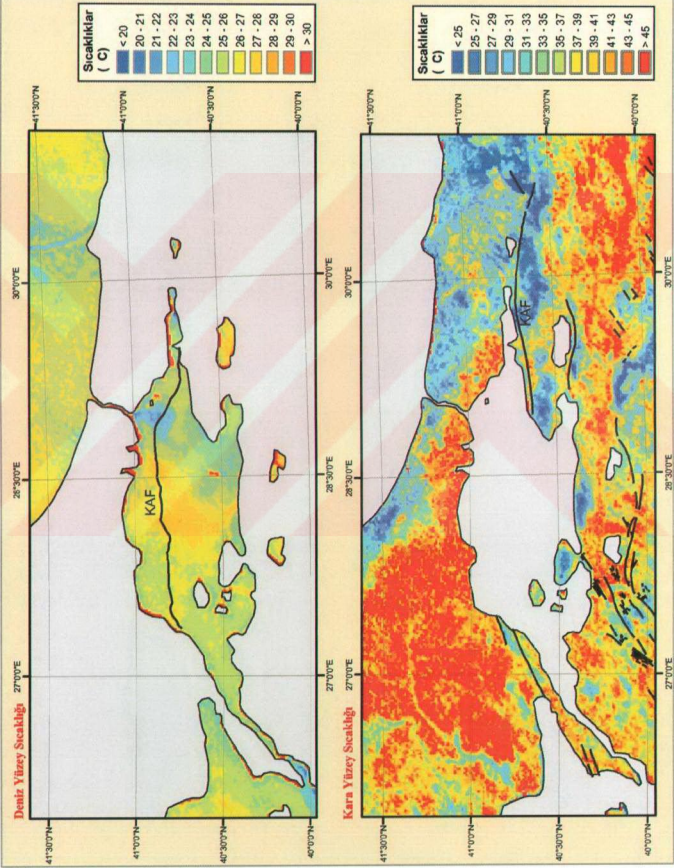
Uydu : NOAA-14  
Tarih : 17.08.1999  
Saat : 05:39

KAF'nın Marmara Denizi  
içerisindeki deniz ve kara  
yüzey sıcaklığı (200)Yıllık  
dijitalizasyonudur.

Karada olan fiyoliz MTA diti  
fiy haritasından alınmıştır.



## NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları



Şekil A.8

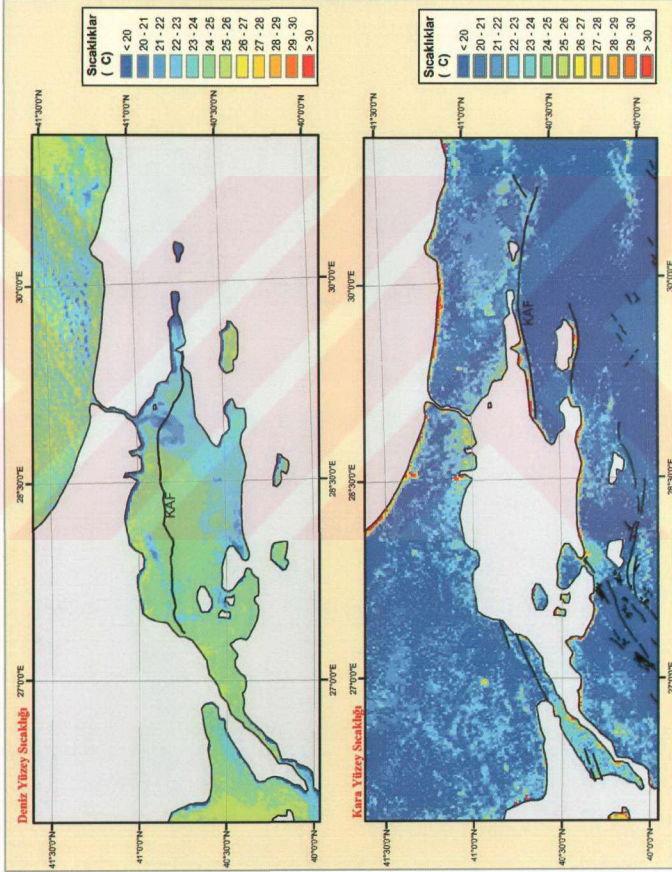
Uydu : NOAA-14  
Tarih : 17.08.1999  
Saat : 15.25

KAF'nın Marmara Denizi ile arasındaki deniz alanı, bu çalışmada dijitalleştirilmiştir ve dijitalleştirilmiştir.

Karada olan faylar MTA dirni fay haritasından alınmıştır.



## NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları



Şekil A.9

Uydu : NOAA-14  
Tarih : 18.08.1999  
Saat : 05.29

KAF'ın Marmara Denizi içerisinde bulunduğu ve Fidan ve diğer (2001) ile doğrulanmıştır.

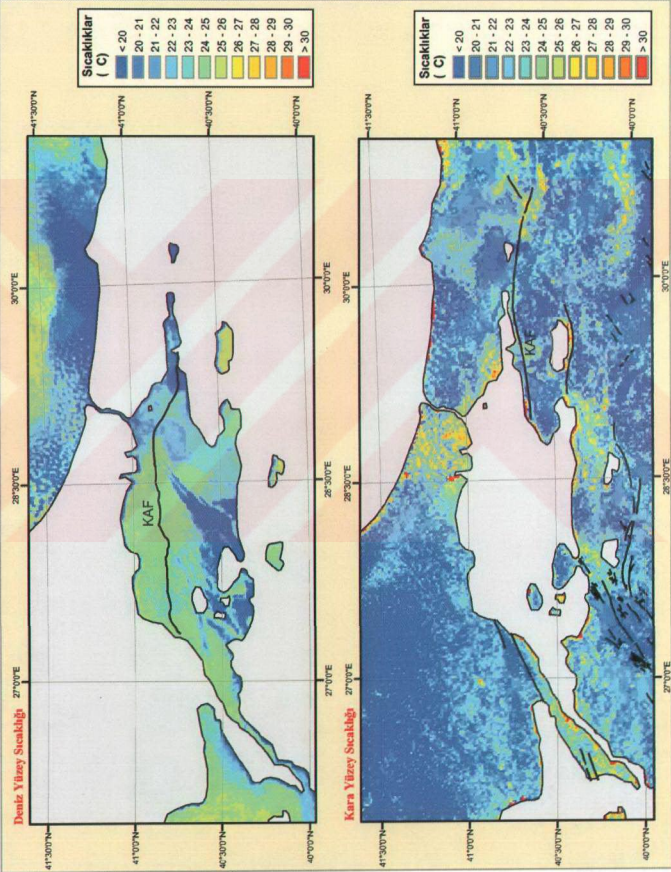
Karada olan faylar MTA diti fay haritasından alınmıştır.



0 12.5 25 50 75 100  
Kilometre



## NOAA-AVHRR uydu verilerinden elde edilen deniz ve kara yüzey sıcaklıkları



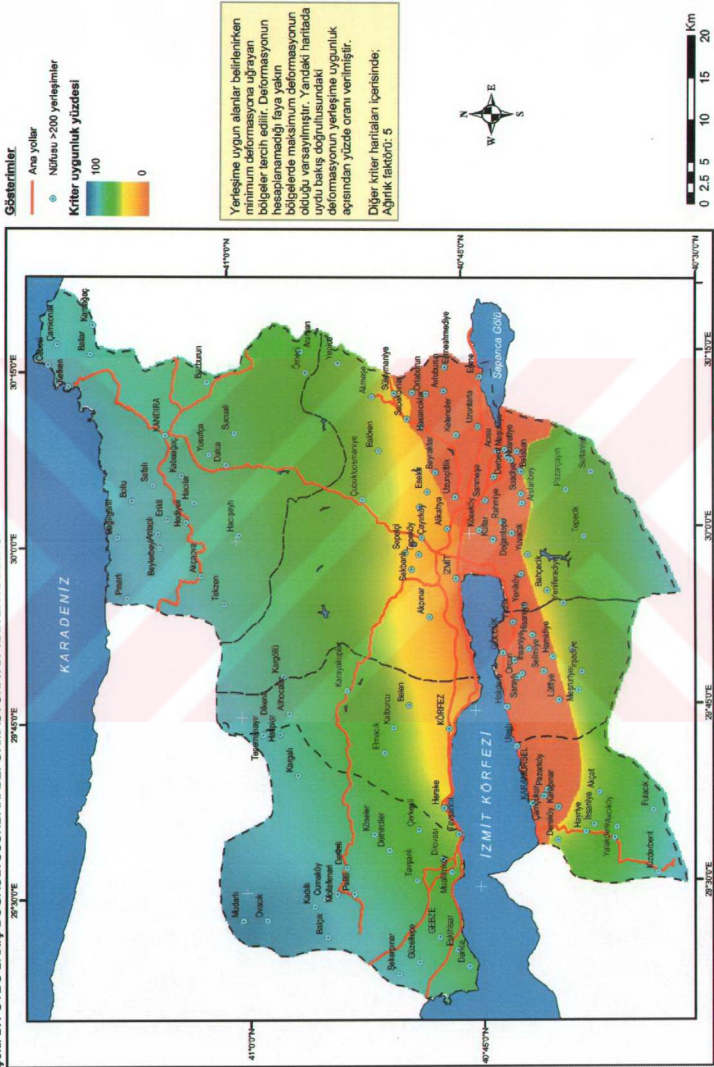
Şekil A.10

Uydu : NOAA-14  
Tarih : 19.08.1999  
Saat : 05:18

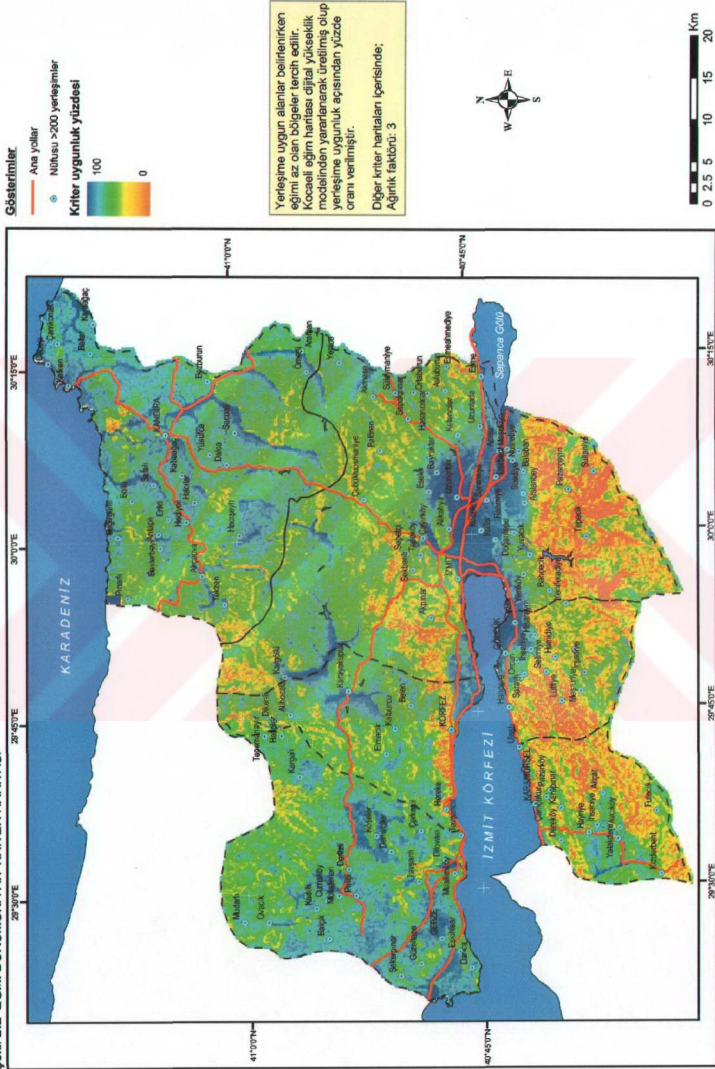
KAF'nın Marmara Denizi içerisindeki durumu (KAF'nın konumu ve ölç. (EBO) yiden dijitalleştirilmiştir.  
Karada olan fiyalar MTA dirli fiy haritesinden alınmıştır.



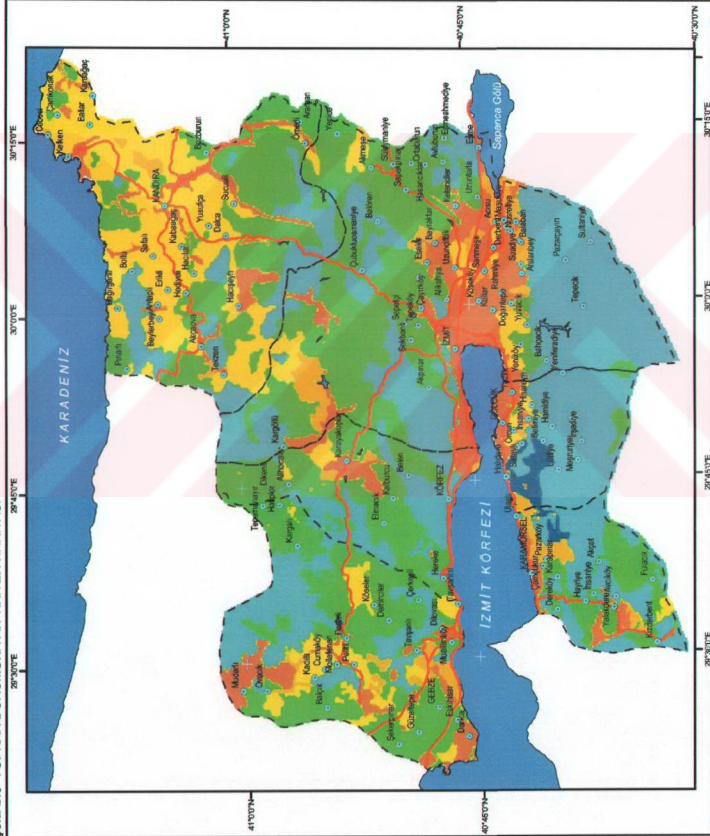
Sekil B.1 UYDU BAKIŞ DOĞRULTUSUNDAKİ DEFORMASYONA AIT KRİTER HARİTASI



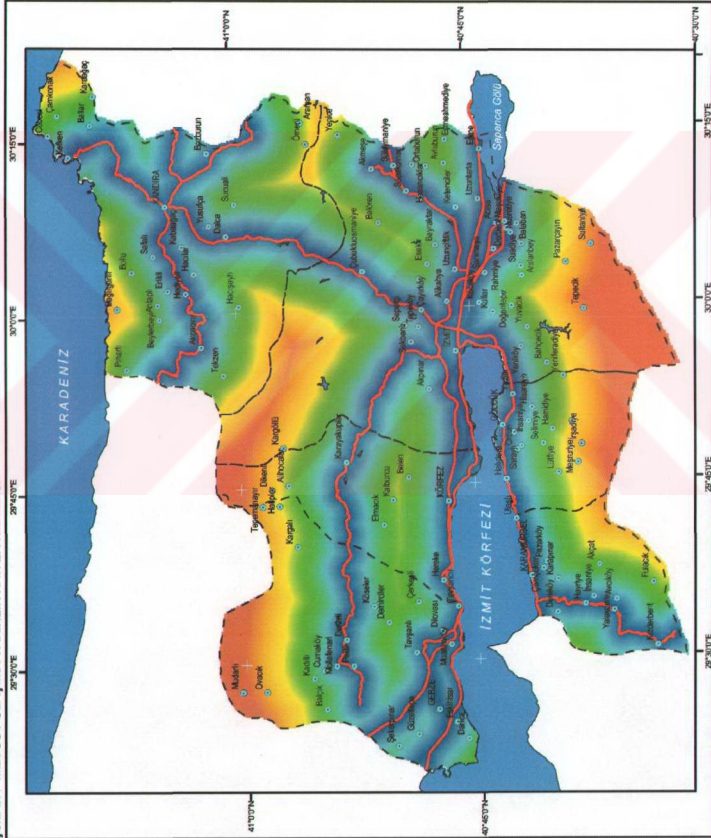
Şekil B.2 EĞİM DURUMUNA AIT KRİTER HARTASI



Şekil B.3 TOPRAK DURUMUNA AIT KRİTER HARTASI



ŞEHİR B.4 MEVCUT ULAŞIMA YAKINLIK KRİTER HARİTASI



**Göstergeler:**

- Ana yollar
- Nüfusu >200 yerleşimler
- Kriter uygunluk yüzdesi



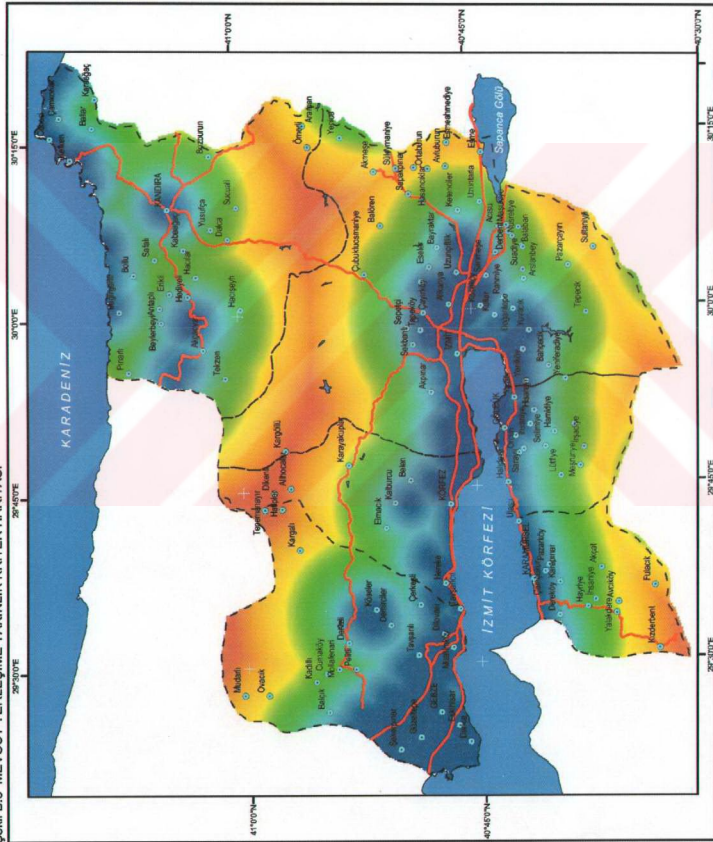
Yerleşime uygun alanlar belirlenirken mevcut ana ulaşım ağına yakın bölgeler tercih edilir. Yandaki haritada Kocaeli ana ulaşım ağına yakınlık durumunun yerleşime uygunluk açısından yüzde oranı verilmiştir.

Diğer viter haritaları içerisinde;  
Açıklık İktidarı: 2





Şekil B.6 MEVCUT YERLEŞİME YAKINLIK KRİTER HARİTASI



**Göstergeler**

- Ana yollar
  - Nüfusu 200 yerleşimler
  - Kriter uygunluk yüzdesel
- 100  
0

Yerleşime uygun alanlar belirlemeden mevcut yerleşime yakın olan bölgeler tercih edilir. Yarıdaki haritada kırmızı ile mevcut yerleşime yakınlık durumunun yerleşime uygunluk açısından yüzde oranı verilmiştir.

Diğer kriter haritaları içerisinde:  
Ağırlık faktörü: 1

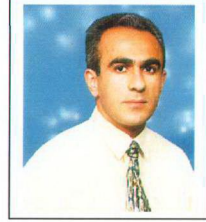






## ÖZGEÇMİŞ

- Adı ve Soyadı** : Cihangir AYDÖNER
- Mesleği** : Jeodezi ve Fotogrametri  
Mühendisi (Yüksek Lisans)
- Doğum Tarihi** : 20.04.1974
- Doğum Yeri** : Şiran/Gümüşhane
- Medeni Hali** : Evli
- Adres** : TÜBİTAK-MAM Yer ve Deniz  
Bilimleri Enstitüsü, PK.21, 41470  
Gebze - Kocaeli
- Telefon/Faks** : İş : 0 (262) 641 23 00 /4357  
Ev : 0 (262) 641 23 00 /5212  
Faks : 0 (262) 641 23 09
- E-mail** : [Cihangir.Aydoner@mam.gov.tr](mailto:Cihangir.Aydoner@mam.gov.tr)



Cihangir AYDÖNER, 1974 yılında Gümüşhane'de doğdu. Lise öğrenimini birincilikle tamamladıktan sonra 1994 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünü üçüncülükle bitirdi. 1996 yılında TÜBİTAK MAM, Bilişim Teknolojileri Araştırma Enstitüsü'nde araştırmacı olarak göreve başladı. 1998 yılında İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği anabilim dalında yüksek lisansını tamamladıktan sonra aynı yıl doktora öğrenimine başladı. Şimdiye kadar CBS ve uzaktan algılama konularında farklı birçok projede (Erozyon haritalama, uzaktan algılama teknikleri ile su kalitesinin ölçülmesi, il coğrafi bilgi sistemlerinin altyapısının hazırlanması vb) araştırmacı ve proje yöneticiliği yapmıştır. Halen TÜBİTAK MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde araştırmacı olarak görev yapmaktadır.