

**TRAKYA MERİÇ HAVZASINDAKİ ÇELTİK EKİLİ
ALANLARDA ÜRÜN GELİŞİMİNİN ÇOK ZAMANLI
RADAR UYDU GÖRÜNTÜ VERİLERİ YARDIMIYLA
İZLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. İlknur ÖZKÜRALPLİ
(501031618)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Haziran 2006**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Filiz Sunar ERBEK

**Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Derya MAKTAV (İ.T.Ü.)
Yrd.Doç.Dr. Coşkun ÖZKAN (Erciyes Üniv.)**

MAYIS 2006

ÖNSÖZ

Lisans eğitimimden bu yana uzaktan algılama bilimini bana sevdirdiği, yol gösterdiği ve bilgisini, desteğini esirgmeden tezimin her aşamasında yardımcı olduğu için sevgili hocam Prof. Dr. Filiz Sunar ERBEK'e çok teşekkür ederim.

Tezimde kullandığım verileri sağlayan bunun yanında çalışmam süresince yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen İTÜ-UHUZAM'ın tüm çalışanlarına en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca sabır ve anlayışlarını esirgemeyen sevgili NİK İnşaat çalışanlarına ve çalışma bölgesi ile ilgili verdiği bilgiler için sayın Doç. Dr. Selçuk ALBUT'a ayrıca çok teşekkür ederim.

Mayıs, 2006

İlknur ÖZKÜRALPLİ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER	III
KISALTMALAR	V
TABLO LİSTESİ	VI
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
ÖZET	XIII
SUMMARY	XV
1. GİRİŞ	1
2. UZAKTAN ALGILAMADA TEMEL KAVRAMLAR.....	3
2.1 Elektromanyetik Enerji.....	3
2.1.1 Elektromanyetik Işınım.....	3
2.1.2 Elektromanyetik Spektrum	6
2.2 Uzaktan Algılamada Enerjinin Atmosfer ve Yeryüzü ile Etkileşimleri....	7
2.2.1 Atmosfer ile Enerji Etkileşimi	7
2.2.1.1 Saçılma.....	7
2.2.1.2 Yutulma.....	8
2.2.1.3 Atmosferik Pencereleler	8
2.2.2 Yeryüzü ile Enerji Etkileşimi.....	9
2.3 Yeryüzü Objelerinin Spektral Yansıtımları.....	10
2.3.1 Bitki Örtüsünün Spektral Yansıtımı.....	11
2.3.2 Toprağın Spektral Yansıtımı	12
2.3.3 Suyun Spektral Yansıtımı	12
2.3.4 Çeltiğin Spektral Yansıtımı.....	13
3 UZAKTAN ALGILAMA UYDULARI.....	17
3.1 Uyduların Genel Özellikleri	17
3.1.1 Mekansal Çözünürlük	18
3.1.2 Spektral Çözünürlük	19
3.1.3 Radyometrik Çözünürlük.....	21
3.1.4 Zamansal Çözünürlük	22
3.2 Yörüngede Bulunan Uzaktan Algılama Uyduları.....	23
3.2.1 Pasif Algılama Yapan Uydu Sistemleri	24
3.2.1.1 SPOT 2/4/5.....	24
3.2.1.2 TERRA	26
3.2.1.3 LANDSAT (1/2/3/4/5/7).....	27

3.2.1.4	EO-1	29
3.2.2	Aktif Algılama Yapan Uydu Sistemleri	31
3.2.2.1	RADARSAT-1	35
3.2.2.2	ERS-1/2	38
3.2.2.3	ENVISAT ASAR	39
3.2.2.4	ALOS PALSAR	41
3.2.2.5	TERRA SAR-X	41
4	ÜRÜN HARİTALAMASINDA UZAKTAN ALGILAMA	
	UYGULAMALARI.....	43
4.1	Dünyada Çeltik Üretimi	43
4.2	Türkiye’de Çeltik Üretimi.....	45
4.3	Çeltik Ürün Haritalaması ve İzlenmesi Konusunda Yapılmış Örnek Çalışmalar.....	47
5	DİJİTAL GÖRÜNTÜ İŞLEME	53
5.1	Dijital Görüntü.....	53
5.2	Dijital Görüntü İşleme Yöntemleri	54
5.2.1	Ön İşleme	54
5.2.1.1	Radyometrik Düzeltme	54
5.2.1.2	Geometrik Düzeltmeler.....	56
5.2.2	Görüntü Zenginleştirme İşlemleri.....	58
5.2.2.1	Kontrast Artırımı.....	58
5.2.2.2	Filtreleme	59
5.2.3	Sınıflandırma.....	60
5.2.3.1	Kontrollü Sınıflandırma	61
5.2.3.2	Kontrolsüz Sınıflandırma	62
5.2.3.3	Doğruluk Analizi	63
6	UYGULAMA.....	65
6.1	Çalışma Bölgesi	65
6.2	Kullanılan Uydu Görüntüleri	66
6.3	Kullanılan Yersel Veriler	67
6.4	Uygulamalar	69
6.4.1	Verilerin Kalibrasyonu.....	69
6.4.2	Verilerdeki Gürültü Faktörünün Giderilmesi.....	70
6.4.3	Verilerin Geometrik Düzeltmesi.....	71
6.4.4	Verilerin Sınıflandırılması	72
6.4.4.1	Çok zamanlı görüntünün oluşturulması	72
6.4.4.2	Kontrol bölgelerinin seçimi	73
6.4.4.3	Kontrollü Sınıflandırma	75
6.4.4.4	Doğruluk Analizi	77
7.	SONUÇLAR.....	80
	KAYNAKLAR	82
	ÖZGEÇMİŞ.....	85

KISALTMALAR

EMR	: Elektromagnetic Radiation (Elektromanyetik ışınlm)
EMS	: Elektromanyetik spektrum
UV	: Ultraviyole
PAN	: Pankromatik görüntü
MS	: Multispektral görüntü
ALI	: Advanced Land Imager
SAR	: Synthetic Aperture Radar
RADAR	: Radio Detection and Ranging
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
MODIS	: Moderate resolution imaging spectroradiometer
TM	: Thematic Mapper
ETM	: Enhanced Thematic Mapper
RA	: Radio Altimeter
ATSR	: Along Track Scanning Radiometer
MS	: Microwave Sounder
WS	: Wind Scatterometer
GOME	: Global Ozone Measuring Enst.
AMI	: Active Microwave Instrument
PALSAR	: Phased Array type L-Band Sythetic Aperture Radar
PRISM	: Panchromatic Remote Sensinf Instrument for Stereo Mapping
ANVIR	: Advanced Visible and Near Infrared Radiometer
DiE	: Devlet İstatistik Enstitüsü
HH/VV/HV	: Yatay, Yatay/Dikey, Dikey/Yatay, Dikey polarizasyon
YKN	: Yer Kontrol Noktası
DN	: Digital number
KOH	: Karesel Ortalama Hata
SGF	: SAR Georeferenced Fine
GMT	: Greenweech Mean Time
EEST	: Eastern European Summer Time
TTAE	: Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: SPOT 2 ve SPOT 4 uydularının teknik özellikleri	25
Tablo 3.2: SPOT 5 uydusunun teknik özellikleri.....	25
Tablo 3.3: Terra Aster algılayıcısının teknik özellikleri	27
Tablo 3.4: Landsat-4 ve 5 uydularının teknik özellikleri.....	28
Tablo 3.5: Landsat-7 uydusunun teknik özellikleri	28
Tablo 3.6: EO-1 ALI algılayıcısının teknik özellikleri	30
Tablo 3.7: EO-1 HYPERION algılayıcısının teknik özellikleri.....	30
Tablo 3.8: Radar sistemlerinde sıklıkla kullanılan bant aralıkları	32
Tablo 3.9: ERS 2 uydusunun teknik özellikleri	39
Tablo 3.10: Envisat ASAR algılayıcısının teknik özellikleri.....	40
Tablo 3.11: ALOS PALSAR algılayıcısının teknik özellikleri	41
Tablo 3.12: Terra SAR-X uydusunun teknik özellikleri	42
Tablo 4.1: Dünya Çeltik Yetiştirilen alanlar ile üretim ve verim değerleri	44
Tablo 4.2: Dünya pirinç tüketimi ve bazı tüketici ülkeler	45
Tablo 4.3: Türkiye’de yıllara göre çeltik ekim alanı ve üretimi	45
Tablo 4.4: Türkiye’de bölgelere göre yetiştirilen çeltik türleri	46
Tablo 4.5: Türkiye'nin pirinç ithalat değerleri	47
Tablo 5.1: Kalibre edilmiş radar geri yansıtım değerleri ve olası nedenleri	55
Tablo 6.1: Kullanılan Radarsat-1 verileri.....	67
Tablo 6.2: 2005 yılı İpsala bölgesi ortalama çeltik ürün takvimi	67
Tablo 6.3: Uydu verisinin alındığı tarihlerdeki meteorolojik veriler	69
Tablo 6.4: A,B ve C noktalarındaki DN ve β_0 değerleri	70
Tablo 6.5: Görüntülerdeki gürültüyü gidermede kullanılan filtreler	70
Tablo 6.6: Geometrik kayıt için kullanılan YKNları ve KOHları	71
Tablo 6.7: Çok zamanlı görüntüde kullanılan uydu görüntüleri	72

Tablo 6.8: Göz önüne alınan arazi örtüsü sınıfları.....	75
Tablo 6.9: Hata matrisi.....	78
Tablo 6.10: Sınıflandırma doğruluk analizi	79

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Elektromanyetik dalganın yayılımı	3
Şekil 2.2: 600°K ve 300°K de siyah cisim eğrisi	5
Şekil 2.3: Elektromanyetik spektrum (EMS)	6
Şekil 2.4: Atmosferik pencereler	8
Şekil 2.5: Düz ve pürüzlü yüzeylerde yansıtımlar	10
Şekil 2.6: Başlıca yeryüzü objelerinin spektral yansıtım eğrileri	11
Şekil 2.7: Çeltiğin spektral yansıtım grafiği	13
Şekil 2.8: 03/07/2001 tarihli EO1-Hyperion verisinden elde edilmiş toprak, çeltik, mısır ve soya bitkilerinin yansıtım eğrileri	14
Şekil 2.9: Çeltik bitkisinin büyüme evreleri	15
Şekil 2.10: Çeltik ve bazı tarla bitkilerinin Radarsat-1 geri yansıtım eğrileri	15
Şekil 3.1: Dijital görüntü	19
Şekil 3.2: Farklı mekansal çözünürlükteki görüntüler (a) 10 m (b) 30 m (c) 80 m... ..	19
Şekil 3.3: Landsat 5 TM ile Spot 4 uydularının spektral bant aralıklarının karşılaştırılması	20
Şekil 3.4: Farklı spektral çözünürlükteki görüntüler (a) Spot XS 2.bant görüntüsü (b) Spot XS 3.bant görüntüsü	20
Şekil 3.5: Farklı optik uydu görüntü örnekleri (a) Doğal renkli görüntü (b) Yanlış renkli görüntü (c) Siyah-beyaz görüntü (07/2000, Belgrad Landsat 7).....	21
Şekil 3.6: Farklı radyometrik çözünürlükteki görüntüler (a)1, (b)2, (c)8 bit	22
Şekil 3.7: Kutupsal uydu yörüngesi (Radarsat-1)	22
Şekil 3.8: Farklı zamanlı görüntüler (a) Banda Aceh 23/06/04 (Tsunamiden önce) (b) Banda Aceh 28/12/04 (Tsunamiden sonra)	23
Şekil 3.9: Pasif algılama	24
Şekil 3.10: Spot 4 uydusu	25

Şekil 3.11: Farklı mekansal çözünürlükteki Spot uydu görüntüleri (a) 20 m çözünürlüklü Spot, Sudi Arabistan (b) 2.5 m çözünürlüklü Spot 5 Toulouse.....	26
Şekil 3.12: Terra uydusu.....	26
Şekil 3.13: Farklı Terra algılayıcı sistem görüntüleri (a) 15 m çözünürlüklü Aster (b) 500 m çözünürlüklü MODIS	27
Şekil 3.14: Landsat 5 uydusu.....	28
Şekil 3.15: Landsat-7, 321 bantları ile oluşturulmuş doğru renkli görüntü, Belgrad	29
Şekil 3.16: EO-1 uydusu.....	29
Şekil 3.17: Farklı EO-1 algılayıcı sistem görüntüleri (a) ALI (b) Hyperion İran,09/10/2002.....	30
Şekil 3.18: Aktif algılama.....	31
Şekil 3.19: Radar algılama sisteminin avantajları	31
Şekil 3.20: Radar sisteminde gönderilen ve yansıyan dalgalar	32
Şekil 3.21: Yeryüzü şekillerinin geometrilerinin radar görüntülerine etkileri	33
Şekil 3.22: Radar sistemlerinde 2 farklı yöndeki mekansal çözünürlük	34
Şekil 3.23: Radarsat-1 uydusu	35
Şekil 3.24: Radarsat-1 farklı demet modları.....	37
Şekil 3.25: (a) Radarsat-1 Standart mod (S5) görüntüsü (06/04/1996) (b) Farklı tarihlerde alınan Radarsat-1 görüntülerinden oluşmuş renkli görüntü	38
Şekil 3.26: ERS 2 uydusu	38
Şekil 3.27: ERS-1 SAR görüntüsü, Lizbon, Portekiz, 2001	39
Şekil 3.28: ENVISAT uydusu	39
Şekil 3.29: Çok zamanlı ASAR görüntülerden oluşturulmuş renkli radar görüntüsü	40
Şekil 3.30: ALOS uydusu üzerindeki PALSAR algılayıcısının görüntüsü	41
Şekil 3.31: Terra SAR-X Uydusu.....	42
Şekil 4.1: Çeltik bitkisi	44
Şekil 4.2: Türkiye’de bölgelere göre çeltik üretim oranları	46
Şekil 4.3: ASTER NDVI haritası (Endonezya Kanangwa bölgesi)	48

Şekil 4.4: Farklı zamanlarda spektrometre ile yapılan ölçümlerden elde edilen çeltik spektral yansıtım eğrileri	49
Şekil 4.5: Çok zamanlı Spot verileri.....	50
Şekil 4.6: ERS ve Radarsat-1 verilerinin zamansal çeltik geri yansıtım profili	51
Şekil 4.7: Operasyonel uydu (SAR) verilerine bağlı çeltik gelişimi izleme ve ürün tahmini modeli	52
Şekil 5.1: Dijital görüntünün piksel ve matris olarak gösterimi.....	53
Şekil 5.2: Geometrik Kayıt İşlemi.....	57
Şekil 5.3: Yeniden örnekleme yöntemleri a) En yakın komşuluk yöntemi b) Bilineer enterpolasyon yöntemi c) Kübik enterpolasyon yöntemi	58
Şekil 5.4: Kontrast artırımı a)İşlenmemiş görüntü b)İşlenmiş görüntü c)Görüntü histogramları.....	59
Şekil 5.5: Filtreleme işleminin şematik gösterimi	59
Şekil 5.6: Kontrollü sınıflandırma işlem adımları	61
Şekil 5.7: (a) Landsat TM görüntüsü, (b) Sınıflandırılmış Landsat TM görüntüsü (Uludağ, Bursa).....	62
Şekil 5.8: Kontrolsüz sınıflandırmanın akış şeması	63
Şekil 6.1: Edirne-İpsala ilçesinin haritası	65
Şekil 6.2: Çalışma bölgesi	66
Şekil 6.3: Çalışma alanı krokisi.....	68
Şekil 6.4: a) 17.05.2005 tarihli kalibre edilmemiş görüntü b) 17.05.2005 tarihli kalibre edilmiş görüntü	69
Şekil 6.5: Filtrelemenin görüntülere etkisi a) 14.09.2005 tarihli filtre edilmemiş Radarsat-1 görüntüsü b) 14.09.2005 tarihli filtrelenmiş Radarsat-1 görüntüsü c) 13.04.2005 tarihli filtre edilmemiş Radarsat-1 görüntüsü d) 13.04.2005 tarihli filtrelenmiş Radarsat-1 görüntüsü	71
Şekil 6.6: Kalibre edilmemiş veriler ile oluşturulan çok zamanlı RADARSAT görüntüsü, (K:14/09/2005, Y:17/05/2005, M:13/04/2005).	73
Şekil 6.7: Zamansal geri yansıtım grafikleri a) Çeltik1 kontrol bölgesi ve zamansal geri yansıtım profili b) Çeltik2 kontrol bölgesi ve zamansal geri yansıtım	

profili c) Çeltik3 kontrol bölgesi ve zamansal geri yansıtım profili	
d) Göz önüne alınan arazi örtülerinin zamansal geri yansıtım profili	74
Şekil 6.8: Sınıflandırılmış çok bantlı Radarsat-1 görüntüsü	76
Şekil 6.9: Sulak alanlar ile yerleşim alanlarındaki geri yansıtım benzerliği	
a) İnsan yapısı objeler b) sulak alanlar	77
Şekil 6.10: Çalışma bölgesindeki çeltik ekili alanların ve sulak alanların sınırları...	78

SEMBOL LİSTESİ

λ	: Dalga boyu
ν	: Frekans
c	: Işık hızı ($3 \cdot 10^8$ m/s)
h	: Planck sabiti
E	: Foton enerjisi
μ	: Metaryelin yüzeyinden yayılan toplam enerji
σ	: Stefan-Boltzman sabiti
T	: Mutlak sıcaklık
A	: $2898 \mu\text{m}^\circ\text{K}$
τ	: Geçirilme oranı
α	: Yutma oranı
ρ	: Yansıtma oranı
σ_0	: Radar geri yansıtım katsayısı
β_0	: Radar geri yansıtım parlaklık değeri
A_0, A_j	: Enerji kazanım kontrol faktörü
DN	: Piksel değeri
I_j	: Her pikselin menzil doğrultusundaki geliş açısı

TRAKYA MERİÇ HAVZASINDAKİ ÇELTİK EKİLİ ALANLARDA ÜRÜN GELİŞİMİNİN ÇOK ZAMANLI RADAR UYDU GÖRÜNTÜ VERİLERİ YARDIMIYLA İZLENMESİ

ÖZET

Uzaktan algılama uydularından elde edilen görüntüler, yeryüzünün kaynakları ve bu kaynaklarla insan etkileşimleri konusunda geniş bir perspektif sunmaktadır. Tarım da uzaktan algılamanın bize büyük avantajlar sunduğu uygulama alanlarından biridir. Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte uzaktan algılamanın tarım alanında sağladığı avantajlar farklılaşıp, gelişmiştir. Artık uzaktan algılama uygulamaları ile ürün haritalarının çıkarılması, ürün gelişiminin izlenmesi, verim analizlerinin yapılması mümkündür. Yapılan bu çalışmalar planlamaya yönelik hızlı sonuçlar üretmekte ve bu şekilde ülkeler tarım politikalarını şekillendirebilmektedir.

Türkiye tarım alanında en çok destek verilen ülkeler arasındadır. Bu desteğin nedenleri ise ekolojik ve iklimsel koşulları, toprak özellikleri ve zengin ürün çeşitleri olarak gösterilmektedir. Türkiye'nin sahip olduğu 65 milyonluk nüfusun %45'i kırsal kesimde yaşamaktadır. Sürekli artan bu nüfusun besin ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için tarım çok büyük önem taşımaktadır.

Dünya nüfusunun yarısından fazlasının ana besini olan pirinç, çeltikten elde edilmektedir. Çeltik ülkemizde Trakya bölgesinde ve özellikle Meriç havzası boyunca yetiştirilmektedir. Alan olarak sınırlı bölgelerde yetiştirilmesine karşın elde edilen verim dünya ortalamasının üzerindedir. Türkiye' de çeltik üretim miktarı ile pirinç tüketim miktarı karşılaştırıldığında, ihtiyacın karşılanamadığı ve bu nedenle pirinç ithalatının yapıldığı görülmektedir.

Çeltik ekili alanların ve üretimin arttırılması için yapılacak kanuni düzenlemelerin dışında gerekli olan; sağlıklı tarım politikaları, çağdaş ve teknolojik izleme ve üretim yöntemleri ile çiftçinin teşvik edilmesidir. Bu bağlamda sağlıklı tarım politikalarının şekillendirilebilmesi için bilimsel yöntemlerin kullanılması gerekir. Uzaktan algılama ve uydu teknolojileri bu alanda doğru ve hızlı sonuçlar veren yöntemler olarak kullanılmaktadır.

Gerek aktif algılama sistemleri ile elde edilen görüntüler, gerekse pasif algılama sistemleri ile elde edilen görüntüler kullanılarak çeltik ekili alanların tespit edilmesi, çeltik gelişiminin izlenmesi ve verim analizlerinin yapılabilmesi mümkündür. Bu

çalışmada uydu verisi olarak bulut ve yağışdan etkilenmeden görüntüleme ve çeltiğin karakteristik radar geri yansıtımı gibi avantajları nedeniyle radar verileri kullanılmıştır. Çalışma bölgesi olarak seçilen İpsala bölgesindeki çeltik ekili alanları çok zamanlı radar verileri ile izlenmiş ve çeltik ekili alanlar tespit edilmiştir.

Çalışmanın giriş bölümünde uzaktan algılama tanımı ile birlikte çalışma konusu hakkında kısa bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde ise uzaktan algılamanın temel kavramları olan elektromanyetik enerji, elektromanyetik spektrum, enerji ve yeryüzü cisimleri arasındaki etkileşimler ve son olarak da başlıca yeryüzü cisimlerinin karakteristik spektral yansıtım eğrilerine yer verilmiştir.

Takip eden üçüncü bölümde ise yörüngede olan veya yeni atılacak olan uzaktan algılama uyduları aktif ve pasif sistemler olarak ikiye ayrılarak incelenmiştir. Bu bölümde özellikle çalışmada radar verileri kullanacağından dolayı aktif algılama sistemlerinin temel kavramları detaylı olarak verilmiştir.

Dördüncü bölümde öncelikle çeltiğin Dünya’da ve Türkiye’deki durumu ve önemi hakkında bilgi verilmiş, ardından literatürdeki çeltik konulu çalışmalardan örnekler gösterilmiştir.

Beşinci bölümde dijital görüntü kavramı açıklanarak, uzaktan algılamada kullanılan dijital görüntü işleme yöntemleri anlatılmıştır.

Uygulama bölümünde öncelikle çalışma bölgesi hakkında bilgiler verilmiştir. Ardından kullanılan uydu verileri ve yersel veriler tanımlanmıştır. Daha sonra sırası ile yapılan görüntü işleme adımları ve elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Sonuç olarak uygun yersel veriler ile birlikte kullanılacak radar verileri ile çeltik ekili alanların izlenmesi ve tespitinin yanısıra çeltik ürün tipinin tespiti ve rekolte tahmini gibi çalışmalarında mümkün olduğu vurgulanmıştır.

MONITORING CROP GROWTH IN RICE PADIES LOCATED AT THRACE MERİÇ BASIN AREA WITH MULTITEMPORAL RADAR SATELLITE IMAGERIES

SUMMARY

Imageries acquired by remote sensing satellites provide a large perspective view of earth resources and also human interactions with these resources. Agriculture is just one of these interactions which satellite technologies offers a lot of advantages. Recent developments in the satellite technology also offer more accurate new methods for agricultural applications. Crop mapping, crop monitoring and acreage analysis can be done with using remote sensing techniques. Result of these applications are used for agricultural planning. So the countries reach required fast and accurate data for building their agricultural politics.

Because of its meteorological conditions and soil characteristics and crop variety, Turkey is one of the countries supported in agricultural investigations. 45 percent of Turkey's population are living in rural areas. The population is growing continuously for providing the nutrition needs of this growing population, therefore agriculture have a great importance.

Rice is the basic nutrition for over an half of world's population. In Turkey, rice is grown at Thrace especially in Meriç Basin region. However total amount of rice grown area is limited while compared with other countries, rice yield is higher then world average rice yield. On the other hand, since total rice consumption is higher then total rice yield of Turkey, rice is being imported.

To increase the amount of rice growing areas and rice yield, beside the legal policies, there is a need of sustainable agricultural plans, new technological cropping and monitoring methods to promote the farmers. Remote sensing data and methods are being used for this purposes.

Recently, for rice mapping, rice monitoring and yield analysis, both passive and active remote sensing satellites are being used. However, in this study radar images are selected for two reasons. One is radar acquire the time critical data regardless of rain and cloud factor. The second one is rice has a characteristic radar backscatter curve which helps to discriminate the rice crop from the other crops. In this study

rice crop is monitored and also rice crop areas are detected using multispectral radar images.

In the introduction part of the study, first remote sensing is defined and then a brief summary of the topic is given.

In the second chapter, electromagnetic energy, electromagnetic spectrum, energy interactions with earth surface feature and lastly spectral signatures are explained as the fundamentals of remote sensing.

In the third chapter, both active and passive satellite systems are examined. A special importance is given to active sensor systems and are explained in details since radar images are used in this study.

Firstly some statistical information about rice crop is given overall the world and in Turkey in Chapter 4. Then some scientific studies about rice crop and monitoring are demonstrated.

In the fifth chapter, digital image is defined firstly and digital image processing methods in remote sensing are explained further.

In the application chapter, study area is defined firstly. Satellite images and ground truth data which are used in the study are defined secondly. After, all image processing steps are explained in order. Lastly the results are shown in this chapter.

As a result, it is stated that radar images can be used not only for crop monitoring but also can be used for crop type determination and yield analysis. Importance of using the accurate ground truth data is also stated in the final chapter.

1. GİRİŞ

Uzaktan algılama, Lillesand ve Kiefer'in yapmış olduğu tanıma göre, objeler, alanlar veya fenomenler hakkında onlarla doğrudan bir temasta bulunmadan bir araç yardımı ile toplanan datanın analiz edilerek söz konusu objeler, alanlar, fenomenler ile ilgili bilgi edinme sanatı ve bilimidir. Genel olarak denebilir ki uzaktan algılama algılayıcılarla toplanan verilerin analiz edilerek bilgiye dönüştürülmesidir. Uzaktan algılamada söz konusu olan bu veri, elektromanyetik enerjidir. Uzaktan algılamada veriden bilgiye giden bu süreç iki aşamadan oluşmuş olarak kabul edilebilir. İlk aşama veriyi toplamak, ikincisi ise analiz etmektir. Veri toplama aşamasını oluşturan başlıklar elektromanyetik enerjinin yayılma özellikleri, enerjinin atmosferle ve yeryüzü cisimleri ile etkileşimi, cisimlerden dönen enerjiyi algılayan uydular olarak sıralanmakta, veri analizi ise dijital görüntü işleme, yorumlama ve sonuçları değerlendirme konularını içermektedir.

Günümüzde uzaktan algılama bilimi tarım, ormancılık, hidrololoji, jeoloji, askeri uygulamalar, haritacılık, arkeoloji, meteoroloji ve şehircilik uygulamaları gibi pek çok farklı disiplin için bilgi üretmektedir.

Türkiye dünyada, tarım alanında kendi kendisine yetebilen ender ülkelerden biri olarak tanımlanmaktadır. Bu önemi ile Türkiye tarımsal çalışmalarda desteklenen ülkelerin başında gelmektedir. Buna rağmen ülkemizde son yıllara kadar düzenli tarım politikaları oluşturabilmek amacı ile çalışmalar sınırlıydı. 1980'lerden sonra başlayan tarımsal alandaki planlama faaliyetleri, günümüzde Avrupa Birliği süreci ile de hız kazanmıştır. Etkin planlama faaliyetleri için gerekli hızlı, doğru ve ekonomik sonuçları ise uzaktan algılama teknikleri ile birlikte kullanılan uydu görüntülerinden elde etmek mümkündür. Uydu görüntüleri ile yapılan başlıca

tarımsal çalışmalar, ürün haritalarının elde edilmesi, ürün gelişiminin izlenmesi ve rekolte tahminlerinin yapılması olarak sıralanabilmektedir.

Dünya nüfusunun yarından fazlasının ana besini olan pirinç çeltikten elde edilmektedir. Çeltik lkemizde Trakya bölgesinde ve özellikle Meriç havzası boyunca yetiştirilmektedir. Alan olarak sınırlı bölgelerde yetiştirilmesine karşın elde edilen verim Dünya ortalamasının üzerindedir. Çeltik büyüme evresinin büyük kısmını su altında tamamlar ve hasata kadar geçen sredeki gelişimi karakteristik özelliklere sahip olduğundan diğer ürün tiplerinden kolaylıkla ayırt edilebilir. Çeltik ürününü izlemek ve tespit etmek için bu bağlamda belirli zamanlarda alınmış çok zamanlı verilere ihtiyaç duyulur. Zamanın önemli olduğu bu uygulamalarda bulut ve yağış gibi faktörlerden bağımsız olarak algılanabilen radar görüntüleri tercih sebebidir.

Bu alışmada Edirne ili, İpsala ilçesinde Meriç havzası boyunca yer alan eltik tarımı yapılan bölge, çalışma bölgesi olarak seçilmiştir. Ürünün gelişimini izlemek ve ürünü tespit etmek için eltik ürün takvimine göre seçilmiş çok zamanlı Radarsat_1 verileri kullanılmıştır. Çalışma sonunda çok zamanlı veriler analiz edilerek eltik için zamansal geri yansıtım eğrileri oluşturulmuş ve buna bağlı olarak eltik ekili alanlar tespit edilmiştir.

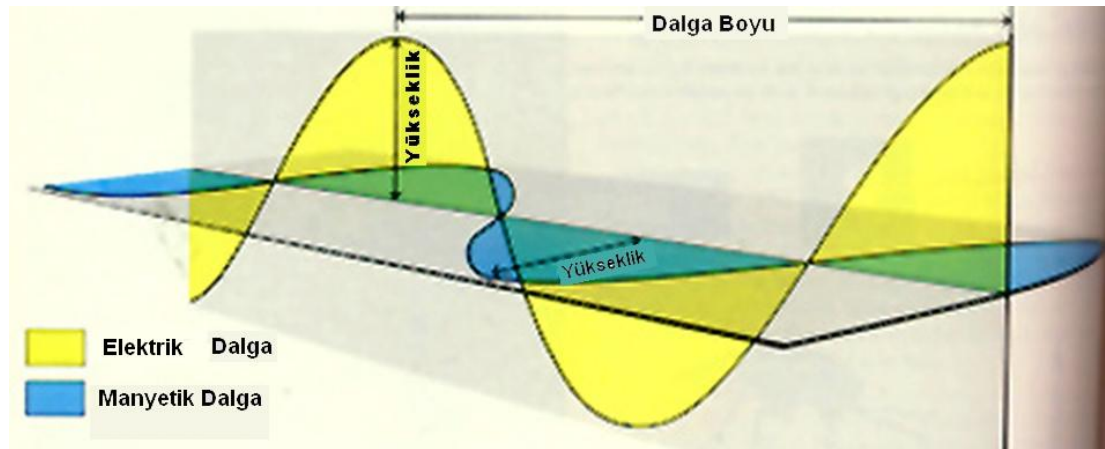
2. UZAKTAN ALGILAMADA TEMEL KAVRAMLAR

2.1 Elektromanyetik Enerji

2.1.1 Elektromanyetik Işınım

Algılayıcıların yeryüzünden topladıkları data, yeryüzünde bulunan çeşitli özelliklerin yansıttıkları ve yaydıkları elektromanyetik enerjidir [1]. Elektromanyetik enerji tüm formlardaki enerji için ışık hızı ile harmonik dalga şeklinde hareket eden enerji olarak tanımlanmaktadır.

Elektromanyetik ışınımın dalgalar şeklinde yayılımı “Maxwell eşitliklerinin bir sonucudur [2]. Elektromanyetik yayılımı açıklamak için türetilmiş bu eşitliğe dayanarak ışınım, yüklü bir parçacığın etrafındaki elektromanyetik alandaki hızlı değişimler (varyasyonlar) olarak tanımlanmaktadır. Elektromanyetik alandaki bu söz konusu varyasyonlar ise parçacığın vibrasyonundan kaynaklanmaktadır [3]. Buradan hareketle bir elektromanyetik dalga salınan iki alandan oluşmaktadır (Şekil 2.1). Bu alanların biri manyetik, diğeri elektrik olup birbirlerine ve dalganın yayılma doğrultusuna dik olarak hareket etmektedirler [3].



Şekil 2.1 Elektromanyetik dalganın yayılımı

Bir elektromanyetik dalga hızı, dalga boyu ve frekansı ile tanımlanır. Dalga boyu ve frekans arasında ki ilişki aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir.

$$C=\lambda.v \quad (2.1)$$

Burada:

λ : dalga boyu (m)

v : frekans (Hz)

c : ışık hızı (3.10^8 m/s) şeklindedir.

Formülden de görüleceği üzere, dalga boyu ve frekans arasında ters orantı mevcuttur dolayısıyla dalga boyu küçüldükçe frekansın arttığı gözlenmektedir [4].

Bunlara ek olarak elektromanyetik ışınımın gösterdiği bir takım karakteristikler kuantum teorisi ile de açıklanabilmektedir. Bu açıklama yapılırken ise elektromanyetik ışınımın kuantum özelliğini irdelemek gerekmektedir. Kuantum özelliğine göre bir kuantumun enerjisi doğrudan ışınımın frekansı ile doğru orantılıdır. Bu enerjinin miktarı Planck genel eşitliği kullanılarak bulunabilmektedir.

$$E=h.v \quad (2.2)$$

Formülde:

h : Planck sabiti ($6.6260 \cdot 10^{-34}$ jul/saniye)

v : frekans

E : fotonun enerjisi

Eşitlik yüksek frekansta hareket eden fotonların daha yüksek enerjiye sahip olduklarını doğrulamaktadır [5]. Dalga boyu ve frekans arasındaki ters orantıyı da göz önüne alarak daha uzun dalga boyunda enerjinin daha düşük olacağı açıktır.

Elektromanyetik ışınımın yukarıda sözü edilen karakteristiklerinin yanı sıra, objelerin ne kadar elektromanyetik enerji yaydıkları da açıklanması gereken önemli bir konudur. Güneş uzaktan algılamada kaynak radyatör olarak kabul edilmektedir. Öte yanda sıcaklığı mutlak sıfırın üzerinde olan tüm objeler belirli bir enerji yaymaktadırlar. Buna ek olarak objelerin yaymış olduğu bu enerjinin miktarı objelerin yüzey sıcaklarının bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Bu özellik Stefan-Boltzman yasası ile açıklanmaktadır. Buna göre:

$$\mu = \sigma \cdot T^4 \quad (2.3)$$

Formülde:

μ : metaryelin yüzeyinden yayılan toplam enerji Watts(W)m⁻²

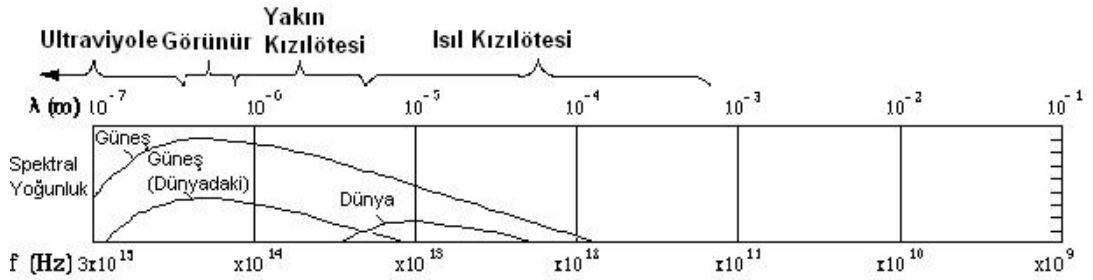
σ : Stefan-Boltzman sabiti 5.6697*10⁻⁸ Wm⁻²K⁻⁴

T: mutlak sıcaklık (K) şeklindedir.

Eşitlikte belirtilen enerji ve sıcaklık arasındaki bu ilişki spektrumdaki mikrodalga bölgesinde bulunan dalga boylarından kısa tüm dalgalar için geçerlidir. Bunun yanında söz konusu formülde sıcaklığın T(°K)nin 4 kuvveti olarak belirtilmiştir ancak bu değer sıcaklık artışı ile doğrudan ve lineer olarak artmaktadır [6].

Verilen formüllere ek olarak Planck eşitliği aynı zamanda her bir sıcaklık (°K) değeri için Planck eğrisini tanımlar. Planck eğrisinin altında kalan alanın büyüklüğü, o sıcaklık derecesinde yayılan toplam enerjinin miktarına eşittir. Bu alanın büyüklüğü Stephan-Boltzman yasası eşitliğiyle elde edilmektedir.

Siyah cisim, üzerine düşen enerjinin tümünü yutup tekrar geri yaydığı ve Planck eğrisine uyduğu varsayılan, doğada bulunmayan teorik, hipotetik bir maddedir [1]. Güneş'in çizdiği eğri siyah cisim eğrisine benzerlik göstermekle birlikte birçok yeryüzü objesi siyah cisim özelliğinden daha farklı özellik gösterir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 600°K ve 300°K de siyah cisim eğrisi

Maddelerin hangi dalga boylarında daha çok elektromanyetik ışıınım yaydıkları ise onların sıcaklıklarına bağlıdır. Bu gerçek, Wien's kanunu ile ifade edilmektedir. Wien's kanunu aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir:

$$\lambda_{\max} = A/T \quad (2.4)$$

Formülde:

$\lambda_{\max}$:maksimum spektral ışıınımın gerçekleştiği dalga boyu (μm)

A: 2898 $\mu\text{m}^\circ\text{K}$

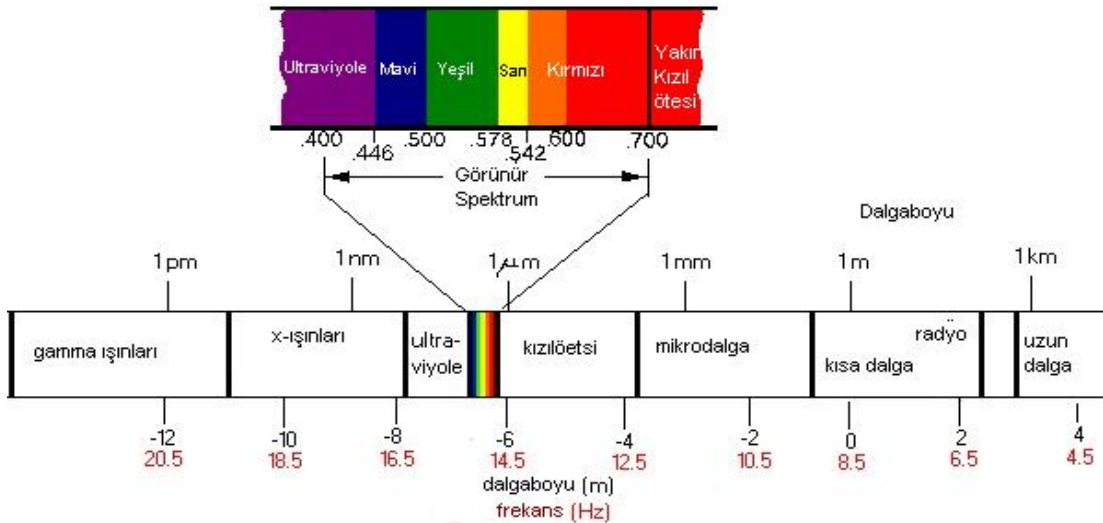
T: Sıcaklık $^\circ\text{K}$ olarak alınmıştır.

Formüldeki dalga boyu dominant dalga boyudur. Bu dalga boyunda siyah cisim eğrisi maksimum yapar. Aynı zamanda dalga boyu mutlak sıcaklık ile ters orantılıdır.

2.1.2 Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik ışıınım geniş bir enerji ve dalga boyu (frekans) aralığında çeşitlilik göstermektedir. Radyant enerjilerin dağılımının sürekliliğini dalga boyu ya da frekansın bir fonksiyonu şeklinde Elektromanyetik Spektrum (EMS) olarak adlandırılan bir tabloda göstermek mümkündür (Şekil 2.3). EMS kısa dalga boylarından (gamma ve X-ışınları) başlayıp uzun dalga boylarına (mikrodalga, radyo dalgaları) kadar uzanmaktadır. EMS daki çeşitli aralıklara veya bölgelere tanımlayıcı adlar verilmektedir. Bu çalışmalar bilim adamları tarafından spektroskoplar ve ışıınım ölçen diğer aletler kullanılarak gerçekleştirilmektedir [5].

Ultraviyole (UV) bölgesi spektrumdaki uzaktan algılama için kullanılabilir en kısa dalga boylarından oluşmaktadır. Bazı yüzey materyalleri, özellikle bazı taş ve mineraller, UV dalga boyundaki dalgalarla aydınlatıldığında görünür ışık yaymaktadırlar.



Şekil 2.3 Elektromanyetik spektrum (EMS)

İnsan gözünün algılayabildiği bölge, görünür spektrumdur. Görünür dalga boylarının aralığı yaklaşık olarak 0.4 – 0.7 μm olarak belirtilmektedir. En uzun görünebilir dalga boyu kırmızı, en kısası ise viole olarak bilinmektedir. Görünür bölge, tüm EMS içinde renk olgusu ile ilişkisi olan tek bölümdür. Bu bölgede;

Mavi : 0.446 – 0.500 μm
Yeşil : 0.500 – 0.578 μm
Kırmızı : 0.620 – 0.700 μm

aralıklarına denk gelmektedir.

Görünür bölgeden sonra gelen bölge, kızılötesi bölgedir. Bu bölge yaklaşık olarak 0.7 μm ile 100 μm dalga boyları arasında yer almakta olup yakın kızılötesi ve ısıl kızılötesi olarak iki kısımda incelenmektedir. Yakın kızılötesi bölgedeki ışınlam özellikleri görünür bölgedeki ile benzeşmekte ve dalga boyu 0.7 μm ile 3 μm aralığında bulunmaktadır. Isıl kızılötesinde ise görünür ve yakın kızılötesinden farklı olarak yayılan ışınlam, yeryüzü objelerinin yaydıkları enerjidir. Bu enerji ısı enerjisi formundadır. Bu bölgenin dalga boyu aralığı 3.0 μm –100 μm 'dir.

Uzaktan algılamada son dönemde daha yoğun çalışmaların yapıldığı bölüm ise dalga boyu aralığı 1mm ile 1m arasında olan mikro dalga bölgesidir. Bu bölge uzaktan algılamada kullanılan en uzun dalga boylarının bulunduğu bölgedir. Bu bölgede en kısa dalga boylarının bulunduğu bölge pasif mikrodalga bölgesi adlandırılır. Bu bölgedeki ışınlam ısıl bölgedeki dalgaların davranışlarıyla benzerlik göstermektedir [4].

2.2 Uzaktan Algılamada Enerjinin Atmosfer ve Yeryüzü ile Etkileşimleri

2.2.1 Atmosfer ile Enerji Etkileşimi

Kaynağı güneş olan elektromanyetik ışınlam atmosferden geçerken birçok farklı parçacıkla etkileşime girer. Bu etkileşim farklı şekillerde olabilmektedir. Saçılımda dalga atmosferde parçacıklarla karşılaştığında farklı bir yönde yayılmaya devam etmektedir. Yutulmada ise enerji parçacıklar tarafından emilmektedir. Her iki etkileşim biçiminde de enerji izlediği doğrultu boyunca azalmaktadır. Bu iki olay atmosferik zayıflama olarak tanımlanmaktadır [2].

2.2.1.1 Saçılma

Saçılım, elektromanyetik ışınlamın atmosfer içersindeki parçacıklar ve büyük gaz molekülleri ile etkileştiğinde gerçekleşir. Gelen enerjinin yönü böylelikle değişmiş olur. Saçılımın etkisi, ise yayılan ışınlamın dalga boyuna, bulunan gaz parçacıklarının yoğunluğuna ve enerjinin atmosferde ne kadar yol aldığına bağlı olarak değişmektedir. Bu faktörlere bağlı olarak üç farklı saçılım çeşidi sayılmaktadır. Bunlar Mie Saçılımı, Rayleigh ve Serbest Saçılım olarak adlandırılmaktadır.

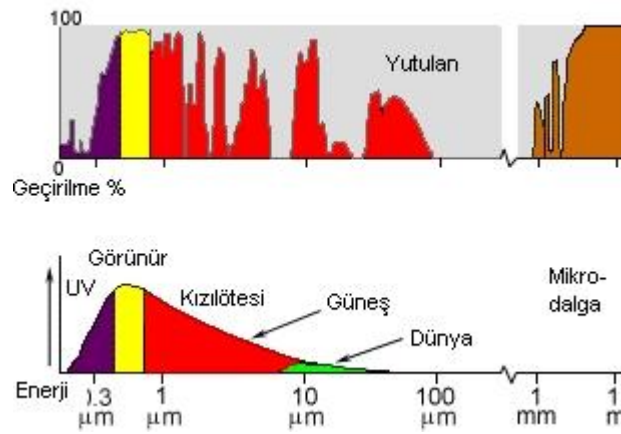
2.2.1.2 Yutulma

Bu fenomende saçılımdan farklı olarak atmosferdeki enerji yutulur. Ozon, karbondioksit ve su buharı elektromanyetik ışıını yutan başlıca moleküllerdir.

Ozon güneşten gelen enerjiden UV (ultraviyole) dalga boylarındaki ışıını yutmaktadır. Karbondioksit EMS un ısı kızılotesi bölgesine denk gelen dalga boylarını yutarak ısınım atmosferde tutulmasını sağlar. Bu moleküllerden üçüncüsü olan su buharı ise 22 μm ile 1mm arasında değişen dalga boylarının yutulmasına neden olmaktadır.

2.2.1.3 Atmosferik Pencere

Atmosferik pencereler EMS da dünyayı çevreleyen atmosferin transparan olduğu bölgelerdir. Bu bölgelerde uzaydan yeryüzünün gözlemlenebilmesi mümkündür. Şekil 2.4'te yer alan ilk grafikte, değişik dalga boylarında atmosferin elektromanyetik ışıını için ne kadar geçirgen olduğu görülmektedir. Bu grafikte eğrinin altında kalan alanlar atmosferik pencereleri göstermektedir. Bu bölgelerde enerji moleküllerle etkileşmeden ve yutulmadan geçiş yapmaktadır. Eğri altında kalan alanların büyüklüğü atmosferden geçerek ulaşan enerji miktarını göstermektedir [5].



Şekil 2.4 Atmosferik pencereler

Bunlara ek olarak, grafikte de görüldüğü gibi, atmosferin geçirgenliği görünür bölgede yüksektir. Bu bölgede atmosferde enerji kaybı, moleküllerin ve aerosollerin neden olduğu saçılım yüzünden gerçekleşir ancak temiz bir havada böyle bir enerji kaybı görülmemektedir.

Görünür bölgeden sonraki EMS bölgesine geçildiğinde (0.7 μm – 3 μm Yakın kızılotesi) su yutulma ve karbondioksit yutulma (2.8 μm) bantlarına rastlanmaktadır.

Kızılötesi bölgesinin ortalarına denk gelen (3 – 8 μm) aralıktaki 3.2 μm ile 4.2 μm arasında yer alan bölge genelde kullanılan bir atmosferik penceredir. Devam eden ısı kızılötesi bölgesinde 5 μm ile 8 μm arasında kuvvetli bir su absorpsiyon bandı bulunmaktadır. 8 ile 14 μm aralığı ise yine bilinen bir atmosferik penceredir. Ancak bu pencere 9 -10 μm aralığı ile kesintiye uğramaktadır. Bu aralık ise ozon yutulma bandı olarak bilinmektedir. 15 μm ile 1 mm arasındaki EMS bölgesi uzaktan algılama amaçlı kullanılmaktadır. Bu bölgenin ardından 1 mm dalga boyu ile başlayan radar spektrumu başlamaktadır.

Sonuç olarak en çok kullanılan iki enerji kaynağı güneş ve dünyanın özellikleri ile atmosferik pencerelerin özellikleri karşılaştırılarak uzaktan algılamada kullanılacak en verimli EMS aralıkları tespit edilmektedir. Görünür bölge atmosferik pencere özelliği göstermenin yanı sıra güneşin maksimum enerji yaydığı dalga boyunada denk gelmektedir. Aynı zamanda dünyanın yayımladığı ısı enerjiside 10 μm civarındaki pencereye denk gelmektedir.

2.2.2 Yeryüzü ile Enerji Etkileşimi

Yayılan enerjinin atmosferde saçılmayan ve yutulmayan bir kısmı yeryüzüne ulaşarak yeryüzündeki objelerle etkileşime girerler. Enerji bir yüzeye ulaştığında üç farklı şekilde davranabilmektedir [2].

Geçirilme– Gelen enerjinin bir kısmı transparan yüzey materyalleri tarafından geçirilirler. Bu maddelere örnek olarak su verilebilir. Transparan maddeden nüfuz eden enerjide belirli bir azalma olmaktadır.

Yutulma– Gelen enerjinin bir kısmı ise ortamdaki elektron veya moleküler reaksiyonlar yolu ile yüzeydeki madde tarafından yutulur. Bu enerji cismin ısınmasını sağlar. Yutulan enerjinin bir kısmı ise madde tarafından tekrar geri yayımlanır.

Yansıtım– Gelen enerjinin çoğunlukla %100’e yakın bir kısmı geri yansıtılır. Yüzeyden geri saçılan enerjinin hangi açıyla yansıdığı ise madde yüzeyinin pürüzlülüğüne ve enerjinin hangi açıyla geldiğine bağlıdır [5].

Geri yansıtılan enerji ile maddeye gelen enerjinin miktarları arasındaki oran “albedo” olarak tanımlanmaktadır. Yüksek albedoya sahip objeler üzerlerine düşen enerjinin büyük bir kısmını geri yansıtırlar ve bu yüzden görüntülerde daha parlak olarak görünmektedirler [7].

Bu 3 farklı şekilde davranan enerji miktarları çoğunlukla cisme gelen toplam enerji miktarına oranları ile ifade edilir. Söz konusu bu oran enerjinin etkileştiği maddenin fiziksel ve kimyasal karakteristiklerine bağlı olarak değişmektedir. Enerjinin korunum ilkesine bağlı olarak ve geçirilme oranını (τ), yutulma oranını (α), yansıtılma oranını (ρ) olarak kabul edildiğinde:

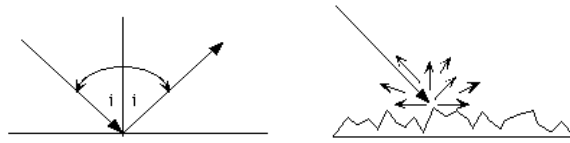
$$\tau + \alpha + \rho = 1 \quad (2.5)$$

Cismin üzerine düşen enerjinin ne şekilde davranacağı aynı zamanda gelen enerjinin dalga boyuna da bağlıdır. Bu yüzden aynı tür yüzey cisimleri sadece belirli spektral aralıklarda ayırt edilebilir.

Dalga boyunun yanı sıra cisme gelen enerjinin geri yansıtılması cismin yüzey geometrisine bağlı olarak da değişmektedir (Şekil 2.5). Bu bağlamda enerjiyi farklı şekillerde geri yansıtan iki farklı yüzey türü vardır. Düzgün yüzeyler gelen enerjinin geldiği açı ile geri yansımaya, pürüzlü yüzeyler gelen enerjinin birçok farklı açıda geri yansımaya neden olurlar. Burada bir yüzeyin pürüzlü ya da düzgün oluşu gelen enerjinin dalga boyuna bağlı olarak değişmektedir. Rayleigh saçılımını açıklarken kullanılan kriter aynı zamanda bir yüzeyin pürüzlülüğünün belirlenmesini sağlar.

$$h \leq \lambda / 8 \cos \theta \quad (2.6)$$

Formülde h yüzeydeki düzensizliği veren yükseklik, λ gelen ışının dalga boyu ve θ gelen ışının geliş açısı olarak alınmaktadır. Veriler yerine koyulduğunda formül doğrulanıyorsa cisim yüzeyi düzgün, dalga boyu büyük olduğunda ise pürüzlü olarak kabul edilir [5].

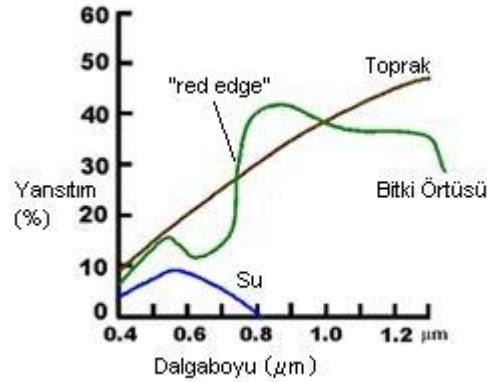


Şekil 2.5 Düz ve pürüzlü yüzeylerde yansıtımlar

2.3 Yeryüzü Objelerinin Spektral Yansıtımları

Yeryüzündeki doğal cisimlerin gelen enerjiyi nasıl geri yansıttıklarını miktar olarak belirtmek için geri yansıtılan ışının miktarı ölçülmektedir. Bu ölçü spektral yansıtım olarak adlandırılmakta olup, dalga boyunun fonksiyonu şeklinde değişmektedir. Spektral yansıtımın dalga boyuna göre değişiminin grafiği ise

spektral yansıtım eğrisi olarak adlandırılır (Şekil 2.6). Spektral yansıtım eğrisinin şekli hedef cismin karakteristiği konusunda bilgi verir. Aynı zamanda yansıtım eğrisi belirli yüzey maddeleri ile uzaktan algılama çalışmalarında kullanılacak dalga boyu aralığının karar verilmesine ve buna bağlı data seçimine yardımcı olur. Spektral yansıtım eğrileri farklı yüzey maddelerinin birbirinden ayırt edilebilmesini ve maddelerin tanınabilmesini sağladığı için spektral imzalar olarak da adlandırılırlar [8].



Şekil 2.6 Başlıca yeryüzü objelerinin spektral yansıtım eğrileri

2.3.1 Bitki Örtüsünün Spektral Yansıtımı

Bitki örtüsü ile elektromanyetik enerji arası etkileşimde fotosentez etkin bir rol oynar. Bitki fotosentez yaptığı sırada bitkinin hücrelerinde ve vasküler sisteminde suyun bulunmaması bu etkin rolü belirleyen faktördür. Klorofil bitkinin fotosentez yapabilmesi için gerekli bir pigmenttir. Klorofilin görevi güneşten gelen ışınımı yutarak fotosentezi başlatmaktır. Klorofil tarafından en fazla yutulan iki dalga boyu 0.45 ve 0.68 mikrondur. Elektromanyetik spektrumda mavi ve kırmızı renk görünür bölgeye denk gelen dalga boyları sağlıklı bitkilerin neden yeşil görüldüğünü açıklamaktadır.

Klorofil belirli sıcaklıklarda kararsız bir birleşiktir. Bitkiler klorofilin sıcaklığa bağlı olarak bozulmaması için savunma olarak kızılötesi enerji yaymaktadır. Yaprak üzerine düşen enerjinin bir kısmı, yaprak hücrelerindeki su tarafından yutulur. Yutulan enerjinin miktarı ise hücrelerde bulunan suyun miktarına bağlıdır. Bitkinin hücresel yapısındaki farklılıklar ve bulundurduğu klorofil ve diğer pigmentlerin yüzdeleri, farklı bitki çeşitlerinin kızılötesi ve görünür banttaki spektral özelliklerini belirler.

Bitki örtüsü yansıtımı 0.7 ve 0.75 mikron aralığında hızlı bir artış göstermektedir. Bu ani değişiklik ise “red edge” olarak adlandırılır (Şekil 2.6). Tam olarak bulunduğu yer ve yoğunluğu ise bitkinin sağlık koşullarına da bağlıdır. Böylelikle bitki türlerinin belirlenebilmesi ve bitkinin sağlık durumu konusunda bilgi alınabilmesi spektral yansıtım eğrilerinin analizi ile gerçekleşmektedir [8].

2.3.2 Toprağın Spektral Yansıtımı

Toprak genelde görüntülerde farklı renklerde görünmektedir. Bunun sebebi ise toprağı içeriğindeki farklı maddelerdir. Bunlar mineraller, kil parçacıkları ve organik materyaller olarak sıralanabilir. Bu 3 farklı madde temel olarak toprağın yansıtım eğrisinin şeklini belirlemekle birlikte tipik bir toprak yansıtım eğrisi spektrumun mavi bölgesinden kırmızı bölgesine doğru ilerlerken belirli bir çıkış gösterir (Şekil 2.6) [9]. Bunların yanı sıra toprakta nem miktarı yeteri miktarda az olduğunda toprağın yansıtımı maksimumdur. Bu değer nem miktarı belirli bir seviyenin üzerine çıkmadığı sürece de belirgin bir düşüş göstermez [10].

2.3.3 Suyun Spektral Yansıtımı

Görünür dalga boylarında gelen enerji ve su kütlesi arasındaki etkileşim birçok faktöre bağlıdır. Bunlardan başlıcaları enerjinin geliş açısı ve su yüzeyinde oluşan dalgaların şekilleri olarak sayılmaktadır. Görünür bölgede suyun geçirgenliği dalga boyu arttıkça azalmaktadır. Bunun bir sonucu olarak sadece mavi ışık suya nüfuz ederken büyük dalga boylu enerji su tarafından yutulmaktadır. Aynı zamanda nüfuz eden ışığın bir kısmında suyun içinde saçılma uğrar. Rayleigh kriterine uygun olarak gerçekleşen bu saçılımda düşük dalga boyu olan mavi ışınım yutulmadan su yüzeyinden saçılır. Bu olay temiz su kütlelerinin neden mavi görünmesinin nedenini açıklar.

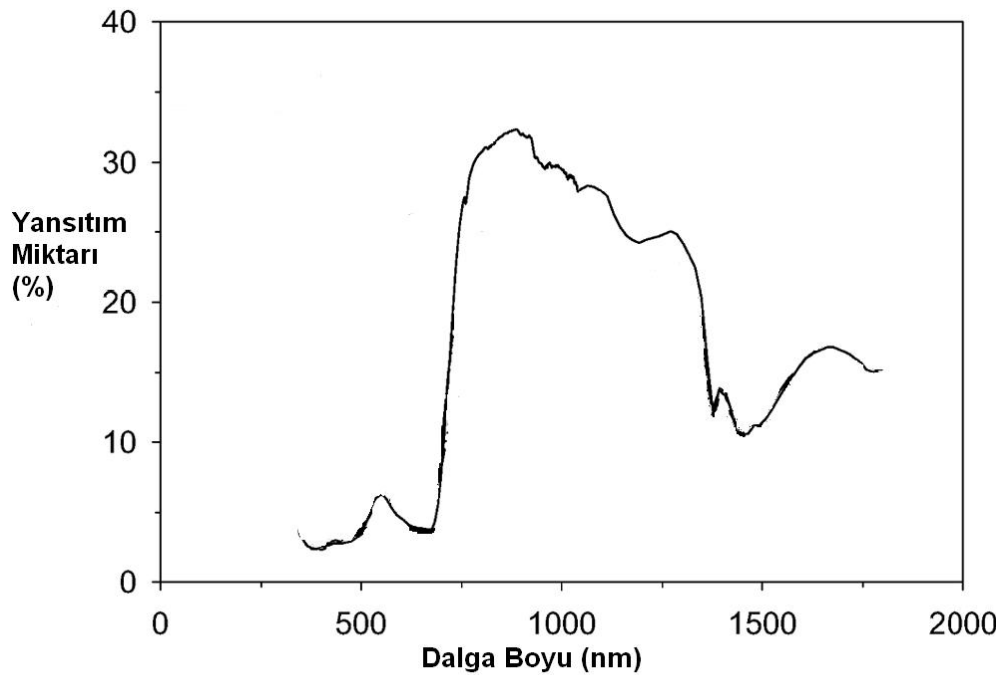
Suyun içinde bulunan farklı maddeler, planktonlar ve doğal bazı pigmentler, suyun görünür bölgede yansıtımının artmasına neden olurlar. Suyun derinliği bilindiği sürece içinde bulunan partiküllerin miktarının tespiti uzaktan algılama yöntemleri ile mümkündür. Kırmızı bölgede ise su tam bir siyah cisim olarak davranır ve üzerine gelen enerjinin tümünü yutar. Ayrıca su bu özelliği gösteren tek doğal yüzeydir.

Saf su bulunduran taş ve toprak gibi maddeler de enerjiyi daha çok emerler ve böylelikle nemli toprak ve taş çeşitleri görünür bölgede kuru olanlara oranla daha

koyu görünürler. Bu maddelerin spektral eğrileri kızılötesi bölgede düşüş gösterir (Şekil 2.6) [8].

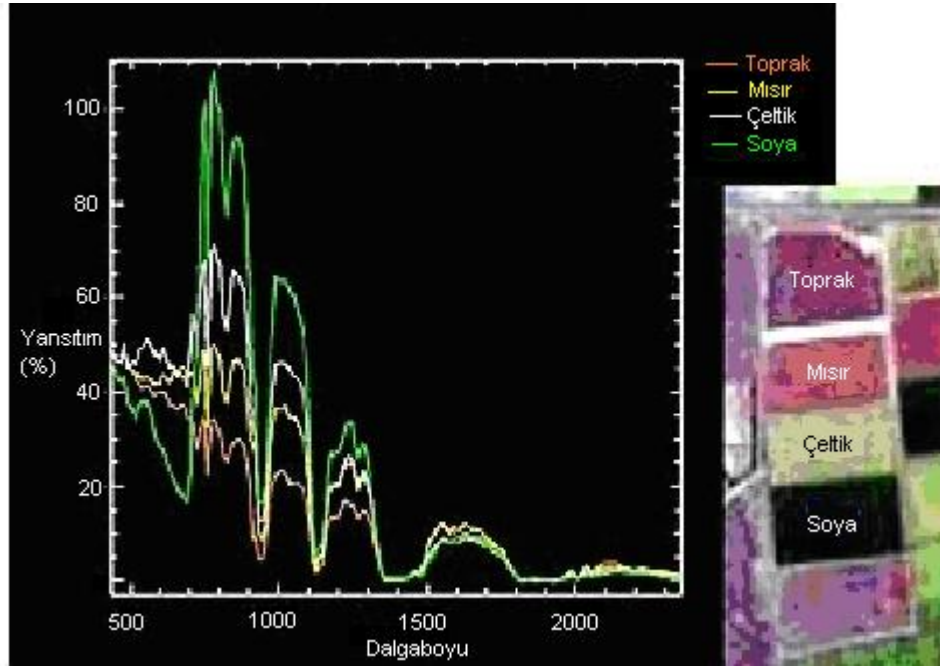
2.3.4 Çeltiğin Spektral Yansıtımı

Sağlıklı bir çeltik bitkisinin spektral yansıtımı genel olarak Şekil 2.6’da görülen bitki örtüsü yansıtımının özelliklerini taşımaktadır. Ancak çeltik bitkisi, sağlık durumu, ihtiva ettiği nem miktarı veya büyüme döngüsünün hangi evresinde bulunduğu gibi bir takım etkenlere bağlı olarak farklı yansıtım özellikleri gösterebilmektedir. Çeltiğin EMS un görünür, yakın kızılötesi, kısa dalga kızılötesi bölgelerindeki yansıtımını gösteren ortalama bir grafik Şekil 2.7’de verilmektedir.



Şekil 2.7 Çeltiğin spektral yansıtım grafiği

Çeltiğin spektral yansıtım grafiği incelendiğinde 0.7-0.75 mikron aralığındaki hızlı artışın çok belirgin olduğu görülmektedir. Çeltiğin yansıtımının maksimum olduğu dalga boyu ise 0.85-0.90 mikron aralığıdır. Çeltiğin ortalama olarak yansıtımı %50 değerini geçmezken Şekil 2.8’de de görüldüğü gibi ölçüldüğü zamana ve türüne bağlı olarak %70’lere çıkabilmektedir. Çeltiğin diğer tarla bitkilerine göre ayırt edici özelliği ise görünür bölgede yaklaşık 0.55 mikron dalga boyunda yansıtımının daha hızlı bir şekilde artmasıdır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 03/07/2001 tarihli EO1-Hyperion verisinden elde edilmiş toprak, çeltik, mısır ve soya bitkilerinin yansıtım eğrileri [11]

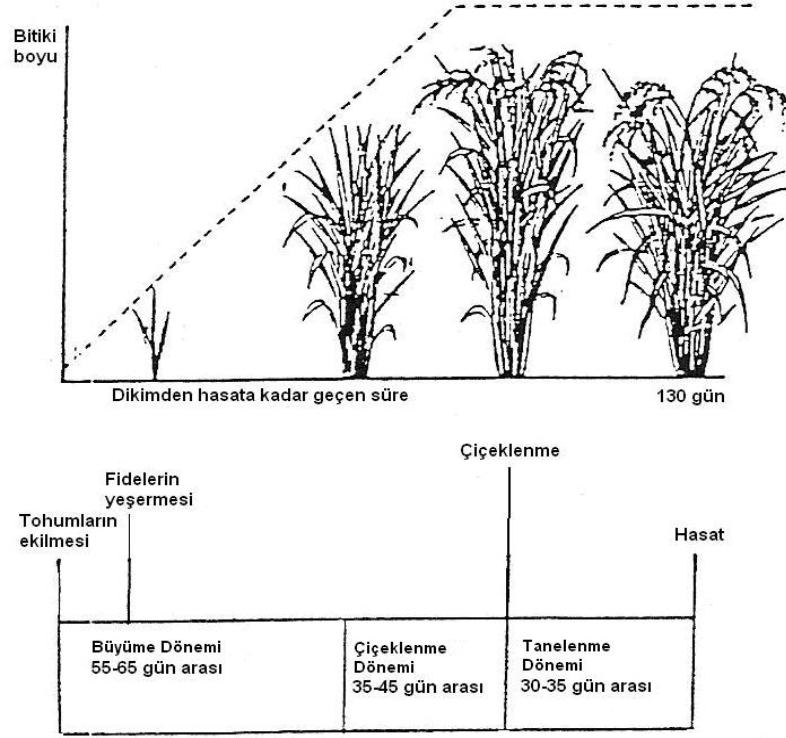
Tipik bir çeltik geri yansıtım eğrisi farklı dalga boylarında değişiklik gösterdiği gibi farklı büyüme evrelerinde de değişik yansıtım özellikleri sergilemektedir [24]. Çeltik bitkisinin büyüme döngüsü 120-180 gün gibi bir sürede tamamlanmaktadır. Bu döngü fenolojik olarak 3 temel evreden oluşmaktadır. Bu evreler: büyüme, çiçeklenme, tanelenme olarak sıralanır.

Büyüme: Çeltik bitkisi su ile dolu tarlalara tohumların ekilmesi veya fidanların dikilmesi ile başlar. Bu evre boyunca genç çeltik fidanlarının boyları uzar.

Çiçeklenme: Yapraklar, ikincil ve üçüncül gövdeler oluşur. Bitkiler maksimum yüksekliklerine ulaşırlar.

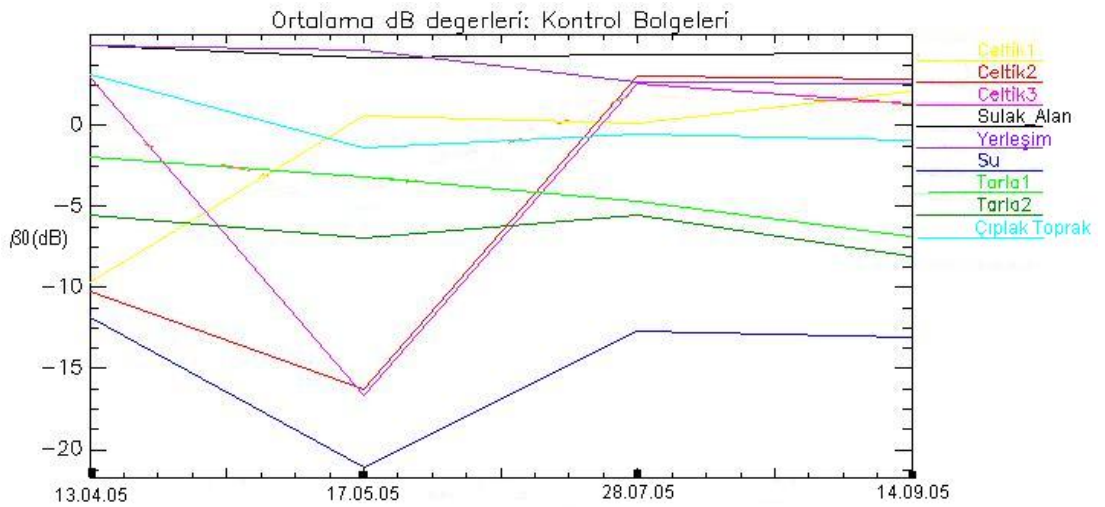
Tanelenme: Bitkilerin taneleri gelişir. Bitkideki nem oranı azalır. Bazı bölgelerde tarlalardan su çekilir. Bu evrenin sonunda hasat yapılmaktadır .

Şekil 2.9'da verilen grafikte çeltik bitkisinin büyüme döngüsü boyunca gelişimi ve ortalama olarak her bir evrenin ne kadar sürdüğü gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Çeltik bitkisinin büyüme evreleri

Pasif algılama sistemleri ile yapılan çalışmaların yanısıra aktif algılama sistemleri (örneğin; ERS, Radarsat-1) ile yapılan araştırmalarda radar geri yansıtımının çeltiğin büyüme dönemi boyunca karakteristik özellik taşıdığını göstermiştir. Bu karakteristik grafiğin nedeni çeltiğin büyüme dönemi boyunca bitkinin yapısında ve büyüdüğü ortamda olan belirgin değişikliklerdir. Çeltiğin diğer tarla bitkilerine kıyasla düzenli ve karakteristik bir büyüme döngüsü vardır. Bunun bir sonucu olarak geri yansıtım eğrisi zamanla bağlı olarak çizildiğinde diğer ürün çeşitlerinden açık bir şekilde ayrılır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Çeltik ve bazı tarla bitkilerinin Radarsat-1 geri yansıtım eğrileri

Çeltik bitkisinin geri yansıtım eğrisinin değişim göstermesine neden olan etkenleri sıralamak gerekirse; öncelikle bitkinin yükseklik ve biyokütle gibi parametreleridir. Aynı zamanda büyüme döngüsü içerisinde zamana bağlı olarak değişimler gösterir. Bunların dışında önemli üçüncü etken ise ekilen çeltiğin ekim tarihine ve ekildiği tarlalara bağlı olarak farklı yansıtımlar görülebilir. Ayrıca büyüme döngüsü sırasında izlenen tipik yansıtım grafiği eş olmayan ekim tarihine, rüzgar etkisine ve farklı ekim tekniklerine bağlı olarak çeşitli ürünler incelendiğinde farklılıklar gösterebilmektedir.

3 UZAKTAN ALGILAMA UYDULARI

1958 yılında Sovyetler Birliğinin Dünya etrafında yörüngeye yerleştirdiği Sputnik adlı uydu ile başlayan uydu teknolojisinin gelişimi günümüzde de hızla devam etmektedir [4]. İlk fırlatılan uyduların çoğu haberleşme amaçlı iken, günümüzde Dünya etrafındaki yörüngelerinde hareket etmekte olan farklı amaçlı birçok uydu sistemi bulunmaktadır. Bunlar meteoroloji uyduları, haberleşme uyduları, astronomi ve uzay araştırma uyduları, askeri amaçlı uydular ve yeryüzünü algılayan uzaktan algılama uyduları olarak sınıflandırılabilir. Uzaktan algılama uyduları, üzerlerinde taşıdıkları algılayıcılar yardımı ile yeryüzünü görüntülemekte ve bu yolla elde edilen görüntüler yeryüzünü araştırma amaçlı birçok çalışmada girdi olarak kullanılmaktadır.

3.1 Uyduların Genel Özellikleri

Her uydu dünya çevresinde belirli bir yörüngede hareket etmektedir. Uydular sahip oldukları yörüngeye göre;

- Sabit Yörüngeli Uydular
- Kutupsal Yörüngeli Uydular

şeklinde 2 gruba ayrılmaktadırlar.

Sabit yörüngeli uydular dünyanın dönüş hızı ile aynı hızda hareket etmektedirler ve sadece dünyanın belirli bir bölgesini görmektedirler. Bu tip uydular, yeryüzünden 36.000 km^2 kadar yüksekliğe sahip olup, genelde meteoroloji ve haberleşme amaçlı kullanılmaktadır.

Kutupsal yörüngeli uydular yaklaşık olarak 860 km yükseklikteki bir yörüngede olup, güneşe göreceli olarak sabit bir pozisyonda bulunmaktadırlar. Bu

hareketlerinden dolayı güneş senkronlu uydular olarak da adlandırılırlar. Kutupsal yörüngeli uydular ekvator üzerinden yerel saatle aynı zamanda geçmektedirler. Bu uydular kuzey-güney (alçalan) ve güney-kuzey (yükselen) yönlerinde hareketleri ile yörüngelerini tamamlamaktadırlar. Güney-kuzey geçişini yapan güneş senkronlu bir algılayıcı güneşin yeryüzünün aydınlatmadığı tarafında olduğu için ancak termal algılama veya kendi göndermiş olduğu enerjinin geri yansıyan kısmını algılayabilirler.

Uyduların yörüngeleri boyunca taradıkları alanın genişliği, yeryüzünden ne kadar yüksekte oldukları ve yörüngelerini tamamlama zamanları da algılayıcıların ve bu algılayıcılardan elde edilen sonuç görüntülerin özelliklerini belirleyici temel unsurlardır.

Aktif olarak yörüngede bulunan ve yörüngeye yerleştirilmesi beklenen uyduların taşıdığı algılayıcılar ve bunların ürünü olan dijital görüntüler hakkında bilgi verebilmek için öncelikle çözünürlük kavramını tanımlamak gerekmektedir. Çözünürlük bir algılayıcı söz konusu olduğunda ayırt edilebilecek en iyi detay datayı toplayabilmek olarak açıklanabilir. Uydu ve uydu görüntülerinin karakteristiğini belirleyen 4 farklı çözünürlük vardır.

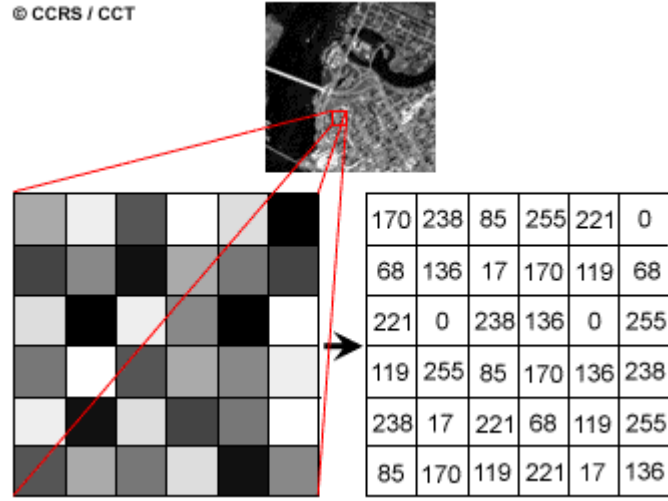
3.1.1 Mekansal Çözünürlük

Bir uydu görüntüsünde görünen detaylar algılayıcının mekansal çözünürlüğüne bağlıdır ve mekansal çözünürlük ayırt edilebilen en küçük cismin büyüklüğü olarak tanımlanır [4].

Yeryüzünden yansıyan güneş enerjisini algılayarak görüntü üreten uydularda mekansal çözünürlük algılayıcının yeryüzünde görmüş olduğu alanın büyüklüğü ile belirlenir. Yeryüzünde algılanan minimum alan görüntünün maksimum mekansal çözünürlüğüne eşittir.

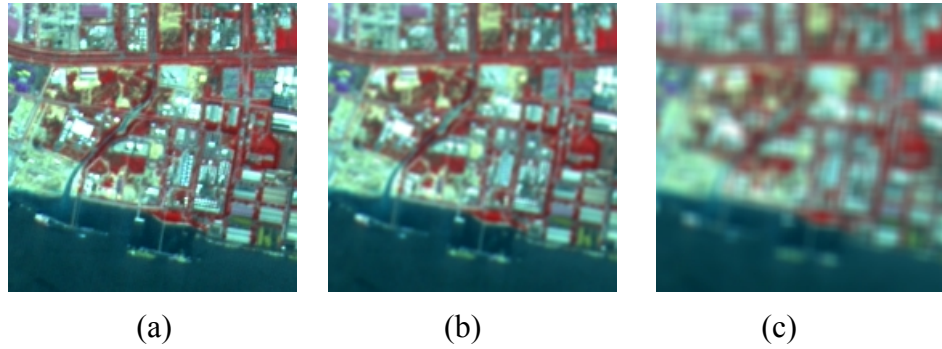
Dijital görüntüler piksel denilen görüntü elemanlarının oluşturduğu matrisler olarak kabul edilmektedir (Şekil 3.1). Pikseller mekansal çözünürlükle ilişkilendirildiğinde: Eğer bir algılayıcının çözünürlüğü 1m ise bu algılayıcıdan elde edilen görüntünün her bir pikseli 1mx1m lik bir alana karşılık gelmektedir. Aynı örnek üzerinden devam edildiğinde; eğer bu alan içerisinde boyutu 1m'den küçük cisimler bulunuyorsa bunlar sonuç görüntüde ayırt edilemeyecektir. Ancak cismin etrafındaki

cisimlere oranla büyüklüğü daha fazla ise veya kontrastı yüksekse baskın yansıtımından dolayı söz konusu piksel bu cisme karşılık gelecektir.



Şekil 3.1 Dijital görüntü [4]

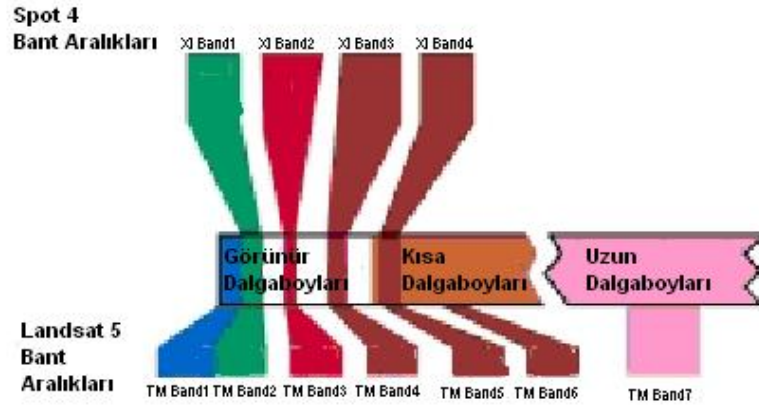
Algılayıcıların mekansal çözünürlükleri ne kadar fazla ise yeryüzünde algılanan alanın büyüklüğü o kadar küçüktür (Şekil 3.2). Günümüzde ticari amaçlı kullanılan en yüksek çözünürlüklü uyduların mekansal çözünürlükleri 0,6 m olarak bilinmektedir.



Şekil 3.2 Farklı mekansal çözünürlükteki görüntüler (a) 10 m (b) 30 m (c) 80 m [12]

3.1.2 Spektral Çözünürlük

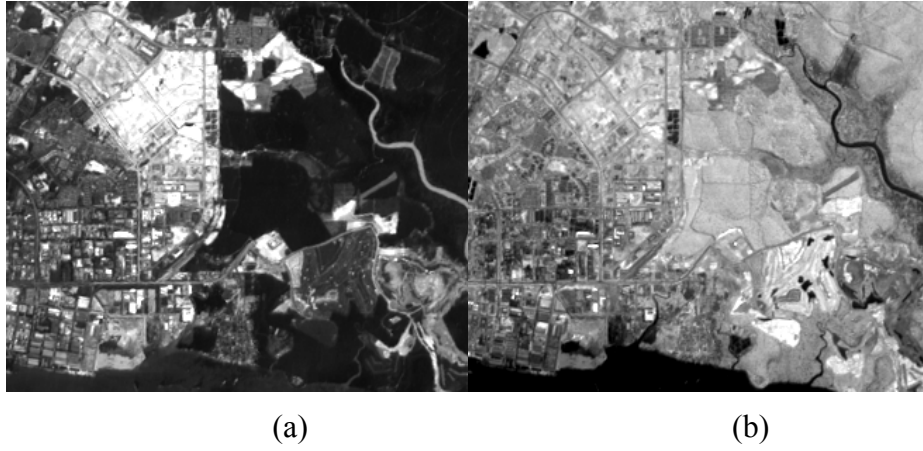
Spektral çözünürlük bir algılayıcının elektromanyetik spektrumun hangi dalga boyu aralıklarında algılama yapabildiğini gösterir. Spektral çözünürlüğün daha iyi olması, algılayıcının belirli bir bandı için dalga boyu aralığının daha dar olması demektir. Bu şekilde algılayıcı farklı yansıtımlara sahip yeryüzü objelerini ayırt edilebilmektedir. Şekil 3.3'te Landsat 5 TM ile SPOT 4 XI uydularının spektral çözünürlüğü karşılaştırmalı olarak verilmektedir.



Şekil 3.3 Landsat 5 TM ile Spot 4 uydularının spektral bant aralıklarının karşılaştırılması

Yapılacak çalışmalarda çalışma amacına göre belirlenmiş hedef durumundaki farklı objelerin ayırt edilebilmesi için yeterli sayıda spektral bantı bulunan algılayıcılar tercih edilmelidir.

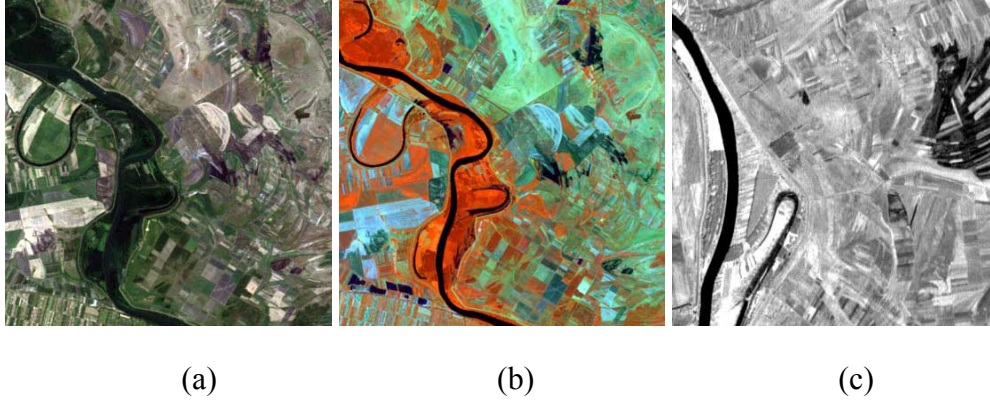
Bir çok uzaktan algılama sistemi birden fazla dalga boyu aralığında ve farklı spektral çözünürlüklerde enerji kaydetmektedir[4] (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Farklı spektral çözünürlükteki görüntüler (a) Spot XS 2.bant görüntüsü
(b) Spot XS 3.bant görüntüsü [12]

Bu tip algılayıcılar çok bantlı (multi-spektral) algılayıcılar olarak adlandırılır. Günümüzde spektral çözünürlüğü yüksek olarak değerlendirilen 7 ve 14 bantlı uzaktan algılama uyduları mevcuttur. 100 ve daha fazla bantlı algılama sistemlerine ise hiperspektral algılayıcılar denmektedir. Farklı bantlarda algılanan enerjinin oluşturduğu görüntüler dijital ortamda farklı katmanlara yerleştirilip renkli görüntüler elde edilmektedir. Ayrıca aynı algılayıcının mevcut diğer bantlarından daha yüksek mekansal çözünürlüklü ancak daha düşük spektral çözünürlüklü tek bir

banтта yaptığı algılama ile siyah-beyaz (pankromatik) görüntüler de elde edilmektedir (Şekil 3.5).



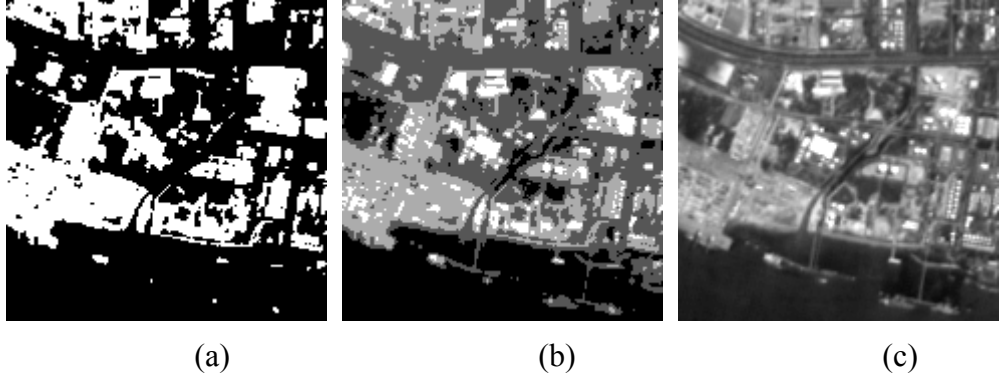
Şekil 3.5 Farklı optik uydu görüntü örnekleri (a) Doğal renkli görüntü (b) Yanlış renkli görüntü (c) Siyah-beyaz görüntü (07/2000, Belgrad Landsat 7) [13]

3.1.3 Radyometrik Çözünürlük

Uzaktan algılama ürünü olan görüntülerin radyometrik çözünürlüğünü belirleyen algılayıcının elektromanyetik enerjiyi algılayabilme hassasiyetidir. Radyometrik çözünürlüğün daha yüksek olması demek, algılayıcının yansıyan ya da yayılan enerjideki daha küçük değişiklikleri algılıyor olması demektir [4].

Dijital görüntülerin oluşturan matrisde her bir piksel (x_n, y_n) gibi bir konuma ve $f(x_n, y_n) = DN$ gibi bir değere sahiptir. DN “digital number” olarak ifade edilir. Her bir pikselin taşıdığı bu değer o pikselin görüntüde taşıdığı renk tonunu belirler ve aynı zamanda o pikselin yeryüzünde karşılık geldiği cismin yansıttığı ya da yaydığı enerjiyi gösterir. Dijital ortamda bu değerler 2^n şeklinde ifade edilirler. Formülde geçen “n” datanın kaç bitlik olduğunu göstermektedir. Eğer algılayıcı algıladığı enerjiyi n bitlik olarak kaydederse elde edilen sonuç görüntüde 2^n adet renk tonu olacaktır ve DN değerleri de 0 siyah ve 2^{n-1} beyaz rengi gösterecek şekilde bu iki değer arasında değişecektir.

Şekil 3.6’daki görüntülerde ayırt edilebilen detayların artışından anlaşıldığı üzere radyometrik çözünürlük algılayıcının kullandığı bit sayısı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Günümüzde uzaktan algılama uydularının çoğu 8 bit ve bazı yüksek çözünürlüklü uydular ise 11 bit olarak algıladıkları enerjiyi kaydetmektedirler.

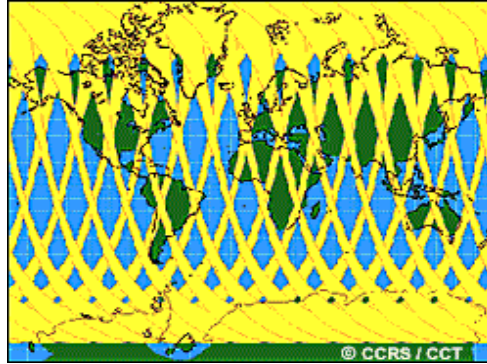


Şekil 3.6 Farklı radyometrik çözünürlükteki görüntüler (a)1, (b)2, (c)8 bit [12]

3.1.4 Zamansal Çözünürlük

Zamansal çözünürlük, bir algılayıcının yeryüzü üzerindeki belirli bir bölgeyi birbirini takip eden iki algılaması arasında geçen zaman olarak tanımlanmaktadır. Bu zaman günümüz uydularında 3 ile 15 gün arasında değişmektedir. Zamansal çözünürlük büyük ölçüde uydunun aynı bölgeyi tekrar görmesine yani bir tam yörüngeyi tamamlama süresine bağlıdır.

Ancak kutupsal yörüngeli uydularda, kutuplara yakın enlemlerde, ardarda geçişlerde gördüğü alanların, yoğunlukla birbiriyle örtüşmesi ve uydu platformuna yerleştirilen bazı sistemler nedeni ile zamansal çözünürlük yörüngeyi tamamlama süresinden daha kısa olabilmektedir. Şekil 3.7’de Radarsat-1 uydusunun kutupsal yörüngesi görülmektedir.



Şekil 3.7 Kutupsal uydu yörüngesi (Radarsat-1) [4]

Bir algılayıcının zamansal çözünürlüğü, belirli periyotlarda tekrarlanan değişimleri izleme (ürünün vejetasyon sürecinin incelenmesi), zaman içerisinde gerçekleşen değişimleri izleme (şehirleşmenin incelenmesi), kısa süreli olayların izlenmesi (su baskınlarının incelenmesi) gibi zamanın kritik olduğu uzaktan algılama uygulamalarında önemlidir. Şekil 3.8 a ve b’de 2004 yılında Hint okyanusunda

meydana gelen deprem sonucu oluşan tsunami öncesi ve sonrasını gösteren Quickbird görüntüleri gösterilmektedir.



(a)



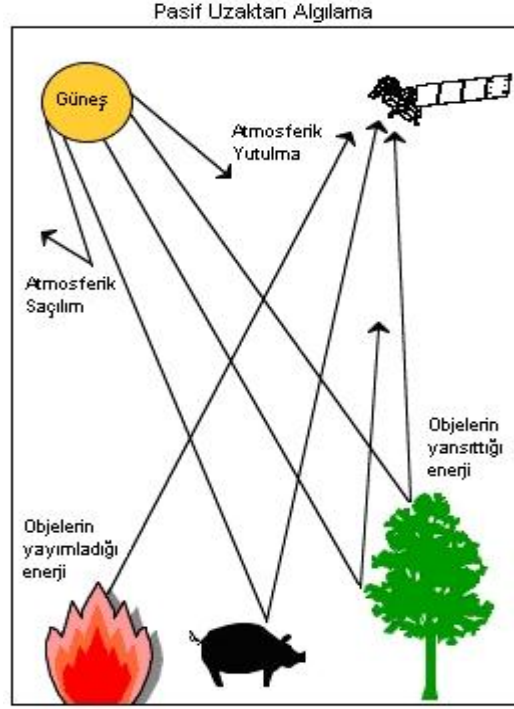
(b)

Şekil 3.8 Farklı zamanlı görüntüler (a) Banda Aceh 23/06/04 (Tsunamiden önce)
(b) Banda Aceh 28/12/04 (Tsunamiden sonra) [14]

Yüksek zamansal çözünürlük demek daha kısa görüntüleme aralığı olarak tanımlanabilir ancak sürenin daha kısa olmasından çok izlenecek değişimin süresine bağlı olarak yeterli miktarda kısa olması uzaktan algılama uygulamaları için daha önemlidir.

3.2 Yörüngede Bulunan Uzaktan Algılama Uyduları

Uzaktan algılama uydu sistemleri iki farklı grupta incelenecektir. Bu iki grup, algılama yöntemlerine göre “Aktif Algılama Uyduları” ve “Pasif Algılama Uyduları” şeklinde belirlenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Pasif algılama

3.2.1 Pasif Algılama Yapan Uydu Sistemleri

Pasif algılamada algılayıcı yeryüzüne herhangi bir enerji göndermeden, güneşin gönderdiği enerjiyi geri yansıtan veya kendi sahip oldukları ısı enerjisinden dolayı enerji yayan cisimleri algılar. Bu tip sistemler elektro-optik sistemlerdir. Pasif algılayıcıların elektromanyetik spektrumun görünür ve kızılötesi bölgelerinde veri toplayabilmesi için gün ışığına ihtiyaçları vardır. Ancak bu durum ısı bantları için geçerli değildir. Pasif algılama yapan başlıca uzaktan algılama uyduları mekansal çözünürlüklerine göre Quickbird, Ikonos, Orbview3, EROS-A1, SPOT 5, IRS, Kompsat-1, SPOT (1,2,3,4), Terra (Aster, Modis), Landsat (MSS, TM, ETM), EO1(Hyperion, ALI), NOAA-AVHR, ENVISAT-MERIS, Orbview2 (Sea Wifs) olarak sıralanabilir.

3.2.1.1 SPOT 2/4/5

Yeryüzü kaynaklarını görüntüleyen ilk Spot uydusu 1986 yılında fırlatılmıştır. Fırlatılan Spot uydularından (1,2,3,4,5) bugün işler durumda olanlar Spot 2, Spot 4 ve 2002 yılında fırlatılan Spot 5 uydularıdır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Spot 4 uydusu

Spot uydu görüntüleri (Şekil 3.11), uydularının taşıdığı bitki örtüsü algılama cihazları sayesinde, tarımsal çalışmalarda optimum çözümler üretilmesini sağlamaktadır. Bunun yanı sıra bu uydu verileri, SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) üretiminde, kartografik çalışmalarda, ormancılık ve çevre çalışmalarında da kullanılmaktadır.

Spot 2, 4 ve 5 uydularının teknik özellikleri Tablo 3.1 ve 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.1 SPOT 2 ve SPOT 4 uydularının teknik özellikleri

İşletmeci	CNES			
Fırlatılma Tarihi	02/1990 (2) – 03/1998 (4)			
Mekansal Çözünürlük	10 m PAN	20 m MS		
Görüntü Boyutu	60 km x 60 km			
Radyometrik Çözünürlük	8 bit			
Zamansal Çözünürlük	26 gün			
Algılayıcıları	Çok Bantlı Yüksek Çözünürlüklü Algılayıcı Pankromatik, Yüksek Çözünürlüklü Algılayıcı			
Spektral Çözünürlük (µm)	0.51 – 0.73 (2) / 0.61 – 0.68 (4) PAN			
	0.50 – 0.59 (2,4)	0.61- 0.68 (2,4)	0.78 -0.89 (2,4)	1.58- 1.75 (4)

Tablo 3.2 SPOT 5 uydusunun teknik özellikleri

İşletmeci	CNES			
Fırlatılma Tarihi	05/2002			
Mekansal Çözünürlük	2.5m/5mPAN	10 m MS	20 m	
Görüntü Boyutu	60 km x 60 km			
Radyometrik Çözünürlük	8 bit			
Zamansal Çözünürlük	26 gün			
Algılayıcıları	Çok Bantlı Yüksek Çözünürlüklü Algılayıcı, Pankromatik Yüksek Çözünürlüklü Algılayıcı			
Spektral Çözünürlük (µm)	0.48 - 0.71 PAN			
	0,50-0,59/0,61-0,68/0,78-0,89/1,58-1,75			



(a)



(b)

Şekil 3.11 Farklı mekansal çözünürlükteki Spot uydu görüntüleri (a) 20 m çözünürlüklü Spot, Sudi Arabistan (b) 2.5 m çözünürlüklü Spot 5 Toulouse [15], [16]

3.2.1.2 TERRA

Şekil 3.12’de görülen TERRA uydusu NASA tarafında 1999 yılında fırlatılmıştır. Uydu üzerinde 5 farklı enstrüman (ASTER, CERES, MISR, MODIS, MOPITT) bulunmaktadır.



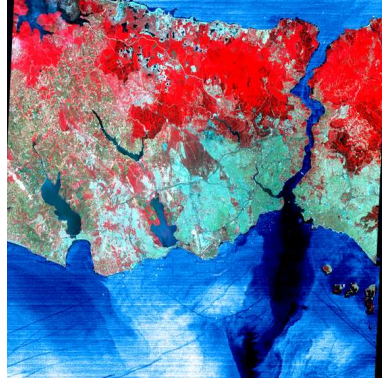
Şekil 3.12 Terra uydusu

Bunlardan ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) algılayıcısının toplam 14 bandı ve ısı ve kızılötesi bölgede algılama yapan 11 bandı bulunduğu için özellikle jeolojik çalışmalarda ASTER görüntüleri tercih edilmektedir (Şekil 3.13). Bunun dışında tarımsal çalışmalar, ormancılık çalışmalarında ve SYM oluşturma amaçlı olarak ta kullanılmaktadır.

MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) algılayıcısı 1-2 günlük zamansal çözünürlüğe ve 250-500 m mekansal çözünürlüğe sahip olduğu için yeryüzündeki küçük ölçekli değişimlerin izlenmesi için kullanılmaktadır.

Tablo 3.3 Terra Aster algılayıcısının teknik özellikleri

İşletmeci	NASA		
Fırlatılma Tarihi	1999		
Mekansal Çözünürlük	15 m Görünür B.	30 m Kısa dalga kızılötesi B.	90 m Termal kızılötesi B.
Görüntü Boyutu	60 km x 60 km		
Radyometrik Çözünürlük	8 bit – 12 bit		
Zamansal Çözünürlük	16 gün		
Spektral Çözünürlük (µm)	0.52-0.60/0.63-069/0.78-0.86	1.60-1.70/2.14-2.18/2.18-2.22/2.23-2.28/2.29-2.36/2.36-2.43	8.12-8.47/8.47-8.82/8.92-9.27/10.25-10.95/10.95-11.65



(a)

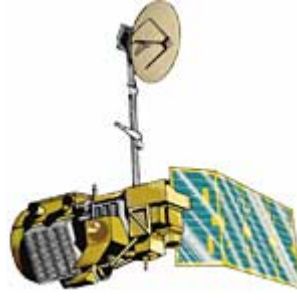


(b)

Şekil 3.13 Farklı Terra algılayıcı sistem görüntüleri (a) 15 m çözünürlüklü Aster (b) 500 m çözünürlüklü MODIS [17]

3.2.1.3 LANDSAT (1/2/3/4/5/7)

İlk Landsat uydusu Landsat-1 1972 yılında uzaya fırlatılmıştır. Bu uyduyu takiben 1975 yılında Landsat-2 ve ardından 1978 yılında Landsat-3 yörüngeye yerleştirilmiştir. Bu uydular artık aktif değildir. Landsat 1/2/3 uyduları üzerinde MSS (Multi Spectral Scanner) algılayıcıları bulunmaktaydı. Günümüzde halen aktif olan Landsat 5 ve aktif olmayan Landsat-4 üzerinde ise TM (Thematic Mapper) bulunmaktadır (Şekil 3.14). Bu uydulardan sonra fırlatılan Landsat-6 ise şanssız bir şekilde düşmüştür. Günümüzde halen yörüngede bulunan ve fırlatılan son Landsat uydusu Landsat-7'dir. Bu uydu ise üzerinde ETM (Enhanced Thematic Mapper) algılayıcısı bulundurmaktadır. Landsat 4, 5 ve 7 uydularına ait teknik özellikler Tablo 3.4 ve 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.14 Landsat 5 uydusu

Tablo 3.4 Landsat-4 ve 5 uydularının teknik özellikleri

İşletmeci	NASA		
Fırlatılma Tarihi	1982-84 (4)/ 1987-... (5)		
Mekansal Çözünürlük	30 m (120 m Termal Bant çözünürlüğü)		
Görüntü Boyutu	183 km x 183 km		
Radyometrik Çözünürlük	8 bit		
Zamansal Çözünürlük	16 gün		
Algılayıcı	TM		
Spektral Çözünürlük (µm)	0.45-0.52/0.52-0.60/0.63-0.69 (Görünür B.)	0.76-0.90/1.55-.75/2.08-2.35 (Kızılötesi B.)	10.4-12.5 (Termal kızılötesi B.)

Tablo 3.5 Landsat-7 uydusunun teknik özellikleri

İşletmeci	NASA		
Fırlatılma Tarihi	1999		
Mekansal Çözünürlük	15 m PAN	30 m MS	60 m
Görüntü Boyutu	185 km x 185 km		
Radyometrik Çözünürlük	8 bit		
Zamansal Çözünürlük	16 gün		
Algılayıcı	ETM		
Spektral Çözünürlük (µm)	0.52-0.90 PAN		
	0.45-0.52/0.53-0.61/0.63-0.69 Görünür B.)	0.78-0.90/1.55-1.75/2.08-2.35 (Kızılötesi B.)	10.4-12.5 (Termal B.)

Landsat uydu görüntülerinin kullanıldığı uygulama alanları; ormancılık, tarım, doğal afetlerin izlenmesi, jeoloji, değişim saptanma olarak sıralanabilir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Landsat-7, 321 bantları ile oluşturulmuş doğru renkli görüntü, Belgrad [13]

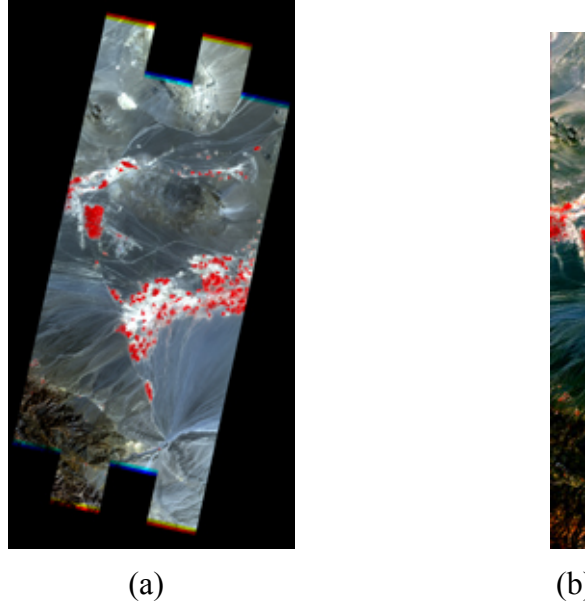
3.2.1.4 EO-1

NASA Yer Gözlem Uydusu EO-1 2000 yılında atılmıştır (Şekil 3.16). Üzerinde Advanced Land Imager (ALI) ve Hyperion algılayıcıları bulunmaktadır. EO-1 uydusu, Landsat 7 uydusunu 1 dakika ara ile takip etmektedir.



Şekil 3.16 EO-1 uydusu

ALI algılayıcısına ait görüntüler Landsat-7 görüntüsünün beşte biri genişliğindedir. Hyperion algılayıcısı şerit şeklinde 7.7km. genişlikli görüntüler vermektedir (Şekil 3.17). Hyperion algılayıcısı en yüksek spektral çözünürlüğe sahiptir (Tablo 3.7). Bu özelliğinden dolayı özellikle mineral aramalarında ve jeolojik haritaların üretiminde kullanımı yaygındır. ALI ve HYPERION algılayıcılarına ait teknik özellikler Tablo 3.6 ve 3.7’da verilmiştir.



Şekil 3.17 Farklı EO-1 algılayıcı sistem görüntüleri (a) ALI (b) Hyperion
İran,09/10/2002 [18]

Tablo 3.6 EO-1 ALI algılayıcısının teknik özellikleri

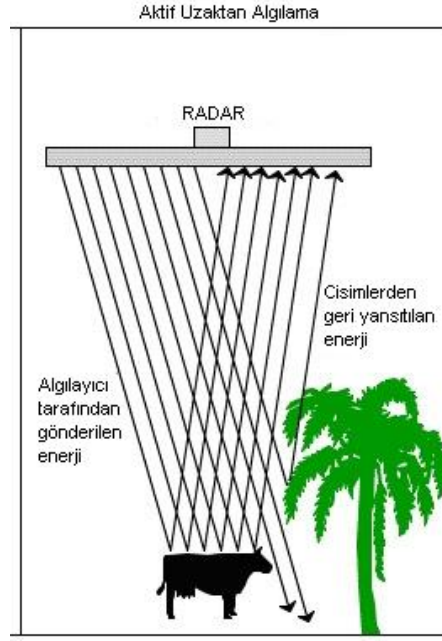
İşletmeci	NASA	
Fırlatılma Tarihi	2000	
Mekansal Çözünürlük	10 m PAN	30 m MS
Görüntü Boyutu	37kmx42km	37kmx185km
Radyometrik Çözünürlük	12 bit	
Zamansal Çözünürlük	16 gün	
Algılayıcı	ALI	
Spektral Çözünürlük (μm)	0.48-0.69 PAN	9 farklı bandı mevcuttur

Tablo 3.7 EO-1 HYPERION algılayıcısının teknik özellikleri

İşletmeci	NASA
Fırlatılma Tarihi	2000
Mekansal Çözünürlük	30 m MS
Görüntü Boyutu	7.7kmx42km/7.7kmx185km
Radyometrik Çözünürlük	12 bit
Zamansal Çözünürlük	16 gün
Algılayıcı	HYPERION
Spektral Çözünürlük (μm)	0.40-2.5 aralığında 220 bandı mevcuttur

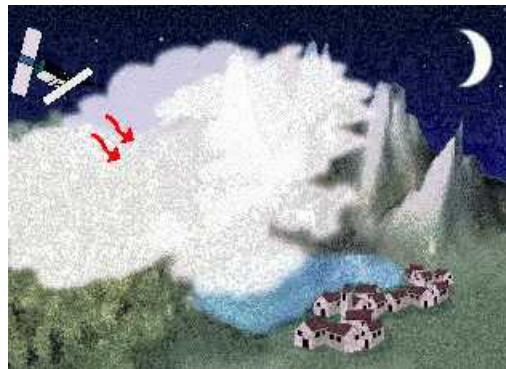
3.2.2 Aktif Algılama Yapan Uydu Sistemleri

Bu sistemler yeryüzüne kendi enerjilerini gönderirler ve bu enerjinin yeryüzü cisimleri tarafından geri yansıtılarak üzerlerindeki antene dönen enerjiyi algırlar. Çalışma prensipleri ve ürün görüntüleri açısından optik sistemlerle aralarında birçok fark vardır.



Şekil 3.18 Aktif algılama

Aktif algılama sistemlerinin kendi gönderdikleri enerji sayesinde algılama yaptıkları için güneş ışığına ihtiyaçları yoktur. Bu durumda hem gece hem de gündüz algılayabilme özelliğine sahiptirler. Ayrıca elektromanyetik spektrumun mikro dalga bölgesinde enerjiyi gönderir ve geri yansıtılan enerjiyi algılar. Mikro dalga bölgesinde enerji uzun dalga boylarına sahip olması nedeni ile birçok atmosferik koşullardan (bulut, sis gibi) etkilenmezler (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 Radar algılama sisteminin avantajları

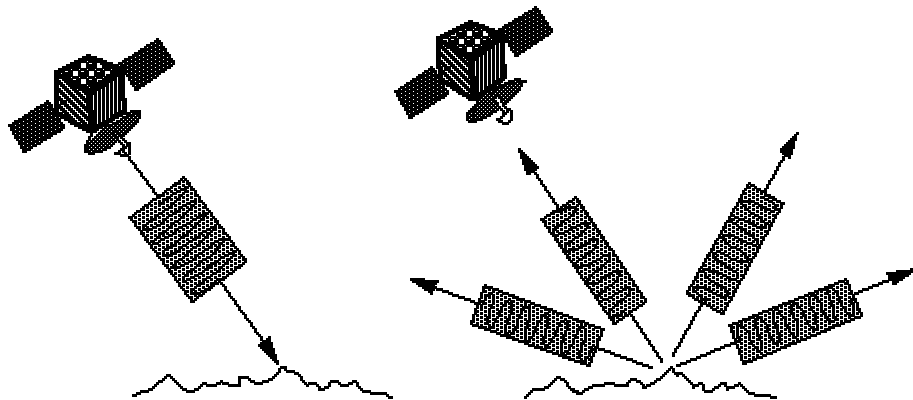
Aktif algılama sistemleri RADAR (RADio Detection and Ranging) ve LIDAR (LIGHt Detection and Ranging) şeklinde sıralanabilir. Bu çalışmada radar verileri kullanıldığından öncelikle radar sistemleri ve elde edilen radar görüntülerinin özellikleri detaylı olarak açıklanacaktır.

Radar bir mikrodalga uzaktan algılama sistemidir. Radarın elektromanyetik spektrumunda çalıştığı dalga boyu aralığı yaklaşık 1 cm ile 100 cm (1m) arasına denk gelir. Frekans aralığı olarak verildiğinde ise bu değerler 40.000 MHz (40 GHz) ile 300 MHz' e eşittir (Tablo 3.8) [5].

Tablo 3.8 Radar sistemlerinde sıklıkla kullanılan bant aralıkları

Bantlar	Frekans Aralığı (MHz)	Dalga Boyu Aralığı (cm)
Ka	40.000 – 26.500	0.8 – 1.1
K	26.500 – 18.500	1.1 – 1.7
X	12.500 – 8.000	2.4 – 3.8
C	8.000 – 4.000	3.8 – 7.5
L	2.000 – 1.000	15 – 30
P	1.000 - 300	30 - 100

Görüntü üreten bir radar sistemi yeryüzünde hedeflediği alana saniyede 1500 kuvvetli enerji darbesi gönderir. Yeryüzüne ulaşan bu radar enerji darbeleri birçok yöne doğru geri yansır. Geri yansıyan bu enerjinin bir kısmı radar antenine geri döner. Geri dönen radar ekoları anten tarafından belirli bir polarizasyonda alınır ve dijital data olarak kayıt edilir (Şekil 3.20) [19].



Şekil 3.20 Radar sisteminde gönderilen ve yansıyan dalgalar [19]

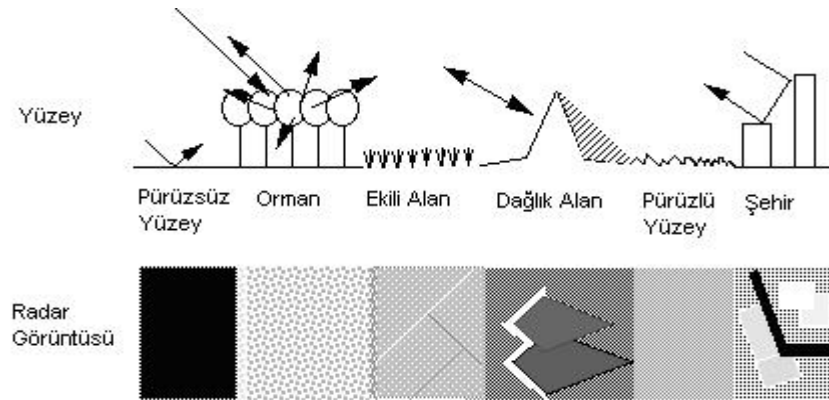
Radar tarafından gönderilen enerji ışık hızında hareket etmektedir. Bu enerjinin antenden çıkış ve dönüş zamanları kaydedilerek yeryüzündeki hedef ile radar anteni arasındaki mesafe belirlenmiş olur.

Radar antenine geri dönen enerjinin kuvveti de sistem tarafından ölçülür. Radarda cisimden geri yansıtılan enerjinin değerlendirilmesi için radar geri yansıtım katsayısı “ σ_0 ” veya piksel radar geri yansıtım parlaklık değeri “ β_0 ” kullanılır. Bu kavramlar verilerin kalibre edilmesi ile elde edilir ve birimleri desibeldir. Geri dönen enerjinin güçlü veya zayıf olması durumuna göre radar görüntüsündeki piksellerin renk tonu daha açık ya da daha koyu olmaktadır [19].

Geri yansıyan enerjinin miktarını ise birçok kompleks parametre belirler. Bunlar

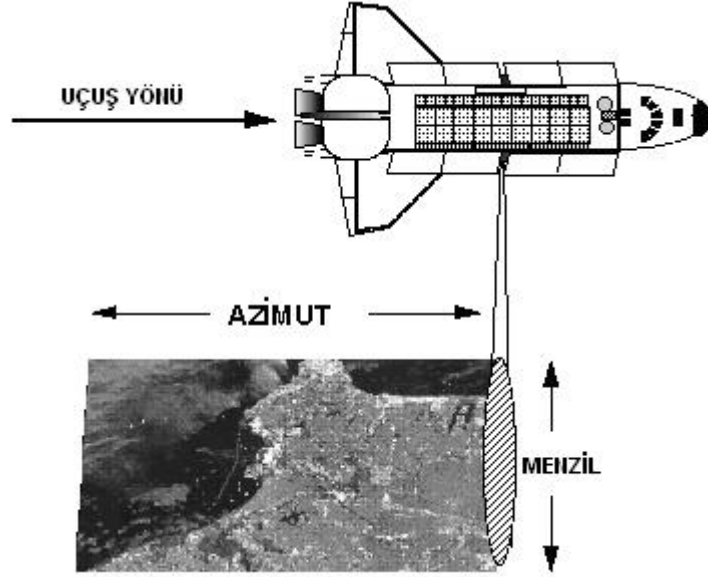
- yüzeyin geometrisi
- yüzeyin dielektrik katsayısı iki genel başlık altında toplanabilir.

Ancak bunların yanında kullanılan enerjinin dalga boyu, bakış açısı ve gönderilen enerji dalgalarının polarizasyonu da geri yansıtılan enerji miktarını etkilemektedir. Tüm bu sıralanan parametrelerin değerlendirilmesi sonucu radar görüntüsü yorumlanabilmektedir. Örneğin, pürüzsüz yüzeylerde antene geri dönen enerji olmazken pürüzlü yüzeylerde kuvvetli geri yansıtım beklenir. Ancak bir yüzeyin pürüzlü ya da pürüzsüz olarak kabul edileceği kullanılan enerjinin dalga boyuna bağlı olarak değişir. Şöyle ki, yüzeydeki değişkenliklerin boyu dalga boyundan daha küçükse yüzey pürüzsüz, büyük ise pürüzlü olarak kabul edilecektir. Bu örneğe ek olarak; dielektrik katsayısı yüksek olan nemli ve metal yüzeylerin geri yansıtımları kuvvetli olacak, enerjinin geliş doğrultusuna ve dağ, tepe gibi yeryüzü şekillerinin eğim açılarına bağlı olarak bu şekillerin geri yansıtımları çeşitlenecektir. Bazı yeryüzü şekillerinin geometrilerine bağlı olarak radar görüntülerindeki renk tonları Şekil 3.21’de gösterilmektedir.



Şekil 3.21 Yeryüzü şekillerinin geometrilerinin radar görüntülerine etkileri [19]

Radar sistemlerinde mekansal çözünürlüğü etkileyen faktörler de optik sistemlerden farklılık gösterir. Radarın hareket yönüne bağlı olarak iki farklı çözünürlükten bahsedilmektedir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22 Radar sistemlerinde 2 farklı yöndeki mekansal çözünürlük [19]

Hareket yönü doğrultusunda olan çözünürlük “Azimut çözünürlüğü” olarak tanımlanır. Azimut çözünürlüğünün daha yüksek olması antenden gönderilen ışın demetinin genişliğinin daha büyük olmasını gerektirir. Bu büyüklük ise anten genişliğinin büyüklüğü ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Başka bir deyişle anten boyutunun büyük olması azimut çözünürlüğünü artırır. Antenin fiziksel olarak büyütülmesi belirli bir genişlik değerinden sonra mümkün olamayacağı için SAR (Synthetic Aperture Radar) denilen sistemler geliştirilmiştir. SAR sistemlerinde kısa bir antenle yapılan algılamada datanın farklı tekniklerle kayıt ve proses edilmesi ile fiziksel olarak çok daha geniş bir antenle algılama etkisi yaratılır [1].

Hareket doğrultusuna dik doğrultudaki çözünürlük ise menzil çözünürlüğü olarak tanımlanır. Bu yönde çözünürlüğün yüksek olması için radar anteni tarafından gönderilen enerji dalgaları arası mesafenin uzun olması başka bir deyişle seçilen bant aralığının geniş olması gerekmektedir.

Günümüzde yeryüzü kaynaklarını görüntüleyen radar sistemlerinin başlıcaları Radarsat-1, ERS-1/2 ve ENVISAT(ASAR) uyduları olarak sıralanmaktadır. Bu sistemlerin yanısıra yörüngeye 21/01/2006 tarihinde atılmış olan ALOS uydusu üzerinde de aktif algılayıcı sistem (PALSAR) bulunmaktadır. Radarsat-2 ve

TerraSAR-X ise 2006 yılı içerisinde yörüngeye fırlatılması beklenen diğer aktif algılama sistemleridir [20].

3.2.2.1 RADARSAT-1

Radarsat-1 yörüngeye 1995 yılında fırlatılmıştır (Şekil 3.23). Üzerinde taşıdığı SAR sistemi ile yeryüzünü algılar. Sadece C bandında ve yatay yatay polarizasyonda aktif algılama yapar. Zamansal çözünürlüğü 24 gündür.



Şekil 3.23 Radarsat-1 uydusu

SAR algılayıcısı farklı geliş açılarında data toplayabilmektedir. Bu özellik Radarsat-1'in farklı ışın demeti modlarında algılama yapmasını sağlar. Her bir demet modu geliş açısına, yerdeki nominal kaplama alanına ve menzil yönündeki nominal çözünürlüğüne bağlı olarak özelleşir. Farklı demet modları ve özellikleri Şekil 3.24'de verilmektedir.

Başlıca ışın demeti modları :

Standart mod, geliş açısına göre değişen 7 farklı tip ışın demeti modundan oluşur. Geliş açısı 20 ile 49 arasında değişir. S1, S2 gibi adlandırılan bu modların mekansal çözünürlükleri azimut doğrultusunda 28 m ve menzil doğrultusunda 25 m'dir. Yerde kapladığı şerit genişliği 100 km'dir.

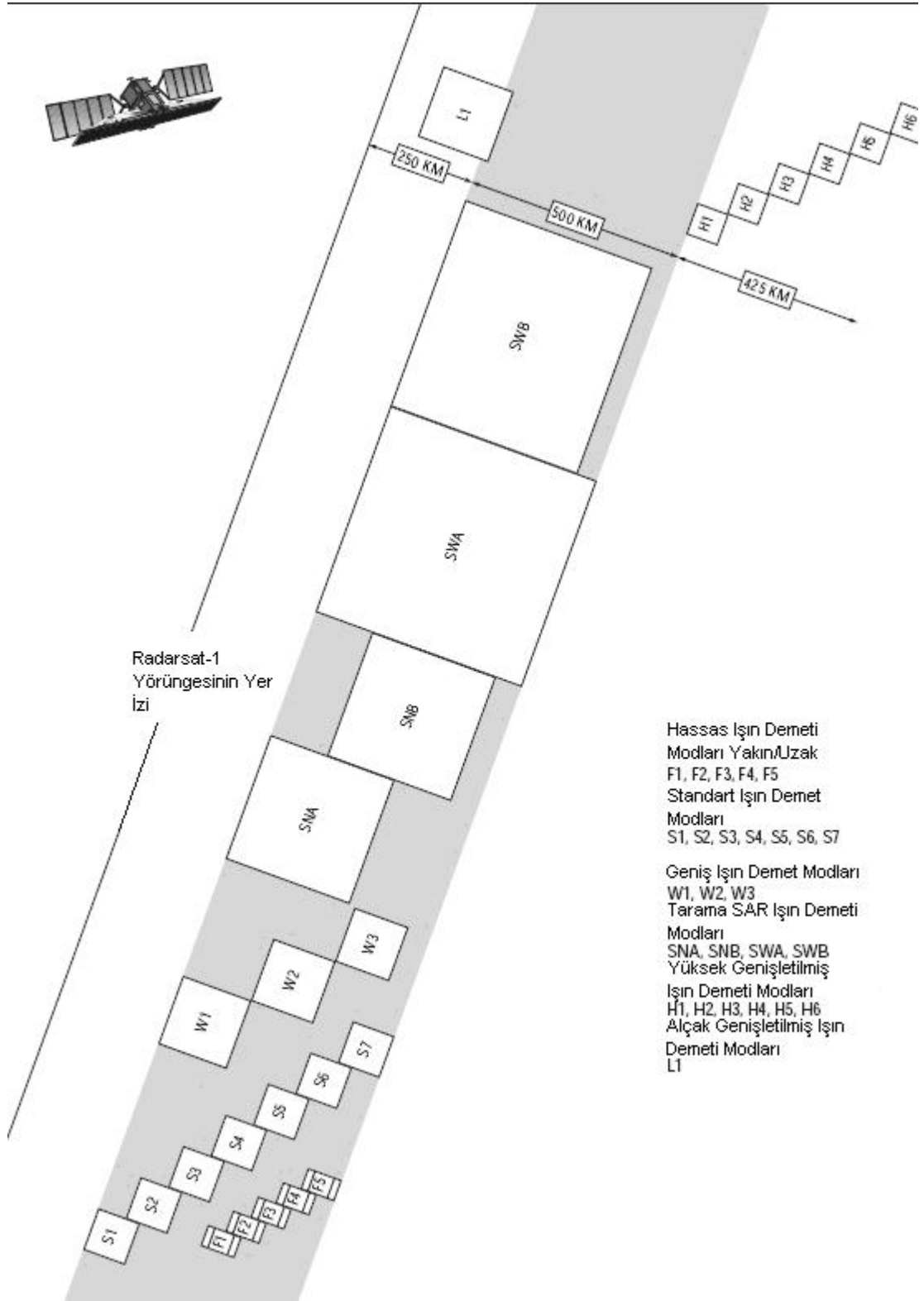
Hassas Mod, geliş açısına göre değişen 5 farklı tip ışın demeti modundan oluşur. Geliş açısı 35 ile 49 arasında değişir. F1, F2 gibi adlandırılan bu modların mekansal çözünürlükleri azimut doğrultusunda 9 m ve menzil doğrultusunda 8-9 m'dir Yerde kapladığı şerit genişliği 50 km'dir.

Geniş Mod, geliş açısına göre değişen 3 farklı tip ışın demeti modundan oluşur. Geliş açısı 20 ile 45 arasında değişir. W1, W2 gibi adlandırılan bu modların mekansal çözünürlükleri azimut doğrultusunda 28 m ve menzil doğrultusunda W1'in 35m, W2'in 27 m, W3'in 23 m'dir Yerde kapladığı şerit genişliği 150 km'dir.

Genişletilmiş Mod, yüksek ve alçak genişletilmiş mod olarak ikiye ayrılır. Yüksek genişletilmiş mod geliş açısına göre değişen 6 farklı tip ışın demeti modundan (EH1, EH2...,EH6) oluşur. Geliş açısı 50 ile 60 arasında değişir. Alçak genişletilmiş moda

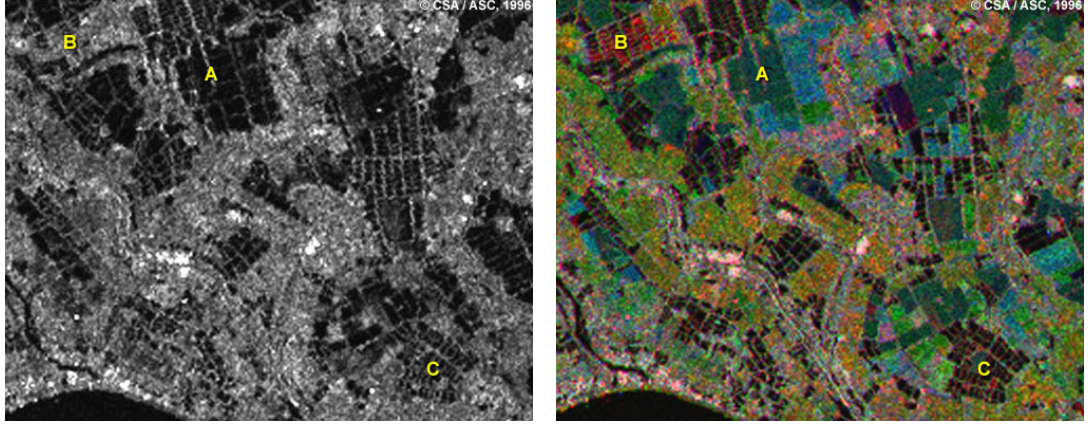
ise tek tip mod (EL1) vardır. Geliş açısı 10 ile 20 arasındadır. Bu modların mekansal çözünürlükleri azimut doğrultusunda 25 m ve menzil doğrultusunda 28 m'dir Yerde kapladığı şerit genişliği 75 km'dir.

Tarama SAR modunda dar ve geniş olmak üzere iki tip tarama modu vardır. Dar modda mekansal çözünürlükler azimut doğrultusunda 50 m ve menzil doğrultusunda 50 m'dir. Yerde kapladığı şerit genişliği 300 km dir. Bu moda geliş açısı aralıkları 20-40 ve 32-46 şeklindedir. Geniş tarama modunda ise geliş açısı 20 ile 50 arasında değişmektedir. mekansal çözünürlükler azimut doğrultusunda 100 m ve menzil doğrultusunda 100 m'dir. Yerde kapladığı şerit genişliği ise 500 km'dir.



Şekil 3.24 Radarsat-1 farklı demet modları [21]

Radarsat-1 farklı demet modlarında algılama yapabilmesi sayesinde yeryüzünde 50 km den 500 km genişliğe kadar bir alanı farklı çözünürlüklerde algılayabilme özelliğine sahiptir. Bu özelliği ile farklı uzaktan algılama uygulamalarına yönelik farklı çözümler sunan radar görüntülerinin elde edilmesi mümkündür (Şekil 3.25).



(a)

(b)

Şekil 3.25 (a) Radarsat-1 Standart mod (S5) görüntüsü (06/04/1996) (b) Farklı tarihlerde alınan Radarsat-1 görüntülerinden oluşmuş renkli görüntü [4]

Radarsat-1 verilerinin devamlılığını sağlayacak olan Radarsat-2 uydusunun 2006 yılı içerisinde yörüngeye fırlatılacağı planlanmaktadır. Radarsat-2, Radarsat-1 ile aynı algılama modlarına sahip olmasının yanı sıra; ultra hassas mod ile 3m mekansal çözünürlüklü görüntüleme ve değişken polarizasyonlu algılama gibi geliştirilmiş teknik özelliklere sahip olacaktır [22].

3.2.2.2 ERS-1/2

ERS-1 uydusu 1991 yılında fırlatılmıştır ve artık aktif değildir. Günümüzde halen aktif olarak algılama yapan ERS-2 uydusu ise 1995 yılında fırlatılmıştır (Şekil 3.26).



Şekil 3.26 ERS 2 uydusu

ERS uydusu üzerinde farklı amaçlara hizmet eden enstrümanlar vardır. Bunlar RA(Radio Altimeter), ATSR (Along Track Scanning Radiometer), MWR (Microwave Sounder), WS (Wind Scatterometer), GOME (Global Ozone Measuring Enst.), AMI (Active Microwave Instrument) olarak sıralanabilir. AMI üzerindeki SAR algılayıcısı ürün olarak radar görüntüleri verdiği için bu çalışmada sadece bu algılayıcı ile ilgili bilgi verilmektedir.

ERS görüntüleri interferometri uygulamalarında, tarım, ormancılık, SYM oluşturulması, toprak nemi haritalaması, deformasyon ölçümleri gibi çalışmalarda kullanılmaktadır (Şekil 3.27). ERS-2 uydusunun teknik özellikleri Tablo 3.9’de verilmiştir.

Tablo 3.9 ERS 2 uydusunun teknik özellikleri

İşletmeci	ESA	
Fırlatılma Tarihi	(ERS-2) 1995	
Algılayıcı	SAR (Yapay açıklıklı radar)	
Mekansal Çözünürlük	30 m (azimut)	26.3 m (menzil)
Radar Bandı	C	
Zamansal Çözünürlük	35 gün	
Tarama Alan Genişliği	100 km	
Polarizasyon	Düşey	



Şekil 3.27 ERS-1 SAR görüntüsü, Lizbon, Portekiz, 2001 [23]

3.2.2.3 ENVISAT ASAR

Şekil 3.28’de görülen ve 2002 yılında fırlatılan ENVISAT uydusu üzerinde yer alan ASAR algılayıcısı 3 farklı modda aktif algılama yapabilmektedir.



Şekil 3.28 ENVISAT uydusu

Bu uydu, ERS-1 ve 2 üzerindeki SAR algılayıcısı ile devamlılık sağlamaktadır. Radarsat-1 gibi farklı geliş açılarında algılama yapabilme özeliğine sahiptir. Bu

özellik ile yeryüzünde kapladığı şerit genişliğini 400 km'ye kadar genişletebilmektedir. Aynı zamanda ASAR algılayıcısının gönderdiği ve aldığı enerjinin polarizasyonunu seçebilme özelliği de mevcuttur (Tablo 3.10). Bu da farklı uygulamalar için farklı ürün seçenekleri sunabilmesini sağlamaktadır. Farklı tarihlerde alınmış ASAR görüntülerinden oluşturulmuş renkli kompozit görüntü Şekil 3.29 verilmektedir.

Tablo 3.10 Envisat ASAR algılayıcısının teknik özellikleri (H:yatay polarizasyon
V:düşey polarizasyon)

İşletmeci	ESA		
Fırlatılma Tarihi	2002		
Algılayıcı	ASAR		
Mekansal Çözünürlük	30mGörüntü M.	30mDeğişkenPl.M.	150mGeniş Tar. M
Radar Bandı	C		
Zamansal Çözünürlük	35 gün		
Tarama Alan Genişliği	100 km	100 km	400 km
Polarizasyon	VV/HH	HH/VV,HH/HV veya VV/VH	HH/VV



Şekil 3.29 Çok zamanlı ASAR görüntülerden oluşturulmuş renkli radar görüntüsü,
(Kırmızı:23/08/03, Yeşil:01/11/03, Mavi:05/04/03)

3.2.2.4 ALOS PALSAR

ALOS, 21/01/2006 tarihinde yörüngeye fırlatılmıştır [24]. Üzerinde 3 farklı algılama sistemi taşımaktadır. Bunlar PRISM (Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping), AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2) ve PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) algılayıcılarıdır [25]. PRISM üç farklı optik sistemden oluşturulmuştur. PRISM yeryüzüne ait yüksek çözünürlüklü yükseklik modelleri elde edebilmek amacı ile tasarlanmıştır. AVNIR-2 ise görünür ve yakın kızılötesi bantlarında algılama yaparak arazi kullanım haritaları oluşturma amaçlı olarak tasarlanmıştır. Şekil 3.30’de görülen PALSAR aktif algılama sisteminin teknik özellikleri Tablo 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.30 ALOS uydusu üzerindeki PALSAR algılayıcısının görüntüsü

Tablo 3.11 ALOS PALSAR algılayıcısının teknik özellikleri [26]

İşletmeci	JAXA	
Fırlatılma Tarihi	2006	
Algılayıcı	PALSAR	
Mekansal Çözünürlük	10m(Görüntü M)	100m(Tarama SAR M)
Radar Bandı	L	
Zamansal Çözünürlük	46 gün	
Tarama Alan Genişliği	70 km	250 -350 km
Polarizasyon	HH,VV,HH&HV,VV&VH	HH,VV

3.2.2.5 TERRA SAR-X

Almanya Uzay ve Havacılık merkezi ile Infoterra GmbH isimli özel şirketlerin ortak yatırımı olan Terra SAR-X uydusu 31/10/2006 tarihinde yörüngeye fırlatılacaktır (Şekil 3.31) [27]. Üç farklı modda algılama yapacak olan Terra SAR-X uydusunun teknik özellikleri Tablo 3.12’de verilmiştir. Algılayıcının 3 farklı modda ürün vermesi planlanmaktadır. Bu modlar: Spot Işığı, Şerit Haritalama, Tarama SAR modlarıdır.



Şekil 3.31 Terra SAR-X Uydusu

Tablo 3.12 Terra SAR-X uydusunun teknik özellikleri [27]

İşletmeci	DLR & Infoterra GmbH		
Fırlatılma Tarihi	2006		
Algılayıcı	TERRA SAR-X		
Mekansal Çözünürlük	1m	3m	16m
Radar Bandı	X		
Tekrar Görüntüleme Süresi	2,5-11 gün		
Tarama Alan Genişliği	10 km	30 km	100 km
Polarizasyon	HH/VV, HH/HV veya VV/HV		

4 ÜRÜN HARİTALAMASINDA UZAKTAN ALGILAMA UYGULAMALARI

Uzaktan algılama uydularından elde edilen görüntüler, yeryüzünün kaynakları ve bu kaynaklarla insan etkileşimleri konusunda geniş bir perspektif sunmaktadır [17]. Tarım da uzaktan algılamanın bize büyük avantajlar sunduğu uygulama alanlarından biridir. Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte uzaktan algılamanın tarım alanında sağladığı avantajlar farklılaşıp, gelişmiştir. Artık uzaktan algılama uygulamaları ile ürün haritalarının çıkarılması, ürün gelişiminin izlenmesi, verim analizlerinin yapılması mümkündür. Yapılan bu çalışmalar planlamaya yönelik hızlı sonuçlar üretmekte ve bu şekilde ülkeler tarım politikalarını şekillendirebilmektedir.

Türkiye tarım alanında en çok destek verilen ülkeler arasındadır. Bu desteğin nedenleri ise ekolojik ve iklimsel koşulları, toprak özellikleri ve zengin ürün çeşitleri olarak gösterilmektedir. Türkiye'nin sahip olduğu 65 milyonluk nüfusun %45'i kırsal kesimde yaşamaktadır. Sürekli artan bu nüfusun besin ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için tarım çok büyük önem taşımaktadır [28].

4.1 Dünyada Çeltik Üretimi

Çeltik, tarımda, kültür bitkileri içerisinde insan beslenmesinde yer alan önemli bir tahıl cinsidir (Şekil 4.1). Çeltik bileşiminde az protein bulundurmasına karşın beslenme için gerekli amino asitlerce zengin olması nedeniyle beslenmede buğdaydan sonra en çok kullanılan üründür [29]. Dünya'da yaşayan insanların yarısından fazlasının ana besinidir.



Şekil 4.1 Çeltik bitkisi

Dünyada özellikle Uzakdoğu ülkelerinde tüketilen çeltiğin üretiminin yapıldığı başlıca ülkeler ise Çin, Hindistan, Tayland, Bangladeş, Endonezya ve Vietnam'dır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Dünya Çeltik Yetiştirilen alanlar ile üretim ve verim değerleri (FAO,2002) [30]

Ülkeler	Ekilen Alan (Ha)	Üretim (Ton)	Verim (Kg/Da)
Dünya	146.029.456	579.476.722	396,8
Çin	28.360.000	177.589.000	626,2
Hindistan	40.000.000	123.000.000	307,5
Endonezya	11.500.000	48.654.048	423,0
Bangladeş	10.900.000	39.000.000	357,8
Vietnam	7.539.000	31.319.000	415,4
Tayland	9.920.000	27.000.000	272,1
Myanmar	6.200.000	21.200.000	341,9
Filipinler	4.034.350	12.684.800	314,4
Japonya	1.700.000	11.264.000	662,5
Brezilya	3.174.840	10.489.400	330,3
Amerika	1.297.840	9.616.750	740,9
Türkiye	85.000	400.000	470,5

Tablo 4.1'de de görüldüğü gibi Dünya çeltik üretiminin yaklaşık %52'si Çin ve Hindistan tarafından yapılmaktadır. Hindistan çok geniş çeltik ekili alanlara sahip olmasına karşın verim düşüklüğü nedeniyle Dünya üretim sıralamasında ikinci sırada yer almaktadır. Çin ise Tablo 4.2' de de görüleceği gibi hem üretim, hem de çeltikten elde edilen pirinç tüketiminde ilk sırada gelmektedir. FAO verilerine göre Dünya kişi başı pirinç tüketimi yıllık 56.5 kg'dır.

Tablo 4.2 Dünya pirinç tüketimi ve bazı tüketici ülkeler [30]

ÜLKELER	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02
ÇİN	132 154	135 517	136 070	137 266	136 600	134 581
HİNDİSTAN	81 212	77 552	51 154	82 450	83 500	87 651
ENDONEZYA	33 993	34 813	35 300	35 900	36 200	36 358
BANGLADEŞ	19 139	20 062	21 900	23 632	23 900	26 250
DÜNYA	379 831	382 932	389 942	403 002	403 633	410 172

Türkiyenin Dünya çeltik üretiminde aldığı pay ise %0.07'dir. Çeltik verimi dünya ortalamasının üzerinde olmasına karşın, ekim alanı ve üretim bakımından oldukça gerilerde kalmaktadır [29].

4.2 Türkiye'de Çeltik Üretimi

Türkiye'de çeltik ekili alan her yıl mevcut sulanabilir arazi ve piyasanın verdiği fiyatlara göre değişmektedir. 80'li yılların başında çeltik ekim alanı 70.000 ha iken bu rakam 90'lı yıllarda yaklaşık 40.000 ha'a kadar düşmüştür. Bu düşüşün başlıca sebepleri yaşanan kuraklık sebebi ile çeltik ekimine uygun sulak alanların azalması, sulama masraflarının artması ve çeltik fiyatlarının aşağı çekilmesi olarak sırlanmaktadır [28]. 90'lı yılların sonundan 2002 yılına kadar olan üretim ve pirinç tüketimi miktarları Tablo 4.3'te verilmiştir. Bu tabloda'da görüleceği gibi son yıllarda ise ekili alanlarda bir artış görülmüştür. Sebebi ise yağış miktarındaki artış olarak gösterilmektedir.

Tablo 4.3 Türkiye'de yıllara göre çeltik ekim alanı ve üretimi (DİE) [30]

Yıllar	Ekiliş Alanı (Ha)	Üretim (Ton)	Verim (Kg/Da)
1998	60.000	315000	315,0
1999	65.000	340000	313,8
2000	58.000	350000	362,1
2001	59.000	360000	366,1
2002	47.059	400000	509,9

Türkiye'de tüm coğrafi bölgelerde çeltik ekimi yapılabilmektedir. Temel olarak üretimin yapıldığı bölgeler ise Marmara ve Karadeniz bölgeleridir. (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Türkiye’de bölgelere göre çeltik üretim oranları [29]

Çeltik üretiminin yapıldığı başlıca iller ise sırası ile Edirne, Samsun, Çorum, Balıkesir, Kastamonu, Sinop ve İzmir’dir. 82.455 bin ton üretim miktarı ve %38.2’lik üretim oranı ile Edirne çeltik üretiminde ilk sıradadır. Bu çalışmada uygulama alanı olarak Edirne ili sınırları içinde yer alan Meriç Havzası seçilmiştir.

Türkiye’de ekimi yapılan başlıca çeltik çeşidi “rocca”dır. Bunu “baldo” çeşidi izler. Bu çeşitler dışında bölgesel olarak ekimi yapılan birçok farklı tip çeltik mevcuttur. Bölgelere göre yetiştirilen çeltik tipleri, Tablo 4.4’te verilmektedir..

Tablo 4.4 Türkiye’de bölgelere göre yetiştirilen çeltik türleri [28]

Bölge	Yetiştirilen Çeltik Türü
Marmara	Baldo, Sürek-95, Ergene, Veneria, Thrace Rocca, Trakya, Meriç, İpsala, Serhat-92
Karadeniz	Krasnodarsky-424, Rocca, Serhat-92 ve yerel türler
Güney Doğu Anadolu	Yerel türler
İç Anadolu	Krasnodarsky-424 ve yerel türler
Akdeniz	Rocca, Baldo, Ergene
Doğu Anadolu	Yerel türler
Ege	Rocca, Veneria, Baldo

Türkiye’ de kişi başına düşen yaklaşık pirinç tüketimi yılda 6-6,5 kg kadardır. Bu durumda nüfusa göre ülke için yıllık toplam pirinç talebi yaklaşık 420 bin tondur. Türkiye’ de çeltik üretim miktarı ile pirinç tüketim miktarı karşılaştırıldığında, ihtiyacın karşılanamadığı ve bu nedenle pirinç ithalatının yapıldığı görülmektedir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5 Türkiye'nin pirinç ithalat değerleri [30]

YILLAR	MİKTAR (Ton)	DEĞER (Bin Dolar)
1998	290 032	96 456
1999	304 658	96 106
2000	419 743	99 536
2001	273 036	57 683
2002	224 172	40 559

Verimin Dünya ortalamasının üzerinde olmasına rağmen çeltik üretiminin yetersiz kalması Türkiye’de çeltik tarımında yaşanan bazı sorunlara dikkat çekmektedir. Çeltik araştırmacıları tarafından bu sorunlar tohumluluk, sulama, gübreleme, zirai mücadele ve depolama ana başlıkları altında toplanmaktadır. Çeltik tarımı için sorun yaratan diğer bir unsurda 23 Haziran 1936 tarihinde çıkarılan 3039 sayılı Çeltik Ekim Kanunu’dur. Bu kanun sıtma ile mücadele ve su düzenlemesi amacı ile çıkarılmıştır. Ancak kanunun dayanak aldığı noktalar günümüzde geçerliliğini yitirdiği için çeltik üreticisinin lehine revizyonu öngörülmektedir [29].

Çeltik ekili alanların ve üretimin artırılması için yapılacak kanuni düzenlemelerin dışında gerekli olan; sağlıklı tarım politikaları, çağdaş ve teknolojik izleme ve üretim yöntemleri ile çiftçinin teşvik edilmesidir. Bu bağlamda sağlıklı tarım politikalarının şekillendirilebilmesi için bilimsel yöntemlerin kullanılması gerekir. Uzaktan algılama ve uydu teknolojileri bu alanda doğru ve hızlı sonuçlar veren yöntemler olarak kullanılmaktadır.

Gerek aktif algılama sistemleri ile elde edilen görüntüler, gerekse pasif algılama sistemleri ile elde edilen görüntüler kullanılarak çeltik ekili alanların tespit edilmesi, çeltik gelişiminin izlenmesi ve verim analizlerinin yapılabilmesi mümkündür. Özellikle çeltik tarımının yoğun olarak yapıldığı Uzak Doğu ülkelerinde bu konuda yapılmış birçok çalışma mevcuttur.

4.3 Çeltik Ürün Haritalaması ve İzlenmesi Konusunda Yapılmış Örnek Çalışmalar

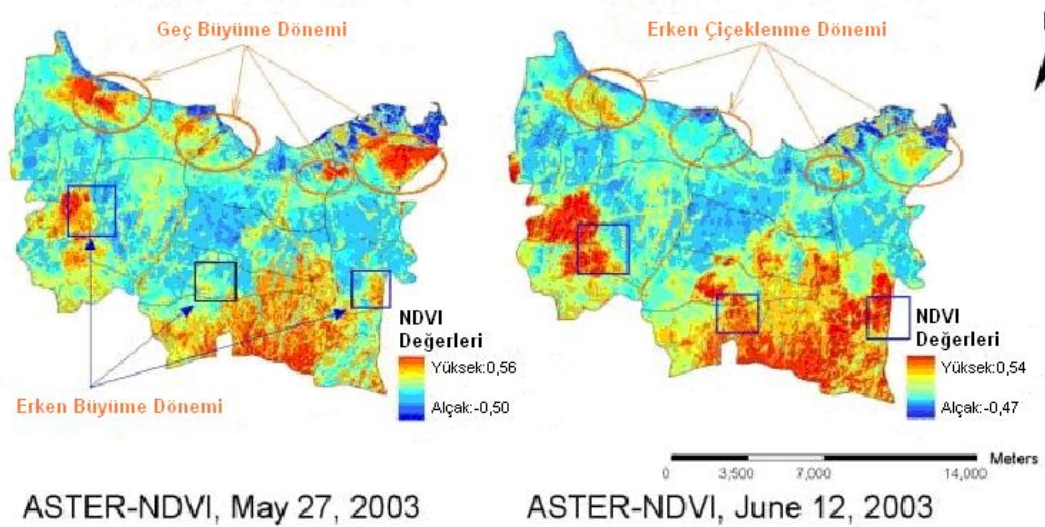
Birçok ülkede çeltik ekimini izleyebilmek için gerekli otomasyon sistemi için yeterli ve uygun altyapı bulunmamaktadır. Ürün rekoltesi konusunda tahmin yapabilmek ve ürün ekim alanlarını tespit edebilmek için çoğu ülkede ilgili devlet kurumları tarafından görevlendirilen ekipler görev yapmaktadır. Bu ekipler gerekli veriyi arazide yaptıkları ölçme çalışmaları ve çiftçilerden aldıkları geri bildirimler ile sağlarlar. Daha sonra bu veriler bölgesel olarak rekolte tahminlerini üretmek için

kullanılır. Çeltik tarımının özellikle uzak doğuda çok geniş alanlarda ve yaylalarda yapıldığı göz önüne alınırsa bu tip yersel çalışmaların fazla zaman alan, pahalı uygulamalar olduğu görülmektedir. Çiftçilerden alınan bilgilerin ise doğruluğu tahmin çalışmaları için yeterli değildir. Sonuç olarak yersel yöntemler ancak bölgesel çıktılar veren yetersiz çalışmalar olarak kalmaktadır.

Bu durumda ulusal ölçekte yapılacak rekolte tahmini, ürün haritaları ve verim analiz çalışmaları için ihtiyaç duyulan hızlı, doğru, sistematik ve geniş alanları kapsayan bilgiye uydu görüntülerinden ulaşılmaktadır.

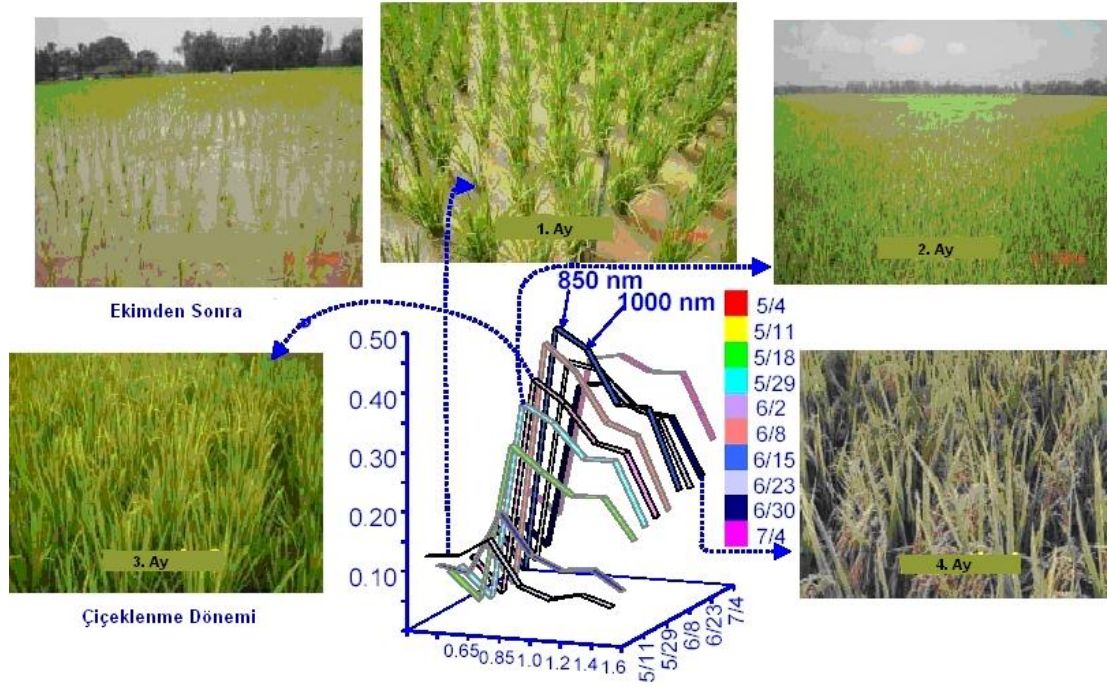
Literatürde Bölüm 3'te belirtilen aktif ve pasif algılama sistemlerinden elde edilen uydu görüntülerinin çeltik ürünün izlenmesinde kullanıldığı birçok örnek çalışma vardır.

Örneğin, çeltik rekolte tahmini için Endonezya sınırları içinde kalan Karawang bölgesinde çok zamanlı Aster görüntüleri ile yapılmış çalışmada NDVI yöntemi kullanılarak ürünün yoğun olduğu sahalara tespit edilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 ASTER NDVI haritası (Endonezya Kanangwa bölgesi)[31]

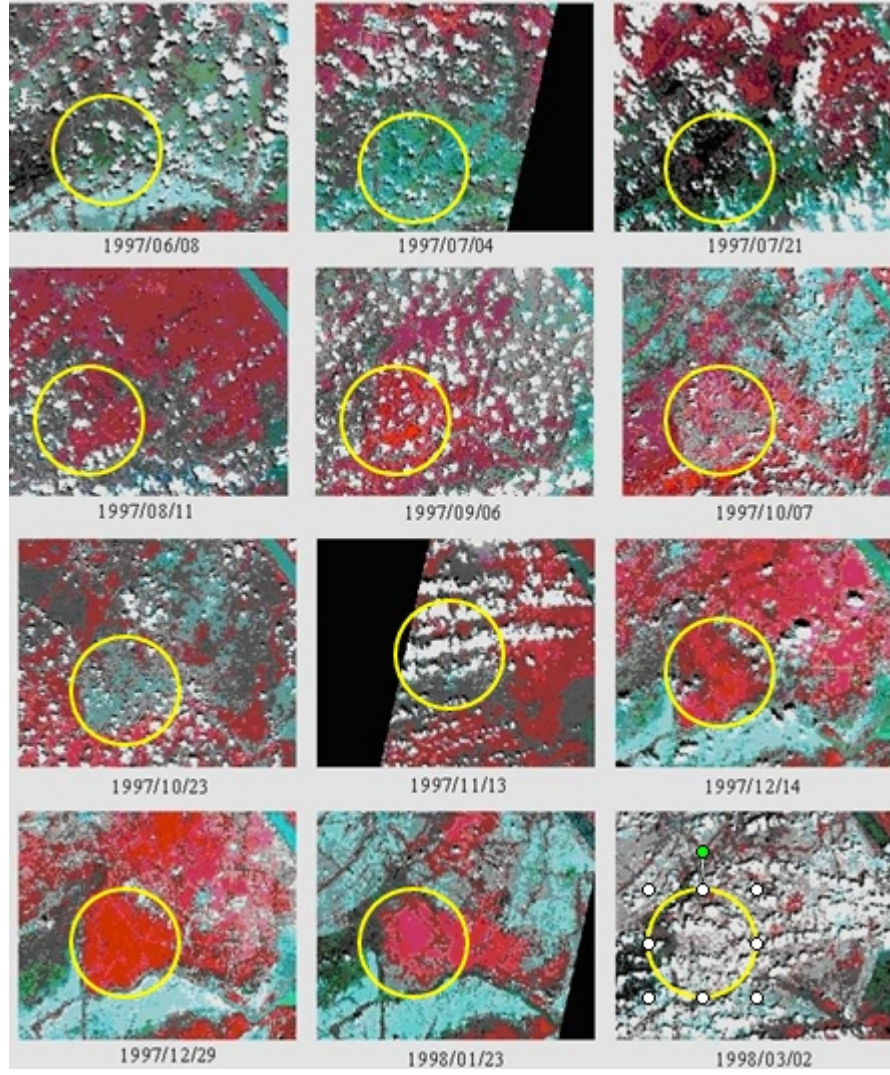
Evri Muhammed tarafından yapılan bu çalışmada Aster spektral indeks verilerinin doğruluğunun değerlendirilmesinde için spektrometre ile farklı zamanlarda ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler ile ürün gelişimi boyunca spektral yansıtım değerlerindeki değişimler izlenerek, karakteristik spektral yansıtım eğrileri oluşturulmuştur (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Farklı zamanlarda spektrodymetre ile yapılan ölçümlerden elde edilen çeltiğin spektral yansıtım eğrileri [31]

S. C. Liew, ve arkadaşları (1999) tarafından yapılan, “Çeltik yetiştirilmesindeki değişimlerin SAR görüntüleri ile izlenmesi” konulu çalışmada [32], Vietnam Mekong nehri havzasında yer alan Soc Trang bölgesi test alanı olarak seçilmiştir. Bu çalışmada kullanılan çok zamanlı Spot verileri, SAR görüntüleri ile yapılan sınıflandırma sonuçlarını değerlendirmede ve SAR geri yansıtımlarını yorumlamada yardımcı veri olarak kullanılmıştır (Şekil 4.5).

Şekil 4.5’te Haziran ayında dikilen çeltik fideleri, 6 ve 7. ayları su altında büyüyerek geçirmekte ve sonra Ağustos ayında fidelerin büyümesi ve yeşillenmesi ile ekim alanı ürün ile kaplı görülmektedir. Ekim ayında başlayan hasat ile çeltik bitki örtüsü giderek yoğunluğu kaybettiği görülmektedir. Ekim sonunda ve Kasım ayında yapılan ikinci nesil ekimler ile Aralık ayında yeşillenen çeltik ekili alanlar, hasat ile birlikte Mart ayında tekrar çıplak toprak olarak görülmektedir.

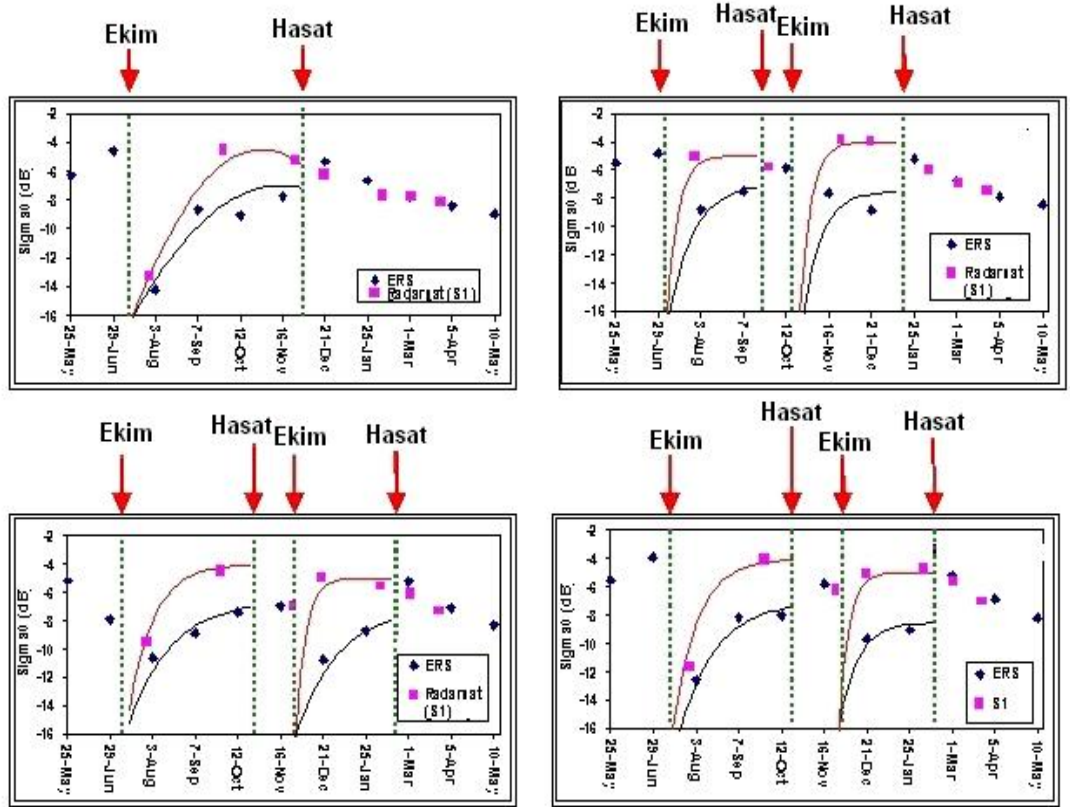


Şekil 4.5 Çok zamanlı Spot verileri (Sarı daire ile çeltik ekim alanları belirtilmiştir) [32]

Çeltik genel olarak yağışın ve bulutun yoğun olduğu iklimlerde yetişmektedir. Şekil 4.5'te de görüldüğü gibi Spot görüntülerinde görsel analizle izlenebilen çeltik ekim alanları, sağlıklı bir sınıflandırma çalışmasına izin vermeyecek oranda bulut ile kaplıdır. Özellikle tropik bölgelerde ekimi yoğun olan çeltik bitkisinin optik verilerle izlenebilmesi ürün gelişiminin yoğun yağmurlu dönemde tamamlanması nedeni ile yeterli olmamaktadır. Dolayısıyla pasif algılayıcılardan elde edilen görüntüler genelde çeltik çalışmalarında SAR görüntüleri ile birlikte tamamlayıcı veriler olarak kullanılmaktadır.

Aynı çalışmada ürün takvimine göre seçilen çok zamanlı SAR verileri (1997 senesine ait 11 ERS-1 ve 4 Radarsat-1 (S1 Mod) ile 1998 senesine ait 3 Radarsat-1 (S1 Mod)) ile çeltik ürün haritası ve Şekil 4.6'da verilen çeltik için çok zamanlı radar geri yansıtım eğrileri oluşturulmuştur.

Şekil 4.6’da verilen grafiklerde beklenen geri yansıtım eğrileri çigisel olarak gösterilmiştir. ERS ve RADAR verilerinden alınan geri yansıtım değerleri noktasal olarak gösterilmiştir. Sonuç olarak HH polarizasyonlu C-bandı Radarsat-1 geri yansıtımının, VV polarizasyonlu C-bandı ERS geri yansıtımı ile benzer eğriler oluşturduğu bunun yanında Radarsat-1 geri yansıtım değerlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



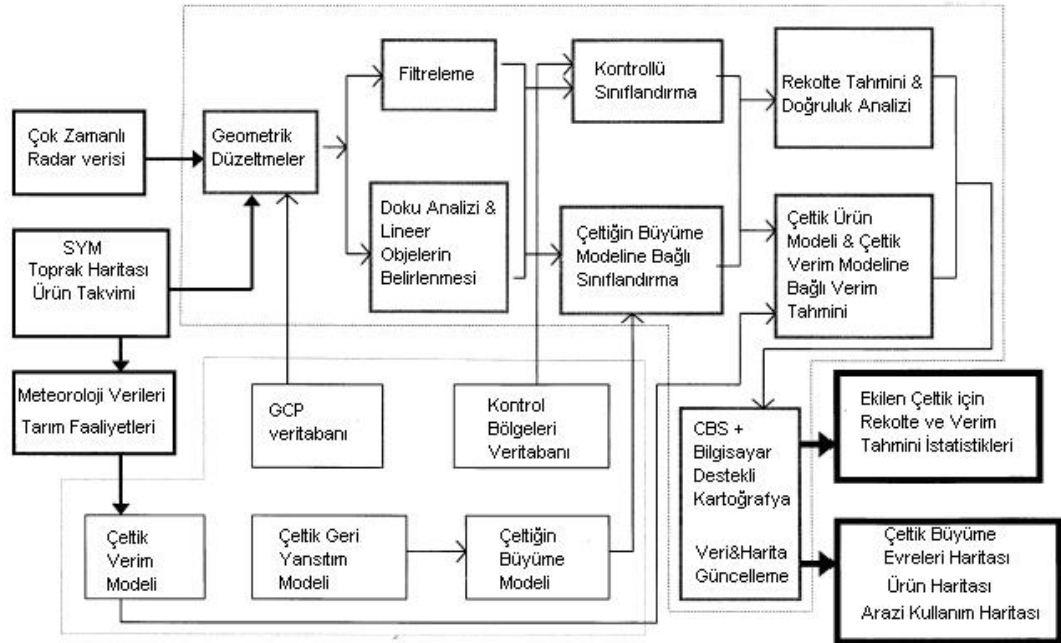
Şekil 4.6 ERS ve Radarsat-1 verilerinin zamansal çeltik geri yansıtım profili [32]

Çin’de Zhaoqing test bölgesinde 1996 ve 1997 Radarsat-1 verileri ile, Yun Shao ve arkadaşları (2000) tarafından yapılan çalışmanın amaçları:

- çeltiğin büyüme döngüsü boyunca zamansal geri yansıtımını tespit etmek,
- çeltik ekili alanların tespit edilip, alanlarını hesaplamak,
- kalite ve verim tahmini için gerekli olan ortalama yaşam süresini hesaplamak,
- Radarsat-1 verilerinin çeltik ürün tahmini için kullanılabilirliğini değerlendirmek,
- Ve geleceğe yönelik çalışmalar için, Radarsat-1 verilerinin bu alanda kullanılması için operasyonel bir işlevsellik kazandırmaktır.

Bu amaçlara ulaşabilmek için 1996 yılında Mart-Aralık ayları arasında alınmış Radarsat-1 hassas mod ve 1997 yılında Nisan-Temmuz aylarında alınmış Radarsat-1 standart mod kullanılmıştır.

Bu çalışmada sınıflandırma sonucu doğruluk %91 olarak tespit edilmiş ve sınıflandırma sonrası işlemler ile doğruluk %97'ye kadar çıkarılmıştır. Sonuç olarak Radarsat-1 verilerinin, çeltik ürünün haritalanması, ürün rekolte tahmini, ürün tipi tahmini ve verim tahmini için güvenilir bir kaynak olarak değerlendirilebileceği ortaya çıkmıştır. Çalışmanın sonuncu amacı olarak belirtilen operasyonel işlevsellik Şekil 4.9'da verilen akış şeması ile özetlenmiştir.



Şekil 4.7 Operasyonel uydu (SAR) verilerine bağlı çeltik gelişimi izleme ve ürün tahmini modeli [33]

DN değerleri optik görüntülerde yeryüzündeki bir bölgenin yansıtıtığı veya yaydığı enerjiye karşılık gelirken, radar verilerinde bu değer geri yansıtılan enerjinin şiddetine bağlı olarak hesaplanan geri yansıtım katsayısı σ_0 'a (σ_0) karşılık gelir.

Dijital görüntüyü oluşturan piksellerin, DN veya σ_0 değerlerinin bulunma sıklığına (frekans) göre durumunu gösteren grafiğe histogram denir. Bir dijital grntyi iyileştirebilmek için öncelikle histogramının incelenmesi gereklidir.

5.2 Dijital Görüntü İşleme Yöntemleri

Dijital görüntü işleme yöntemleri 4 ana başlık altında toplanabilir. Bunlar;

- n işleme
- Zenginleştirme
- Dönüşüm
- Sınıflandırma ve Analiz işlemleridir [4]

5.2.1 n İşleme

n işleme, verilerden bilginin tam olarak çıkarılması için gerekli hazırlıkları içerir. Bu işlemler radyometrik ve geometrik olmak üzere iki grup altında incelenmektedir.

5.2.1.1 Radyometrik Düzeltme

Radyometrik düzeltmeler, DN değerlerindeki güneşin geliş açısına, algılayıcının ve uydunun görüntüleme anındaki geometrisine, atmosferik koşullara, algılayıcıdan kaynaklı gürültüye bağlı etkileri gidermek veya minimuma indirmek için uygulanırlar. Görüntünün hangi uydunun verisi olduğuna ve algılama anındaki koşullara göre çeşitlilik gösterirler. Görüntüden mutlak yansıma veya yayılma değerlerini çıkarabilmek için kalibrasyon ve değerler arası dönüşümler gibi radyometrik düzeltmelere ihtiyaç duyulur [4].

Radar verilerinde ölçülen geri yansıtılan enerji değerlerini, uydunun algılama özelliklerine bağlı olarak radar geri yansıtım katsayısı “ σ_0 - σ_0 ” değerine dnştrme işlemi radar verisinin kalibre edilmesi olarak tanımlanan bir radyometrik düzeltme işlemidir. σ_0 - σ_0 değerine ulaşmak için DN verileri öncelikle algılayıcının enerji kazanım değerlerine bağlı olarak radar geri yansıtım parlaklık değeri “ β_0 - β_0 ” değerine dnştrlr. Bu dnşimde genel olarak kullanılan eşitlik:

$$\beta_j0=10*\log_{10}[(DN_j^2+A_0)/A_j] \quad (5.1)$$

β_j0 = piksel radar geri yansıtım parlaklık değeri, beta 0

A_0 = algılayıcının enerji kazanım sabiti

A_j = her piksel için enerji kazanım faktörü

Bu dönüşüm ile algılayıcının enerji kazanım özelliğine göre kalibre edilen değerler aşağıdaki eşitlik ile yeryüzü ve algılayıcı geometrisine göre de kalibre edilmiş olacaktır.

$$\sigma_j0= \beta_j0+10*\log_{10}(\sin I_j) \quad (5.2)$$

β_j0 = piksel radar geri yansıtım parlaklık değeri, beta 0

I_j = enerji geliş açısı

Sigma0 ve beta0 değerlerinin birimi (dB) desibeldir.

Kalibre edilmiş verilerdeki radar geri yansıtımlarını yorumlayabilmek ve elde edilen geri yansıtım eğrilerinin doğruluklarını kontrol edebilmek için Tablo 5.1’de verilen ortalama radar geri yansıtım parlaklık değerleri göz önüne alınmaktadır.

Tablo 5.1 Kalibre edilmiş radar geri yansıtım değerleri ve olası nedenleri [34]

Geri saçılım seviyesi	Olası nedenler
Çok yüksek geri saçılım (-5dB üzeri)	- Radara doğru olan arazi eğimleri - Hemen hemen düşeye bakan radar - Çok pürüzlü yüzey - Su altında kalan orman örtüsü - İnsan yapımı objeler
Yüksek geri saçılım (-10 ila 0dB)	- Pürüzlü yüzey - Yoğun bitki örtüsü, örn., orman örtüsü
Orta geri saçılım (-20 ila -10dB)	- Orta derecedeki pürüzlü yüzey - Orta büyüklükteki bitki örtüsü, (örn., çalılık, tarımsal ürünler)
Düşük geri saçılım (-20dB altı)	- Radara karşı olan arazi eğimleri - Düz yüzeyler, örn., su yüzeyleri, yol - Çok kuru materyal, örn., çöldeki kum yüzeyleri

5.2.1.2 Geometrik Düzeltmeler

İşlenmemiş uydu görüntüleri, algılayıcı platformunun yüksekliğinden, konumundan ve hızındaki değişimlerden ve yeryüzü eğriliği ile atmosferik kırılma gibi birçok nedenden dolayı geometrik distorsiyonlar içerir. Geometrik düzeltmeler ile bu distorsiyonların giderilmesi hedeflenir.

Geometrik düzeltme iki adımda gerçekleştirilir. İlk adımda, sistematik olan distorsiyonların hata kaynakları matematiksel olarak modellenerek düzeltme işlemi uygulanır. Bu matematiksel modeller algılayıcının fiziksel parametreleri kullanılarak oluşturulur. İkinci adımda ise sistematik olmayan distorsiyonlar ile bilinmeyen sistematik distorsiyonların giderilmesi amaçlanır. Bu amaçla algılayıcı platformuna ait yörünge, yükseklik, hız bilgileri ve yer kontrol noktaları kullanılarak yer koordinat sistemi ile görüntü sistemi arasındaki dönüşüm için gerekli matematiksel modeller oluşturulur.

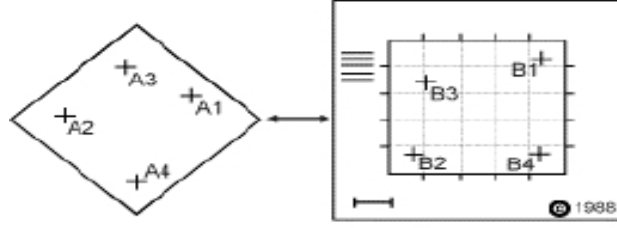
Ham görüntünün bu işlemler sonucu dönüştürülmesi genel olarak geometrik kayıt olarak adlandırılır. Mevcut görüntünün bir diğer görüntüye göre düzeltilmesi işlemi bir geometrik kayıt işlemidir. Bu işlemin görüntünün tanımlı bir koordinat sistemine oturtulması amaçlı yapılmasına rektifikasyon denir.

Rektifikasyon işlemi sırası ile;

1. Yer kontrol noktalarının (YKN) saptanması,
2. Yer kontrol noktalarının görüntü ve yer koordinat değerleri arasında kurulan eşitliklere bağlı olarak dönüşüm modelinin oluşturulması ve uygulanması,
3. Yeni geometriye sahip sonuç görüntünün DN değerlerinin yeniden örneklenmesi

adımlarından oluşur.

Birinci adımda belirlenecek yer kontrol noktaları Şekil 5.2’de gösterildiği gibi koordinatları bilinen ve görüntünün tamamına homojen olarak dağılmış olmalıdır.



Şekil 5.2 Geometrik Kayıt İşlemi [4]

İkinci adımda ise ilk adımda belirlenen yer kontrol noktaları kullanılarak aşağıda temel olarak eşitlikleri verilen dönüşüm modeli oluşturulur.

$$X = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N P_{i,j} x^j y^i \quad (5.3)$$

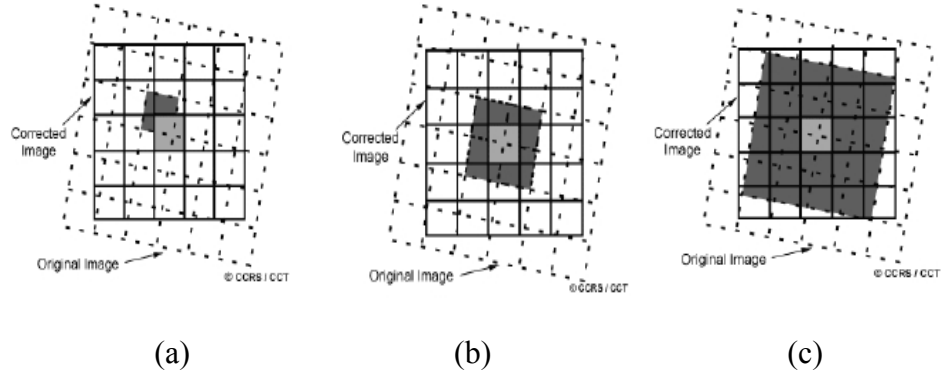
$$Y = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N Q_{i,j} x^j y^i$$

Eşitlikte geçen, (x, y) görüntü koordinatları, (X,Y) ise yer koordinatlarıdır. Yapılan dönüşümün doğruluğunu test etmek için Karesel Ortalama Hata (KOH) kullanılır. KOH, bir yer kontrol noktasının görüntüdeki konumu ile aynı noktanın dönüşüm sonrası konumu arasındaki uzaklığıdır. Konum doğruluğunun yüksek olabilmesi için yer kontrol noktalarının iyi seçilmiş ve yer koordinatlarının doğruluğunun yüksek olarak tespit edilmiş olması gereklidir.

Rektifikasyonun son adımı ise yeniden örnekleme olarak adlandırılmaktadır. Bu işlem için kullanılan 3 temel yöntem bulunmaktadır.

- En yakın komşuluk yöntemi: Düzeltilmiş görüntünün piksel değerleri orijinal görüntüdeki en yakın pikselin atanması ile elde edilmektedir (Şekil 5.3a). Hesaplama kolaylığına karşılık, orijinal piksel değerlerinin çıktı görüntüsüne atanması sırasında oluşan kaymalar nedeni ile görüntüde kopukluklar oluşması bu yöntemin dezavantajıdır.
- Bilineer enterpolasyon yöntemi: Düzeltilmiş görüntünün piksel değerleri orijinal görüntüdeki en yakın dört pikselin ağırlıklı ortalaması alınarak elde edilir (Şekil 5.3b). Geometrik doğruluğu daha yüksek olmasına karşın orijinal piksel değerlerinin değişmesi bu yöntemin dezavantajıdır.
- Kübik enterpolasyon yöntemi: Düzeltilmiş görüntünün piksel değerleri orijinal görüntüdeki en yakın onaltı pikselin ağırlıklı ortalaması alınarak elde edilir (Şekil 5.3c). Geometrik doğruluğu en yüksek olan yöntem

olmasına karşın işlem süresinin uzun olması ve orijinal piksel değerlerinin değişmesi bu yöntemin dezavantajıdır.



Şekil 5.3 Yeniden örnekleme yöntemleri a) En yakın komşuluk yöntemi b) Bilineer enterpolasyon yöntemi c) Kübik enterpolasyon yöntemi [4]

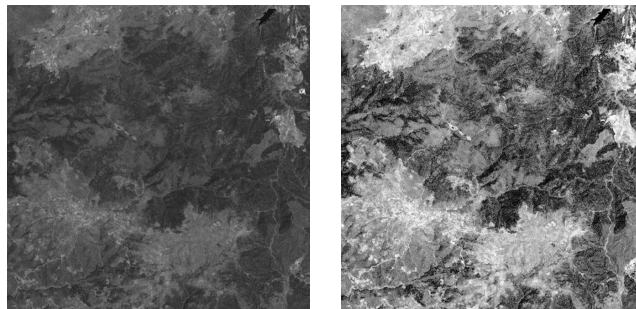
5.2.2 Görüntü Zenginleştirme İşlemleri

Dijital görüntünün görsel olarak zenginleştirilip, daha iyi yorumlanabilmesi için uygulanan yöntemlerin başında görüntünün kontrast artırımı ve filtreleme gelmektedir.

5.2.2.1 Kontrast Artırımı

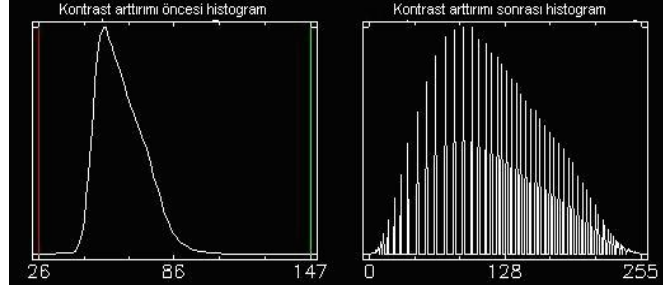
İşlenmemiş görüntülerde kullanılabilir veri genelde tüm değerler (8 bitlik görüntü için 0-255) aralığında dar bir aralıkta yoğunlaşır. Kontrast iyileştirilmesi ile amaçlanan, bu kullanılabilir aralığı genişleterek görüntüde hedef olan objeler ile arkaplanları arasındaki yeterli kontrastı sağlayabilmektir.

Kontrast iyileştirmesi için öncelikle görüntünün histogramının irdelenmesi gerekmektedir. İşlenmemiş görüntünün histogramının özelliğine bağlı olarak uygulanabilecek çok farklı iyileştirme yöntemleri vardır. Şekil 5.4’de lineer kontrast iyileştirilmesi uygulanmış görüntü ile bu görüntünün histogramındaki değişiklikler görülmektedir.



(a)

(b)



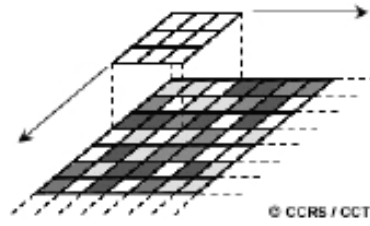
(c)

Şekil 5.4 Kontrast artırımı a)İşlenmemiş görüntü b)İşlenmiş görüntü c)Görüntü histogramları

5.2.2.2 Filtreleme

Filtrelemede amaç görüntüde yer alan farklı fiziksel özellikler arasındaki ayrımı vurgulayacak görüntünün görsel yorumlanabilirliğini arttırmaktır. Filtreleme ile görüntüdeki kenar çizgileri, çizgisel objeler vurgulanabileceği gibi görüntüdeki gürültü faktörü, benek etkisi gibi düzensizlikler de giderilebilmektedir.

Filtreleme işlemi, genelde 3x3 veya 5x5 gibi tekil boyutlara sahip bir matrisin, görüntü matrisi üzerinde ilerleyerek, matris elemanları ile üzerinde bulunduğu piksel değerleri arasında filtrenin özelliğine bağlı olarak gerçekleştirilen matematik işlem sonucu, filtrenin merkezine karşılık gelen görüntü pikselinin yeni piksel değerinin hesaplanmasıdır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Filtreleme işleminin şematik gösterimi [4]

Dijital uydu görüntülerinde kullanılan filtreler başlıca alçak geçirgenli ve yüksek geçirgenli olarak gruplandırılmaktadır. Alçak geçirgenli filtreler görüntüdeki gürültüyü gidermek, görüntünün detay olarak daha düz bir hale gelmesini sağlamak için kullanılırlar. Yüksek geçirgenli filtreler ise görüntüde görüntüdeki sınırları ve kenarları vurgulamak için kullanılırlar.

Görüntünün vurgulanmak istenen veya iyileştirilmek istenen detay özelliklerine bağlı olarak özel geliştirilmiş filtreler de mevcuttur. Özellikle radar görüntülerindeki benek etkisi ve gürültüyü gidermek için kullanılan bazı özel filtreler aşağıda verilmektedir.

- Lee filtresi: Görüntüdeki detay ve keskinliği kaybetmeden görüntüdeki gürültünün giderilmesi için kullanılmaktadır.

- Geliştirilmiş Lee filtresi: Görüntünün sahip olduğu doku özelliğini kaybetmeden görüntüdeki gürültünün giderilmesi için kullanılmaktadır. Bu filtre öncelikle pikselleri homojen, heterojen ve nokta hedef olarak üç gruba ayırır ve her bir gruba farklı işlem uygular.

- Frost filtresi: Görüntüdeki sınırları ve kenarları kaybetmeden görüntüdeki gürültüyü giderilmesi için kullanılır.

- Geliştirilmiş Frost filtresi: Görüntünün sahip olduğu doku özelliğini kaybetmeden görüntüdeki gürültünün giderilmesi için kullanılmaktadır. Bu filtre de geliştirilmiş Lee filtesi gibi öncelikle pikselleri homojen, heterojen ve nokta hedef olarak 3 gruba ayırır ve her bir gruba farklı işlem uygular.

- Median filtresi: Alçak geçirgenli filterlere örnek olarak verilebilir. Görüntüdeki gürültüyü gidermek için kullanılmaktadır. Yeni piksel değerini filtre çerçevesine denk gelen piksellerin medyan değeri olarak atar.

5.2.3 Sınıflandırma

Uzaktan algılamada sınıflandırma, cisimlerin farklı spektral yansıtım değerleri esasına dayanarak orjinal görüntüdeki her pikselin ait olduğu özellik grubuna ayırma işlemidir. Ayırt etme ya da tanıma problemi her pikselin, algılama yapılan spektral bantlara göre farklılık gösteren sayısal değerler kümesinden yararlanılarak aşılmasıdır.

Sınıflandırma işleminde dikkat edilmesi gereken temel unsurlar dört adımda açıklanabilir.

1. Yeryüzü özelliklerini ortaya koyabilecek güvenilir kontrol alanlarının seçimi ve incelenmesi.
2. Göz önüne alınan sınıfların yansıtım özelliklerine bağlı olarak sınıflandırmada kullanılacak uygun bantların veya veri tarihlerinin seçilmesi
3. Orijinal verinin türüne ve çalışma amacına bağlı olarak uygun sınıflandırma algoritmasının seçimi

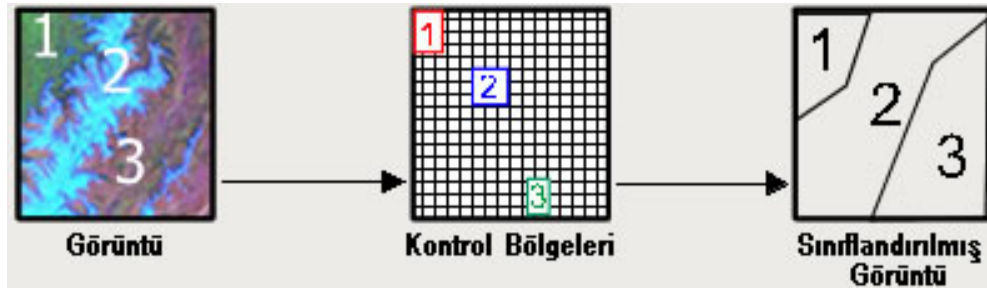
4. Sınıflandırılmış görüntü için doğruluk analizi

Sınıflandırma yöntemleri genel olarak kontrollü ve kontrolsüz sınıflandırma olarak iki ana gruba ayrılmaktadır.

5.2.3.1 Kontrollü Sınıflandırma

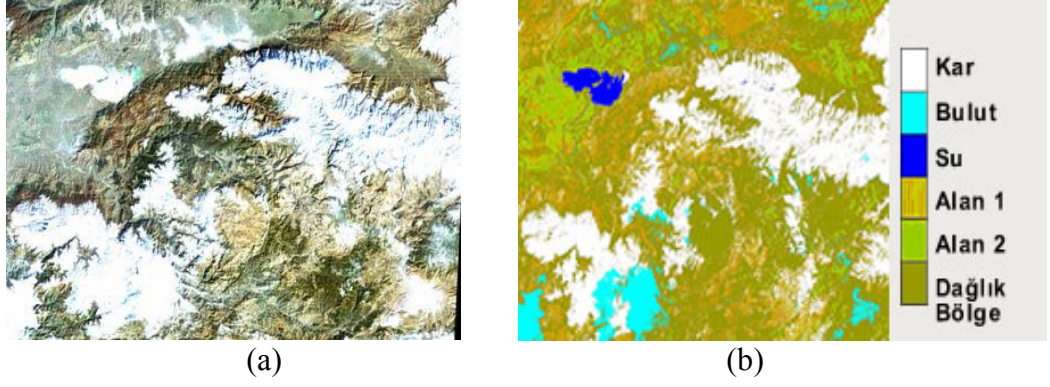
Sınıflandırılacak görüntü üzerinde öncelikle bilgi sınıfları (farklı yeryüzü örtü tipleri) tanımlanır. Görüntü üzerinde belirlenen bu alanlar kontrol bölgeleridir. Kontrol bölgelerinin seçimi kontrollü sınıflandırmada ilk adımdır. Anlamlı kontrol bölgelerinin uygulayıcı tarafından doğru olarak belirlenmesi sınıflandırma doğruluğunu büyük oranda etkileyecektir. Her bir sınıfa ait uygun kontrol bölgelerinin tanımlanması uygulayıcının çalışılan bölge hakkında bilgi sahibi ve yeterli yardımcı veri olmasına bağlıdır.

İkinci adımda ise sınıflandırma işlemi gerçekleştirilir. Sınıflandırma adımı kontrol adımı belirlenen sınıflar ve kontrol bölgeleri sınıflandırma için yorumlama anahtarı olarak kullanılır. Bu adımda görüntü verisindeki her bir piksel en çok benzer olarak nitelendirildiği yeryüzü örtüsü sınıfına dahil edilir. Eğer piksel herhangi bir kontrol veri dizisi ile yeteri kadar benzeşmiyorsa belirsiz olarak tanımlanır. Bu işlemler tüm görüntü matrisi için tamamlandıktan sonra, yeryüzü örtüsü sınıflarının oluşturduğu sonuç görüntü matrisi oluşturulur. Şekil 5.6'da kontrollü sınıflandırmanın adımları gösterilmektedir.



Şekil 5.6 Kontrollü sınıflandırma işlem adımları [35]

Sınıflandırma işlemin sonucunda farklı tipte çıktı verileri elde edilebilmektedir. Çıktı ürün genelde bir tematik harita olarak düzenlenir (Şekil 5.7) Bunun yanısıra sınıfların alan büyüklükleri grafik veya tablolar olarak da hazırlanabilmektedir. Elde edilen istatistiksel sonuçlar ve tematik haritalar Coğrafi Bilgi Sistemlerini oluşturmak için girdi ve altlık olarak kullanılabilir.



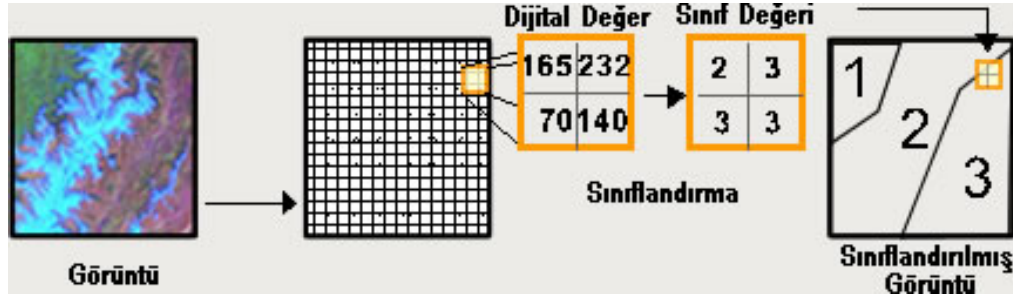
Şekil 5.7 (a) Landsat TM görüntüsü, (b) Sınıflandırılmış Landsat TM görüntüsü (Uludağ, Bursa) [36]

Farklı kontrollü sınıflandırma yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılan yöntemler, “En Çok Benzerlik” ve “En Kısa Uzaklık” sınıflandırma yöntemleridir.

En Çok Benzerlik yönteminde bilinmeyen bir pikselin sınıflandırılması için sınıf spektral örneklerinin varyans ve kovaryans değerleri nicelik olarak değerlendirilir. Bu değerlendirmede sınıf kontrol verilerini oluşturan noktalar kümesindeki dağılımının Gauss dağılımı olduğu varsayılır ve dağılım, ortalama vektörü ve kovaryans matrisi ile tanımlanır. Belirli bir sınıfa ait olduğu bilinen bir piksel için istatistiksel olasılık bu parametrelere bağlı olarak hesaplanır. Her bir sınıf için olasılığın hesaplanmasından sonra, pikselin en benzer olarak saptandığı sınıfa sokulur. Eğer olasılık değeri önceden belirlenen eşik değerinin altında kalırsa, piksel belirsiz olarak tanımlanır.

5.2.3.2 Kontrolsüz Sınıflandırma

Kontrolsüz sınıflandırma yönteminde, kontrol bölgelerinin yerine görüntüde belirsiz olan görüntü elemanlarını inceleyen ve görüntü DN değerlerinde var olan gruplaşmalara veya kümelere dayalı olarak bu elemanları çeşitli sınıflar altında birleştiren algoritmalar kullanılmaktadır. Şekil 5.8’de kontrolsüz sınıflandırmanın işlem adımları gösterilmektedir.



Şekil 5.8 Kontrolsüz sınıflandırmanın akış şeması [35]

Kümeleme adı verilen algoritmalar, görüntü verisindeki mevcut olan doğal spektral gruplaşmaları belirlemede kullanılır. Kümeleme yöntemi tam otomatik bir yöntemdir. Bu yöntemde sınıflar hakkında herhangi bir ön bilgi bulunmamaktadır. Bu yöntemde noktalar arasındaki uzaklıkların belirlenmesi için Öklit uzaklığı, Mahalanobis uzaklığı gibi uzaklık ölçütleri kullanılır. Kümeleme kriteri olarak genellikle küme içindeki noktalara arasındaki uzaklığın minimum, küme merkezleri arasındaki uzaklığın ise maksimum olması esastır.

Kontrolsüz sınıflandırma sonucu oluşan sınıflar spektral sınıflardır. Çünkü bu sınıflar görüntü DN değerlerindeki doğal gruplaşmalara bağlı olup, bu spektral sınıfların ne olduğu önceden bilinmemektedir. Oluşturulan sınıfların doğal özellikleri ancak daha sonra, o bölgeye ait harita veya yersel bilgilerle karşılaştırılarak belirlenir.

5.2.3.3 Doğruluk Analizi

Doğruluk analizi sınıflandırma sonucu ile doğru olduğu kabul edilen coğrafi verinin karşılaştırma işlemidir. Genellikle doğru kabul edilen veriler, yer doğruluklu verilerdir. Her bir pikselin için bu karşılaştırmaların yapılması pratik olmadığından grup referans pikseller seçilir.

Doğruluk analizi işlemlerinden sonra hata matrisi oluşturulur. Hata matrisi, kontrol verisi ile sınıflandırılmış görüntüyü karşılaştırmada kullanılır [37]. Hata matrisi doğruluk analizi sonuçlarını göstermek açısından anlaşılabilir ve uygun bir yöntemdir. Yer doğruluklu verilerinden oluşan referans verileri matrisin sütunlarında, sınıflandırma verileri ise satırlarında listelenir. Matrisin ana köşegeni doğru sınıflandırılmış örnekleri, diğer elemanlar ise hataları göstermektedir.

Hataları değerlendirirken iki farklı doğruluk kriteri mevcuttur. Bunlar üretici doğruluğu ve kullanıcı doğruluğudur. Üretici doğruluğu, doğru sınıflandırılmış örnek sayısının o kategori için olan sütun sayısına bölünmesi ile hesaplanır. Kullanıcı

doğruluğu ise, doğru sınıflandırılmış örnek sayısının o kategori için olan satır sayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır [1].

Doğruluk analizlerinde kullanılan yaygın bir diğer yöntem, Kappa analizidir. Kappa doğruluk analizi, hata matrisindeki genel doğrulukla olasılıklı doğruluk arasındaki farka dayanır. Sınıflar arası doğrulukları da içerdiğinden genel doğruluk ölçütünden daha iyi bir ölçüdür.

Genel sınıflandırma için Kappa formülü aşağıda verilmiştir.

$$Kappa = \frac{N \sum x_{ij} - \sum (x_{i+} x_{+j})}{N^2 - \sum (x_{i+} x_{+j})} \quad (5.4)$$

N = Tüm kategorilerdek örnek sınıf toplamı

$\sum x_{ij}$ = Doğru sınıflandırılmış örnek sayısı

$\sum (x_{i+} x_{+j})$ = Her kategorideki hata matrisinin satır ve sütun toplamlarındaki ürünlerin toplamı

Her kategori için Kappa değeri aşağıda verildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$Kappa = \frac{N x_{ij} - \sum (x_{i+} x_{+j}) / N x_{i+} - \sum (x_{i+} x_{+j})}{N x_{i+} - \sum (x_{i+} x_{+j})} \quad (5.5)$$

N = Tüm kategorilerdek örnek sınıf toplamı

x_{ij} = Her kategorideki doğru sınıflandırılmış örnek sayısı

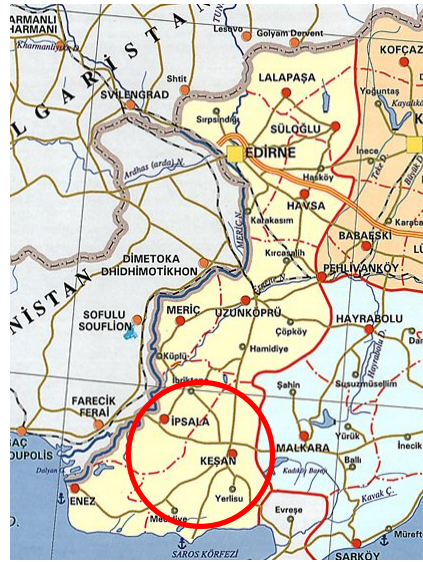
x_{i+} = Her kategoride için hata matrisindeki satır toplamı

x_{+j} = Her kategoride için hata matrisindeki sütun toplamı

6 UYGULAMA

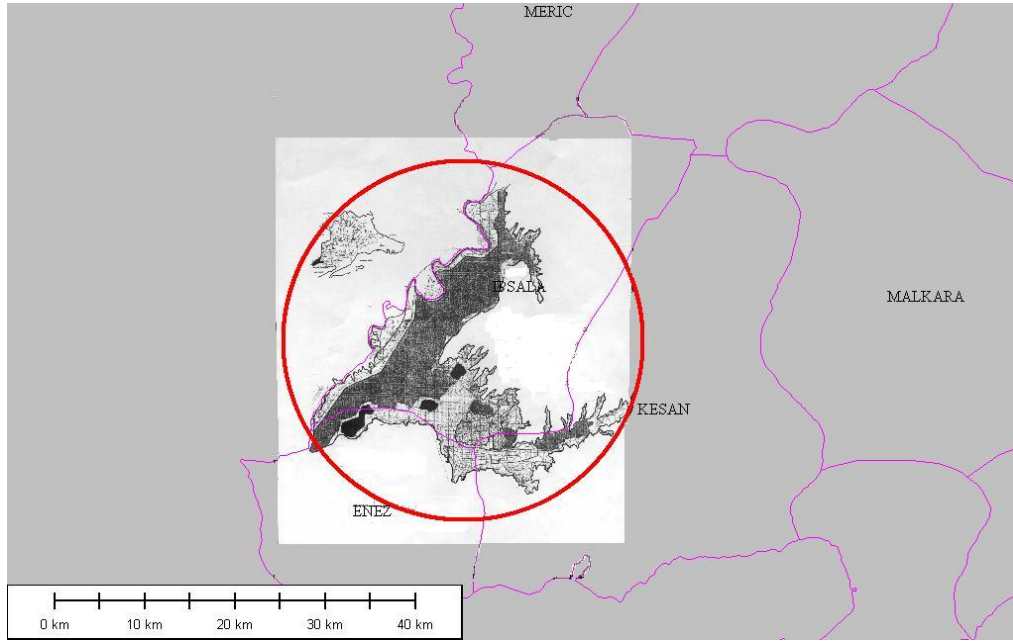
6.1 Çalışma Bölgesi

İpsala ilçesi Edirne ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Kuzeyde Meriç ve Uzunköprü'den, güneyde Enez'e kadar Meriç boyunca uzanan ilçenin batıdaki komşusu Yunanistan, doğudaki komşusu ise Keşan ilçesidir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Edirne-İpsala ilçesinin haritası

Çeltik ekiminin yoğun olarak yapıldığı Meriç Havzasında yaklaşık olarak $40^{\circ}44'30''$ - $41^{\circ}00'36''$ enlem ve $26^{\circ}07'26''$ - $26^{\circ}32'29''$ boylamaları arasında kalan alan çalışma bölgesi olarak seçilmiştir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Çalışma bölgesi

İpsala ilçesine bağlı belde ve köylerin %98'inde tarıma bağlı yapılanma görülmektedir. İlçede tarımı yapılan ürünler başlıcaları sırasıyla çeltik, buğday, ayçiçeği, domates, şeker pancarıdır. Türkiye'de toplam çeltik üretiminin %35'i İpsala'da yapılmaktadır. İlçede faaliyet gösteren tarımsal kalkınma kooperatifleri ve sulama kooperatifleri tarafından yürütülen çeltik tarımı, ilçenin ekonomisinde büyük oranda canlandırmaktadır [38].

6.2 Kullanılan Uydu Görüntüleri

Bu çalışmada İstanbul Teknik Üniversitesi, Uydu Haberleşme ve Uzaktan Algılama Merkezi (İTÜ-UHUZAM) yer uydu istasyonu tarafından 2005 yılı içinde 4 farklı tarihte alınmış Radarsat-1 verileri kullanılmıştır (Tablo 6.1). Veri tarihleri çeltik ürünün gelişme evrelerine uygun olarak seçilmeye çalışılmıştır. Radarsat-1 verileri C bandında algılanmıştır. Verilerin polarizasyonu yatay-yataydır. Kullanılan veriler uydu yörüngesine göre geometrik düzelmesi yapılmış Radarsat-1 SGF tip üründür ve standart CEOS formatında kaydedilmiştir.

Tablo 6.1 Kullanılan Radarsat-1 verileri

Tarih	Saat GMT/EEST	Görüntü Modu	Çözünürlük	Bakış Sayısı
13.04.2005	04:08/07:08	F5F-alçalan	6,25 m x 6,25 m	1
17.05.2005	04:16/07:16	F5N-alçalan	6,25 m x 6,25 m	1
28.07.2005	04:16/07:16	F5N-alçalan	6,25 m x 6,25 m	1
14.09.2005	04:16/07:16	F5N-alçalan	6,25 m x 6,25 m	1

Verileri işlemek için Envi uzaktan algılama görüntü işleme yazılımı kullanılmıştır.

6.3 Kullanılan Yersel Veriler

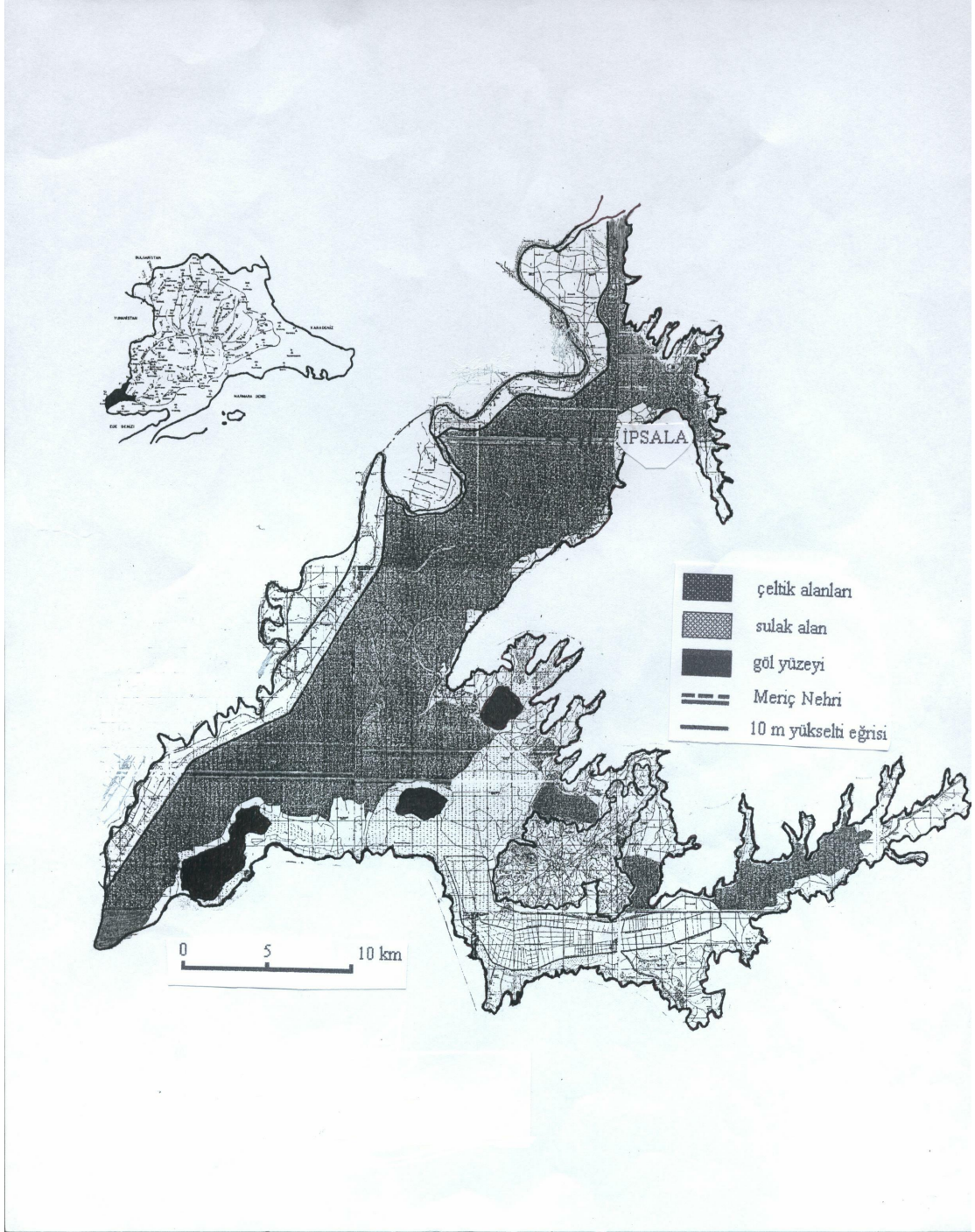
Çalışma bölgesi ve bölgedeki çeltik tarımı ile ilgili yersel bilgiler Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nde (TTAE) görev yapan Dr. Ali KARAHAN, İpsala ilçesinde faaliyet gösteren S.S. İpsala Merkez Tarımsal Kalkınma Kooperatif başkanı Süleyman BECEREN ve ayrıca bölgede çeltik tarımı ile uğraşan ilgililer ile yapılan görüşmelerden elde edilmiştir.

Verileri yorumlamak amaçlı toplanan bu bilgilere göre, bölgede ekilen çeltiğin ortalama yaşam süresi 130 gündür. Çeltik bu sürenin çoğunu su altında geçirmektedir. Bölgede çeltik, tava denilen tesviye edilmiş suyu tutabilmek için setler ile çevrilmiş, yüzölçümü olarak küçük alanlarda yetiştirilmektedir. Bölgede çeltiğin içinde büyüebilmesi gerekli su Meriç nehrinden ve bağlı kanallardan su motorları yardımı ile sağlanmaktadır. Tarlalardan su sadece hasat döneminden önce çekilmektedir. Bölgede çeltik genel olarak Mayıs ayında ekilip Ekim ayında ise hasat edilmektedir. Ürün takvimi hava koşullarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Yetkililerden alınan 2005 yılı ürün takvimi ise Tablo 6.2'de verilmiştir. Verilen tarihler genel olmakla birlikte bölgede bazı küçük alanlarda Nisan ayında da ekim yapılmıştır. 2005 yılında dekarda elde edilen verim yaklaşık 800/1000 kg olarak bildirilmiştir (İpsala Toprak Mahsülleri Ofisi).

Tablo 6.2 2005 yılı İpsala bölgesi ortalama çeltik ürün takvimi

	Başangıç Tarihi	Bitiş Tarihi
Ekim	01.05.2005	15.05.2005
Hasat	30.09.2005	15.10.2005

Çalışma alanının belirlenmesinde ve yapılacak spektral analizlerin doğruluğunun saptanmasında bölgedeki çeltik tarımı yapılan alanların gösterildiği (Şekil 6.3) Trakya Üniversitesi Ziraat Fakültesi öğretim üyelerinden Doç. Dr. Selçuk ALBUT tarafından sağlanan krokiden faydalanılmıştır.



Şekil 6.3 Çalışma alanı krokisi [39]

Radar verilerinin geri yansıtımını etkileyen sıcaklık, nem ve rüzgar hızı gibi meteorolojik veriler Tablo 6.3'te verilmiştir. Meteorolojik veriler, kullanılan verilerin görüntülediği güne göre ortalama ve görüntüleme saatine en yakın alınmış saatteki noktasal değerler olarak verilmektedir. Her dört tarihte de yağış görülmemiştir.

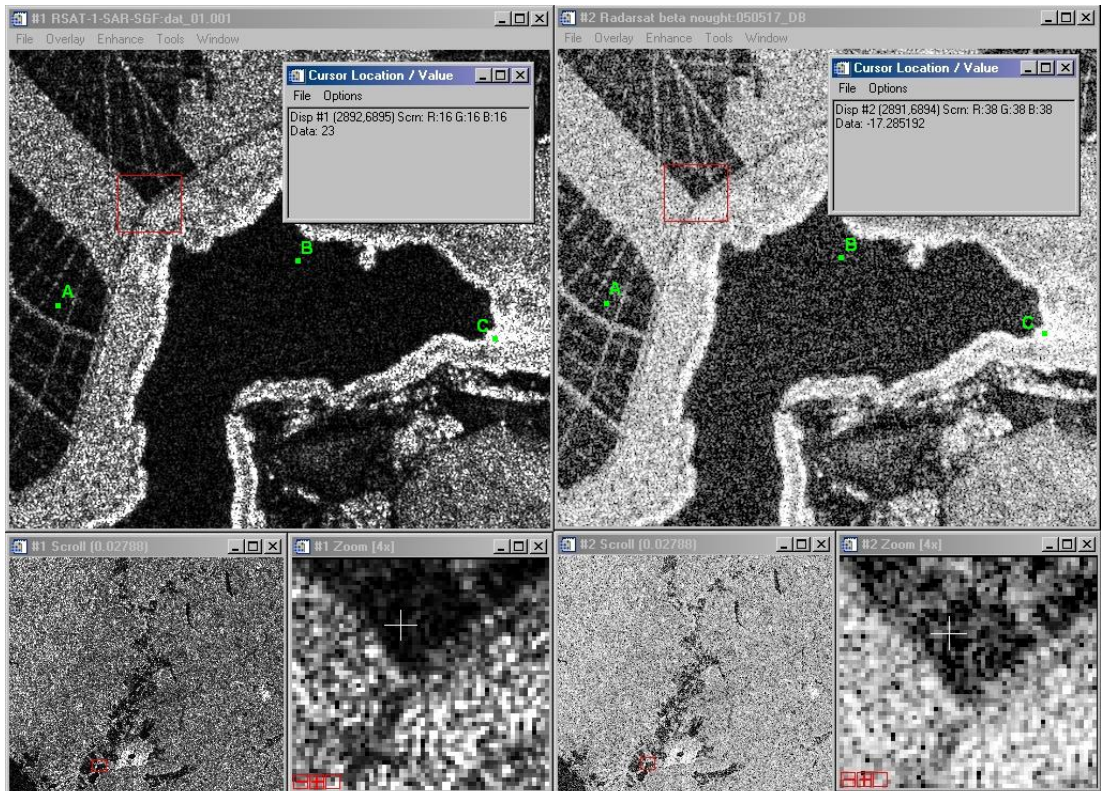
Tablo 6.3 Uydu verisinin alındığı tarihlerdeki meteorolojik veriler [40]

Tarih Saat (EEST)	Gün Ortalama Değerleri			09:00 AM Ölçülmüş Değerler		
	Sıcaklık °C	Nem Oranı %	Rüzgar Hızı km/sa	Sıcaklık °C	Nem Oranı %	Rüzgar Hızı km/sa
13.04.2005 07:08	16	54	7	11	70	9.3
17.05.2005 07:16	20	44	5	15	60	5.6
28.07.2005 07:16	24	57	6	23	70	9.3
14.09.2005 07:16	24	54	4	20	54	5.6

6.4 Uygulamalar

6.4.1 Verilerin Kalibrasyonu

Çalışmada kullanılan her Radarsat-1 görüntüsü algılayıcı özelliklerinden kaynaklı düzensizliklerin giderilmesi için kalibre edilmiştir. Kalibrasyon için gerekli bilgiler her bir görüntünün algılayıcı özelliklerinin bulunduğu başlık dosyalarından alınmıştır. Kalibrasyon sonucu her bir pikselin DN değerleri desibel biriminde radar geri yansıtım parlaklık değerine dönüşmüştür (Şekil 6.4).



(a)

(b)

Şekil 6.4 a) 17.05.2005 tarihli kalibre edilmemiş görüntü b) 17.05.2005 tarihli kalibre edilmiş görüntü

Şekil 6.4'deki her iki görüntüde A, B ve C noktalarında okunan DN ve β_0 değerleri Tablo 6.4'de karşılaştırmalı olarak görülmektedir.

Tablo 6.4 A,B ve C noktalarındaki DN ve β_0 değerleri

Nokta Adı	DN	β_0 (dB)	Tanım
A	29	-12.9545	Su altında çeltik tarlası
B	18	-21.0602	Göl yüzeyi
C	255	6.2511	Sazlık sulak bölge

6.4.2 Verilerdeki Gürültü Faktörünün Giderilmesi

Çalışmada kullanılan her Radarsat-1 görüntüsündeki gürültü faktörünü giderebilmek için alçak geçirgenli farklı filtreler denenmiştir. Görsel açıdan en iyi sonuçlar filtreleme iki adımda uygulandığında elde edilmiştir. Her bir farklı tarihli veri için en iyi sonuç veren filtreler Tablo 6.5'da verilmiştir. Görüntülerdeki gürültü giderilirken sınır, yol gibi detayların kaybolmamasına dikkat edilmiştir.

Tablo 6.5 Görüntülerdeki gürültüyü gidermede kullanılan filtreler

Tarih	1. adımda uygulanan filtre	2. adımda uygulanan filtre
13.04.2005	Medyan 3x3	Alçak geçirgenli 5x5
17.05.2005	Medyan 3x3	Alçak geçirgenli 5x5
28.07.2005	Medyan 3x3	Alçak geçirgenli 5x5
14.09.2005	Geliştirilmiş Frost 3x3	Alçak geçirgenli 5x5

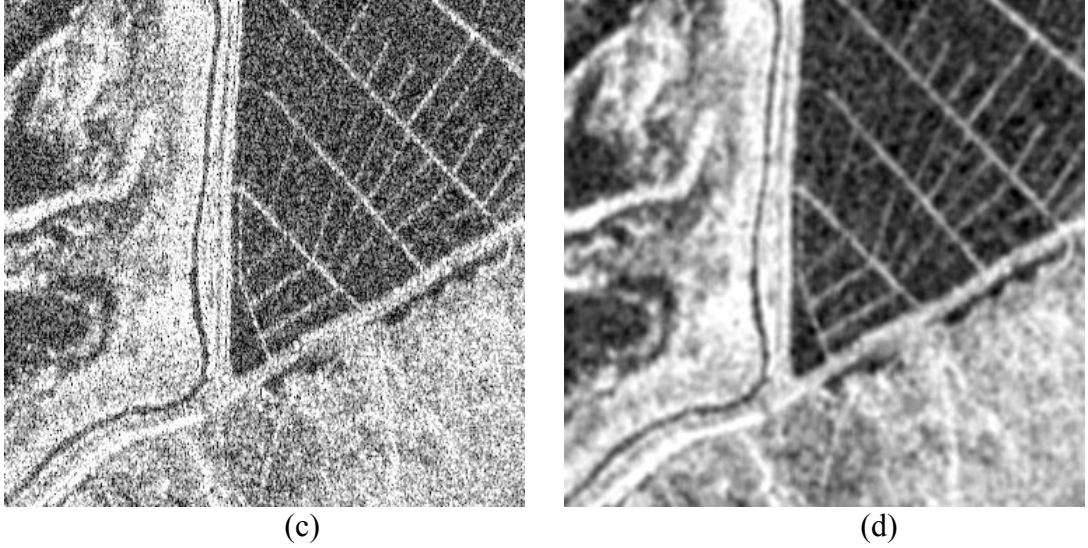
Kalibre edilmemiş 14.09.2005 ve 13.04.2005 tarihli verilerdeki gürültü probleminin seçilen filtreler uygulandıktan sonraki görüntüleri Şekil 6.5'te görülmektedir.



(a)



(b)



Şekil 6.5 Filtrelemenin görüntülere etkisi a) 14.09.2005 tarihli filtre edilmemiş Radarsat-1 görüntüsü b) 14.09.2005 tarihli filtrelenmiş Radarsat-1 görüntüsü c) 13.04.2005 tarihli filtre edilmemiş Radarsat-1 görüntüsü d) 13.04.2005 tarihli filtrelenmiş Radarsat-1 görüntüsü

6.4.3 Verilerin Geometrik Düzeltmesi

Kullanılan veriler yörüngeye göre geometrik düzeltilmiş olduğu için her farklı tarihli görüntüdeki aynı satır ve sütundaki piksel yeryüzünde aynı noktaya karşılık gelmemektedir. Bunu sağlamak amacı her görüntü baz olarak seçilen 17.05.2005 tarihli görüntüye göre geometrik kayıt edilmiştir. Bu işlem hem kalibre edilmemiş veri setine hem de edilmiş veri setine için uygulanmıştır. Geometrik kayıt işlemi için öncelikle görüntülerde homojen olarak dağılmış yer kontrol noktaları belirlenmiştir. Noktalar belirlenirken KOH değerinin $\pm 0,5$ ile ± 1 değerleri arasında olmasına dikkat edilmiştir (Tablo 6.6)

Tablo 6.6 Geometrik kayıt için kullanılan YKNları ve KOHları

Geometrik kayıt edilen görüntü	YKN adet	KOH
13.04.2005	25	0,9694
28.07.2005	30	0,9996
14.09.2005	36	0,9878

Geometrik kayıt işlemi, 1. dereceden polinom yöntemi ve yeniden örnekleme metodu olarak en yakın komşuluk yöntemi seçilerek yapılmıştır. Yeniden örnekleme yönteminin seçiminde bir sonraki uygulama adımı olan sınıflandırma işlemi göz önünde bulundurulmuştur.

6.4.4 Verilerin Sınıflandırılması

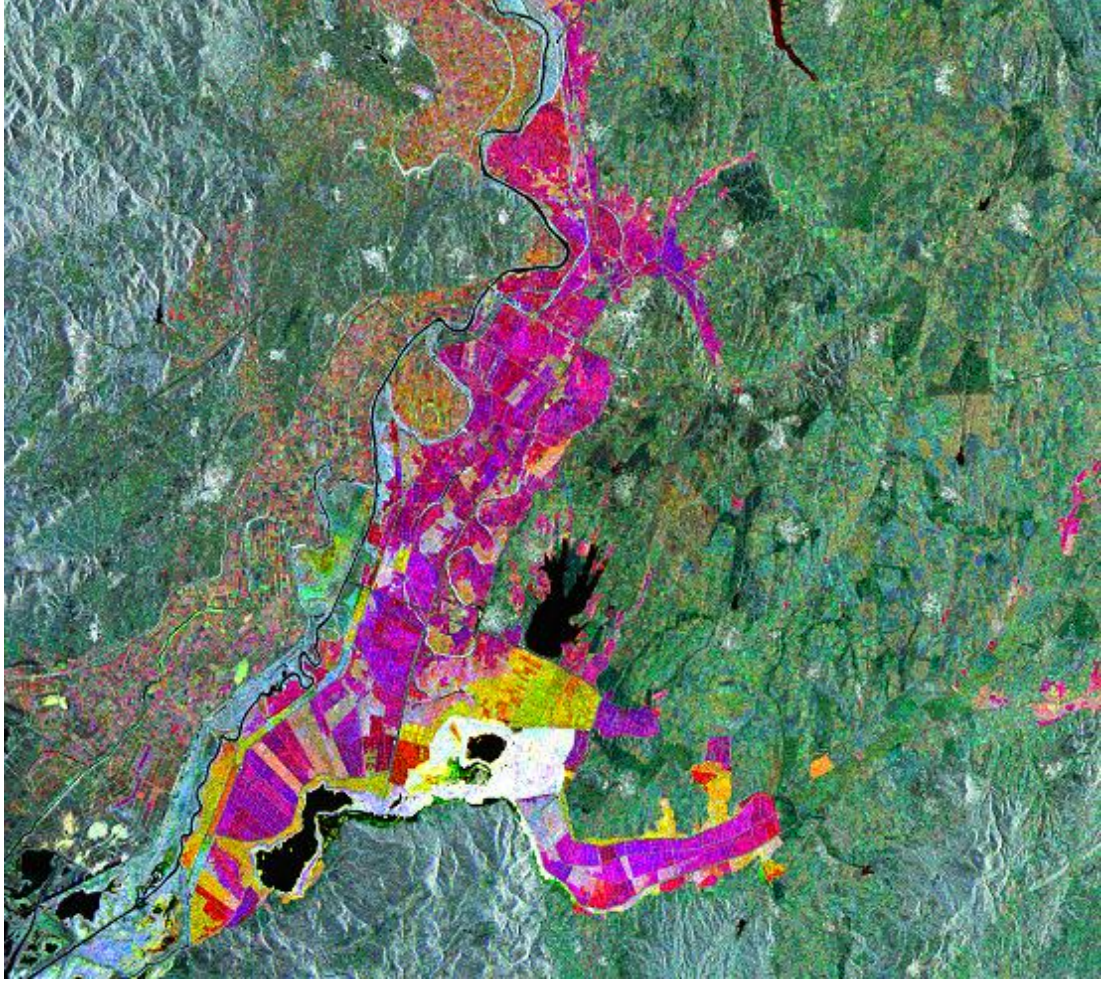
6.4.4.1 Çok zamanlı görüntünün oluşturulması

Çeltiğin büyüme evreleri boyunca radar geri yansıtımındaki karakteristik değişikliklere bağlı olarak yapılacak sınıflandırma öncesi aynı geometride bulunan farklı tarihli veriler ile çok zamanlı Radarsat-1 veri seti oluşturulmuştur (Şekil 6.6). Bu işlem hem kalibre edilmiş hem de edilmemiş veri setine uygulanmıştır.

Oluşturulan çok zamanlı radar görüntüsünde kullanılan görüntülerin tarihleri ve veri setinde karşılık geldiği bant numaraları Tablo 6.7’de verilmiştir. Oluşturulan çok bantlı veride farklı bant kombinasyonları denenerek çeltik ekili alanların en iyi ayırt edildiği kombinasyon (Kırmızı: 4. bant, Yeşil: 2. bant, Mavi: 1. bant) Şekil 6.6’da gösterilmektedir.

Tablo 6.7 Çok zamanlı görüntüde kullanılan uydu görüntüleri

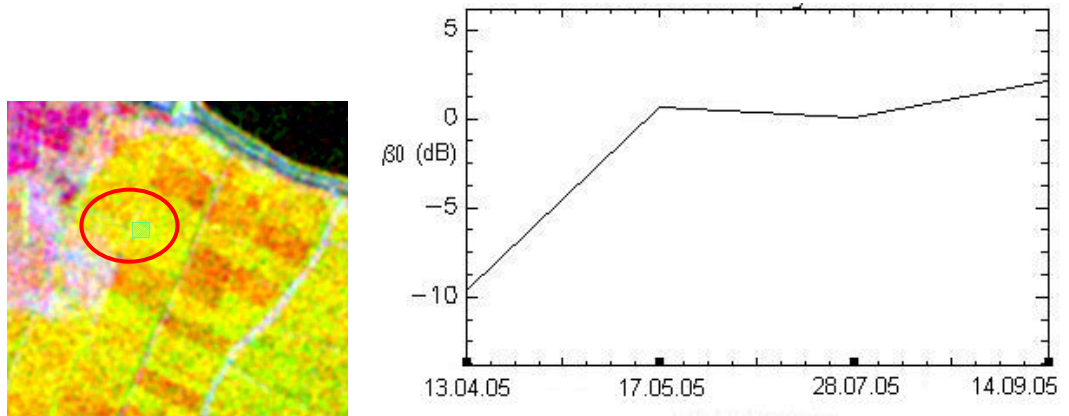
Bant No	RADARSAT veri tarihi
1	13.04.2005
2	17.05.2005
3	28.07.2005
4	14.09.2005



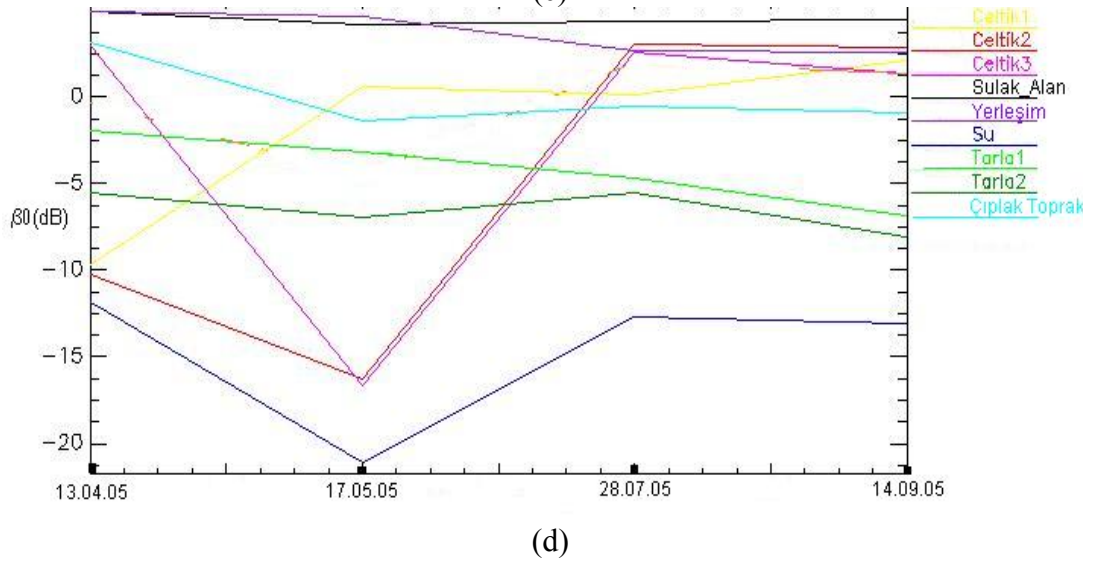
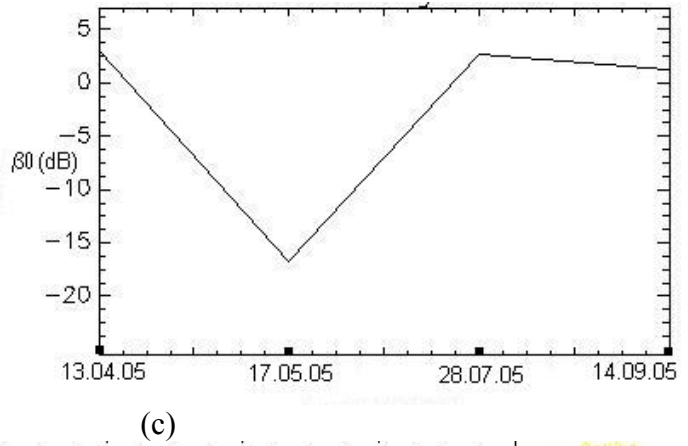
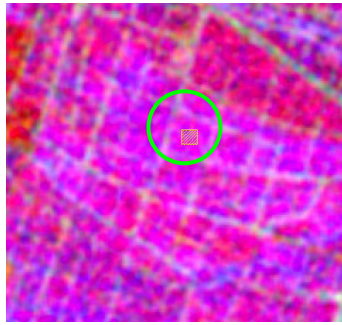
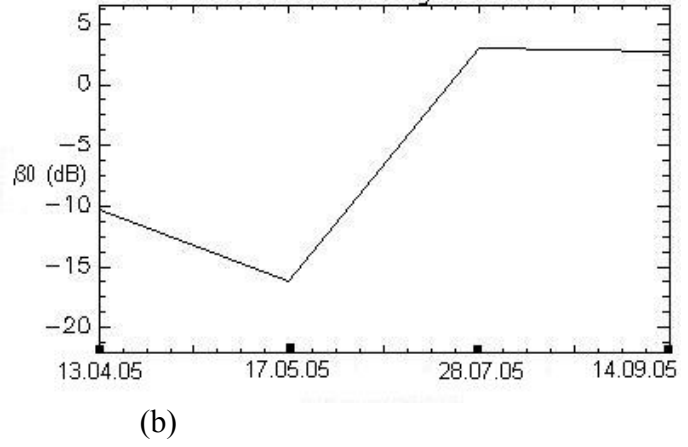
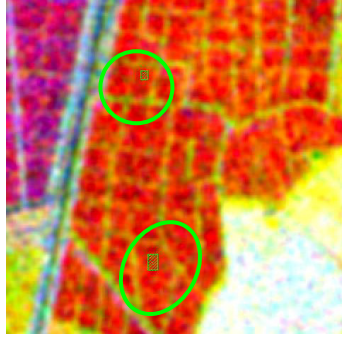
Şekil 6.6 Kalibre edilmemiş veriler ile oluşturulan çok zamanlı RADARSAT görüntüsü, (K:14/09/2005, Y:17/05/2005, M:13/04/2005).

6.4.4.2 Kontrol bölgelerinin seçimi

Sınıflandırma öncesi kalibre edilmiş verilerden oluşturulan çok zamanlı/bantlı Radarsat-1 veri seti kullanılarak çeltik ve diğer arazi örtüsü sınıflarına ait zamansal radar geri yansıtım profili çıkartılmıştır. Oluşturulan grafikler ve göz önüne alınan arazi örtü sınıflarından seçilen kontrol bölgeleri Şekil 6.7’de verilmektedir.



(a)



Şekil 6.7 Zamansal geri yansıtım grafikleri a) Çeltik1 kontrol bölgesi ve zamansal geri yansıtım profili b) Çeltik2 kontrol bölgesi ve zamansal geri yansıtım profili c) Çeltik3 kontrol bölgesi ve zamansal geri yansıtım profili d) Göz önüne alınan arazi örtülerinin zamansal geri yansıtım profili

Şekil 6.7 d'deki grafikten de görüleceği gibi çeltiğin zamansal geri yansıtımı diğer arazi örtüsü sınıflarından kolaylıkla ayrılmasını sağlamaktadır. Şekil 6.7'deki grafiklerden farklı tarihlerde ekilmiş ve su altındaki büyüme dönemleri farklı uzunlukta olan çeltik alanlarının da birbirlerinden ayırt edilebildikleri görülmektedir.

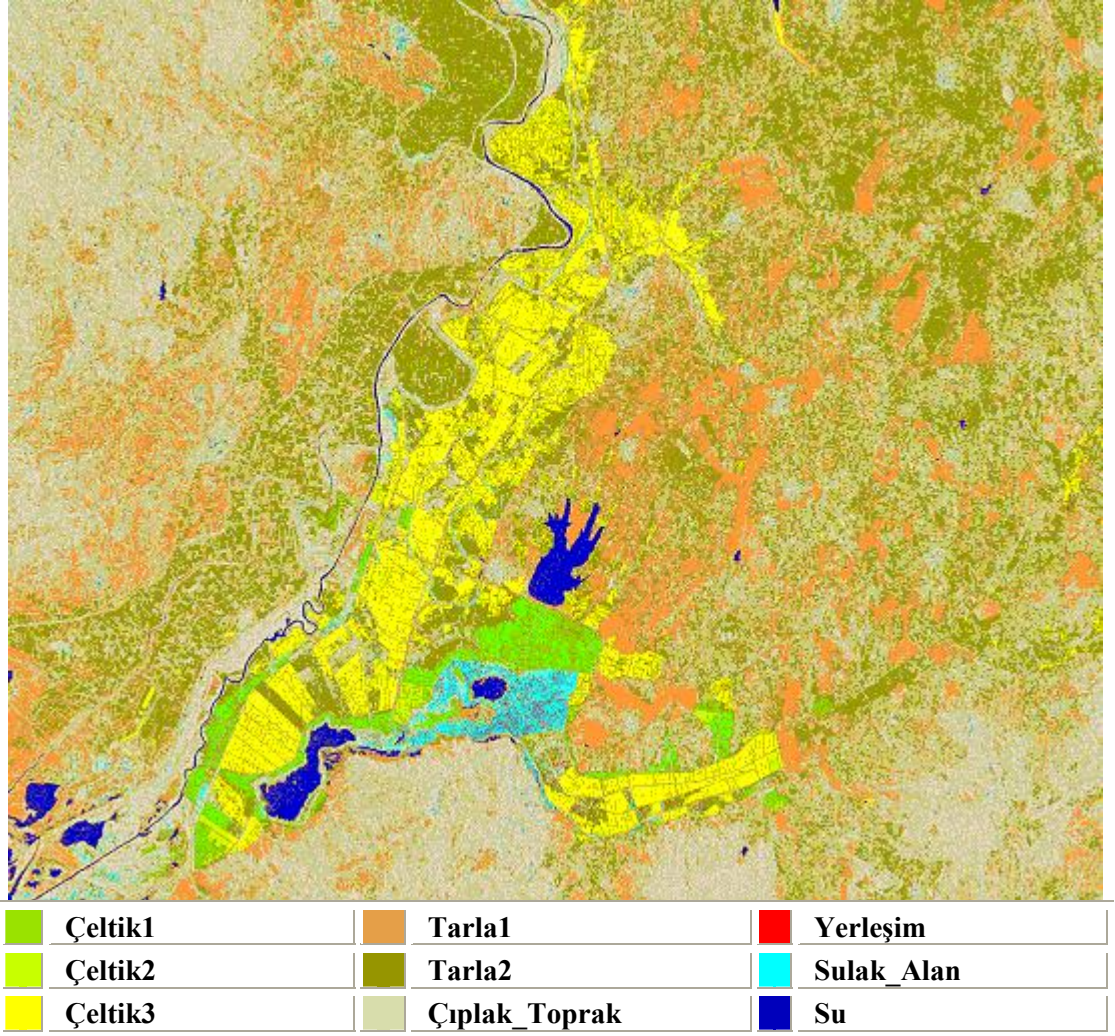
Oluşturulan zamansal geri yansıtım profilleri incelendiğinde ve Tablo 5.1’de verilen değerler ile karşılaştırıldığında görüntü sınırları içinde ayırt edilen arazi örtüsü sınıfları Tablo 6.8’da verilmiştir.

Tablo 6.8 Göz önüne alınan arazi örtüsü sınıfları

Sınıf Adı	Tanımı
Çeltik1	Nisan ayında ekim yapılan çeltik tarlaları
Çeltik2	Hem Nisan hem Mayıs aylarında su verilen çeltik tarlaları
Çeltik3	Mayıs ayında ekim yapılan çeltik tarlaları
Su	Deniz, kanal, nehir, göl ve gölet yüzeyleri
Sulak_Alan	Su kenarlarında bataklık alanda sazlık olması muhtemel alanlar
Yerleşim	İlçe, belde ve köy merkezleri insan yapısı objelerin bulunduğu alanlar
Tarla1	Ekili alanlar
Tarla2	Ekili alanlar (yansıtım özellikleri bakımından çeltik olması muhtemel, yersel veri bulunmayan bölgelerde bulunan alanlar)
Çıplak_Toprak	Ekili olmayan alanlar, dağlık ve kumluk bölgeler

6.4.4.3 Kontrollü Sınıflandırma

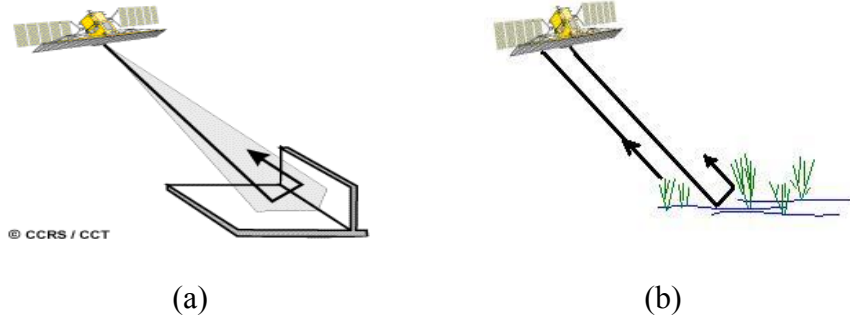
Kalibre edilmemiş çok zamanlı/bantlı Radarsat-1 üzerinde Tablo 6.8’de verilen sınıflara göre seçilen kontrol bölgeleri kullanılarak kontrollü olarak sınıflandırılma yapılmıştır. Sınıflandırma yöntemi olarak en çok benzerlik yöntemi kullanılmıştır. Sınıflandırılmış görüntü Şekil 6.8’da verilmiştir.



Şekil 6.8 Sınıflandırılmış çok bantlı Radarsat-1 görüntüsü

Sınıflandırma sonucu oluşan görüntü mevcut arazi krokisine göre irdelenmiştir. Tarla 2 olarak sınıflandırılan piksellerin yine çeltik ekili tarlalar olabileceği tespit edilmiş ancak özellikle Meriç nehrinin batısında bulunan bu alanlara ait yersel veri bulunmadığı için çeltik sınıfı içine dahil edilmemişlerdir.

Ayrıca sınıflandırma sonucu yerleşim ve sulak alan piksellerinin karıştığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeni sulak alan olarak tanımlanan alanlarda su yüzeyinde bulunan sazlık benzeri bitki örtüsünün, yerleşim bölgelerindeki insan yapısı objeler ile benzer kuvvetli geri yansıtıma sahip olmasıdır (Şekil 6.10)



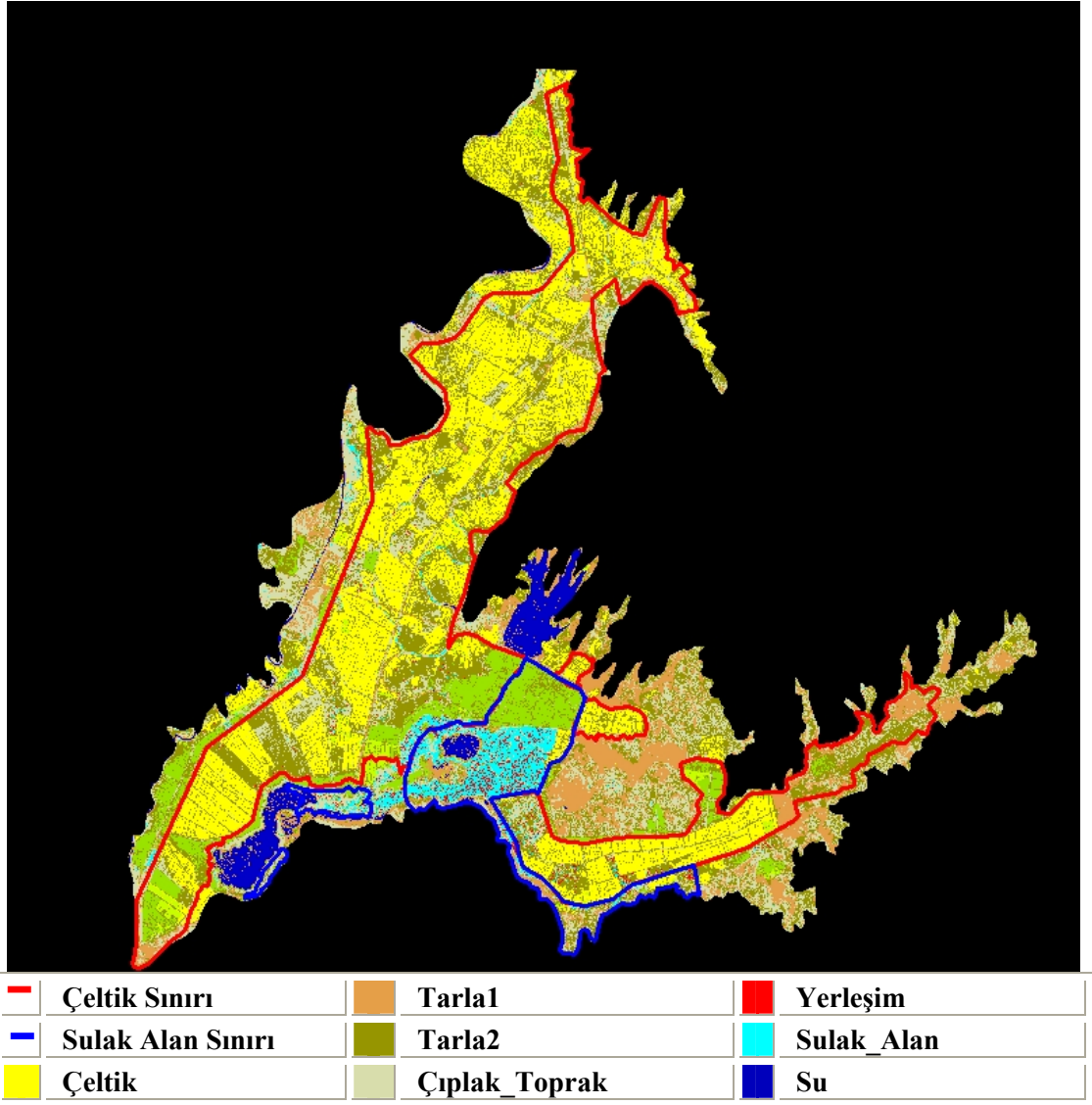
Şekil 6.9 Sulak alanlar ile yerleşim alanlarındaki geri yansıtım benzerliği a) İnsan yapısı objeler b) sulak alanlar

6.4.4.4 Doğruluk Analizi

Çeltik ekili alanlar için sınıflandırma doğruluğunun analiz edilmesinde Şekil 6.3’de verilen çalışma alanı krokisinden faydalanılmıştır. Karşılaştırma yapabilmek için öncelikle kroki, sınıflandırılan çok bantlı Radarsat-1 görüntüsüne geometrik kayıt edilmiştir.

Sınıflandırılan görüntü ile aynı geometride bulunan krokiden bölgedeki çeltik ekili alanların ve sulak alan olarak tanımlanan alanların sınırları vektor veri olarak üretilmiştir.

Oluşturulan vektörler sınıflandırılmış görüntü üzerine overlay edilmiştir (Şekil 6.10). Bu sınırlara göre çeltik ve sulak alan sınıflarının doğruluğu, hata matrisi ile analiz edilmiştir (Tablo 6.9). Doğruluk analizinde, göz önüne alınan Çeltik 1, Çeltik 2 ve Çeltik 3 sınıfları birleştirilerek tek çeltik sınıfı olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 6.10 Çalışma bölgesindeki çeltik ekili alanların ve sulak alanların sınırları

Tablo 6.9 Hata matrisi

Sınıflandırılmış Görüntü	Yersel Doğruluklu Veriler			
		Çeltik	Sulak Alan	Toplam
	Çeltik	2722089	230633	2952722
	Sulak Alan	36153	168974	205127
	Toplam	2758242	399607	3157849

Oluşturulan hata matrisi sonucu çeltik ve sulak alan sınıfları için genel doğruluk ($2891063/3157849$) 91.5517%, kappa değeri ise 0,5174 olarak bulunmuştur. Çeltik ve sulak alan sınıfları için hata matrisinden hesaplanan üretici ve kullanıcı doğrulukları Tablo 6.11’de verilmiştir.

Tablo 6.10 Sınıflandırma doğruluk analizi

Sınıf Adı	Üretici Doğruluğu	Kullanıcı Doğruluğu
Çeltik	(2722089/2758242) %98,6	(2722089/2952722) %92,2
Sulak Alan	(230633/399607) %57,7	(36153/205127) %17,6

Sınıflandırma sonuçlarından faydalananarak çalışma bölgesi sınırları içinde çeltik ekili alanların toplam alansal değeri 115,340 km² olarak hesaplanmıştır.

7. SONUÇLAR

Ekolojik ve iklimsel koşulları, toprak özellikleri ve zengin ürün çeşitleri ile Türkiye tarım alanında destek verilen ülkelerin başında gelmektedir. Bu özelliklerin yanısıra nüfusun %45'i kırsal kesimde yaşamakta ve geçim kaynağı olarak tarımsal faaliyetlerde bulunmaktadır. Bu bağlamda Türkiye özellikle büyük ölçekte etkin ve sürdürülebilir tarım politikalarını belirlemek ve uygulamak zorundadır.

Bu politikaları oluşturabilmek için sadece yersel çalışmalar, çiftçi geri bildirim çalışmaları gibi veri toplama yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Gerekli seviyede hızlı, doğru ve ekonomik çözümü uzaktan algılama teknolojileri sunmaktadır.

1990'lı yıllardan bu yana Avrupa ülkelerinde tarımsal amaçlı çalışmalarda etkin bir şekilde kullanılan uzaktan algılama teknikleri, günümüzde Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne uyum süreci boyunca ülkemizde de desteklenmektedir.

Bu çalışmada başlıca gelir kaynağı çeltik tarımı olan İpsala bölgesinde çeltik ekili alanlar 115.340 km² olarak %91 genel doğruluk ile tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan radar verileri hava koşullarından bağımsız olarak çeltiğin ürün takvimine göre belirlenen uygun tarihlerde gerekli verinin elde edilebilmesi açısından avantaj sağlamıştır.

Çeltiğin büyüme evrelerine bağlı olarak çeltik ekili alanların radar geri yansıtımında gözlenen belirgin değişiklikler, çeltiğin ekiminden hasata kadar geçen evrelerinin radar verileri ile saptanabildiğini göstermektedir.

Çeltik ekili alanların tespiti için kullanılacak doğru ve uygun tarihlerde alınmış radar görüntüleri ile yersel bilgiler birlikte kullanılarak ürün verim analizinin yapılmasında mümkündür.

Türkiye’de tüketilen pirincin tümü çeltik tarımı ile karşılanamamakta ve pirinç ithal edilmektedir. Radar verileri ve uygun yersel veriler ile üretilecek doğru ürün haritalaması ve daha etkin tarımsal planların yapılması ve böylelikle üretimin geliştirilmesi sağlanacaktır.

2006 yılında fırlatılması planlanan Radarsat-2 uydusunun ultra hassas ışın modu, mekansal çözünürlüğü 3m olan radar görüntüleri sağlayacaktır. Gelecekte bu ve benzeri yüksek çözünürlüklü radar verilerinin kullanılması ile çeltik ürünü daha doğruluklu ve prezisyonlu bir şekilde tespit edilecek ve hatta “tava” denilen küçük alanlarda yetiştirilen çeltik tarlalarının sınırlarında yüksek doğrulukla belirlenerek ürün haritalamasında ve rekolte tayininde etkin rol oynayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Lillesand, T. M. -Kiefer, R.W.**, 1987. Remote sensing and Image Interpretation.
John Willey&Sons
- [2] **Rees, W. G.**, 1990. Topics in Remote Sensing 1-Physical Principles of Remote
Sensing. Cambridge University Press
- [3] **Slater,P.N.**, 1980.Remote Sensing Optics and Optical Systems.Addison_ Wesley
Publisihing Company
- [4] <http://www.ccrs.nrcan.go.ca>
- [5] <http://rst.grfc.nasa.gov>
- [6] **Lintz, J. Jr-Simonett, D. S. (Ed).**, 1976. *Remote Sensing of Enviroment.*,
Addison-Wesley Publishing Company
- [7] <http://orbit-net.nesdis.noaa.gov/arad/fpdt/tutorial/albedo.html>
- [8] <http://tlr.iaa.mlib.cnr.it/emrad.html>
- [9] <http://www.biogeorecon.com/remote.html>
- [10] <http://www.uwm.edu/Course/416-403/emrad4.pdf>
- [11] <http://www.gsfc.nasa.gov/topstory/20020624eo1.html>
- [12] <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/rsmain.htm>
- [13] http://www.eurimage.com/gallery/webfiles/ls_intro.html
- [14] [http:// www.digitalglobe.com](http://www.digitalglobe.com)
- [15] http://www.gras.ku.dk/vhr/spot/r235_BCS138_1280.jpg
- [16] <http://www.spotimage.fr>

- [17] <http://www.nik.com.tr/>
- [18] <http://edc.usgs.gov/products/satellite/eo1.html>
- [19] <http://southport.jpl.nasa.gov/>
- [20] **Jacobsen, K.**, High Resolution Satellite Image Systems-Overview, University of Hannover, Germany
- [21] <http://spatialnews.geocomm.com/whitepapers/radarsat1.pdf>
- [22] http://www.radarsat2.info/rs2_satellite/overview
- [23] <http://earth.esa.int/cgi-bin/satimngsql.pl>
- [24] http://www.jaxa.jp/countdown/f8/index_e.html
- [25] http://www.jaxa.jp/missions/projects/sat/eos/alos/index_e.html
- [26] <http://alos.nasda.go.jp/index-e.html>
- [27] <http://www.terrasar.de/>
- [28] **Süreker, H.**, Rice Production and Research Activities in Turkey, Thrace Agricultural Research Institute, Edirne, Turkey
- [29] **Gül, U.** , 2003. Çeltik, *TEAE Bakış*, **3**, 1-3.
- [30] http://www.tarim.gov.tr/arayuz/6/icerik.asp?efl=uretim/urun_raporlari/urun_index_2002.htm&curdir=\uretim\urun_raporlari&fl=celtik/celtik.htm
- [31] http://www.green.gifu-u.ac.jp/~akiyama/pers_p/evri/evri.pdf
- [32] <http://www.crisp.nus.edu.sg/~research/research/forest/mekong/igarss99/ppframe>
- [33] **Su, M. ve Yang, C.**, 1999. Estimation of rice growth from ferlectance spectra of vegetative cover, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **4**, 13-23
- [34] **Erbek, F. S.**, ve arkadaşları., Ürün tipi ve toprak nemi araştırmasında JERS radar uydu verilerinin kullanımı, TÜBİTAK, İÇTAG 1921, 2005
- [35] <http://www.cscrs.itu.edu.tr/page.tr.php?id=14#snf>
- [36] **Ünver, B., Türkan, Y. ve Özküralpli, İ.**, 2003. Calculating the areal extent of the snow cover in Uludağ-Bursa by using satellite images, *Lisans Bitirme Tezi*, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul

- [37] **İspir, E.**, 2000. Uzaktan algılama yöntemleri ile Köyceğiz Bölgesindeki Sığla Ormanlarının değişim analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [38] <http://www.ipsala-bld.gov.tr/celtik.asp#>
- [39] **Albut S.**, kişisel görüşme
- [40] <http://www.wunderground.com/history/station/17050>)

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Manisa’da doğdu. İlk ve orta öğretimini sırası ile Murat Germen İlkokulu, Fatih Anadolu Lisesi’nde tamamladı.

1998-1999 öğretim yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünde lisans eğitime başladı. İlk bir yıl hazırlık eğitiminin ardından, Haziran 2003’de mezun oldu.

2003-2004 öğretim yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği programında yüksek lisans eğitime başladı.

Halen uydu görüntüleri ve uzaktan algılama yazılımlarının distirübütörlüğünü yapan özel bir firmada çalışmaktadır.