İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜNDİKEN KÜTLESİ'NDEKİ YÜKSELTİ-İKLİM KUŞAKLARININ VE ORMAN TOPLUMLARININ ÖZELLİKLERİNİN UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Müfit ÇETİN

Anabilim Dalı : JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ

TEMMUZ 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜNDİKEN KÜTLESİ'NDEKİ YÜKSELTİ-İKLİM KUŞAKLARININ VE ORMAN TOPLUMLARININ ÖZELLİKLERİNİN UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE BELİRLENMESİ

DOKTORA TEZİ

Y. Müh. Müfit ÇETİN
(501012187)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 Haziran 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Temmuz 2007

Tez Danışmanı :	**Prof.Dr. Nebiye MUSAOĞLU**
Diğer Jüri Üyeleri	**Prof.Dr. M. Doğan KANTARCI (İÜ)**
	Prof.Dr. Cankut ÖRMECİ
	Prof.Dr. Cemil CANGİR (NKÜ)
	Yrd.Doç.Dr. Şinasi KAYA

TEMMUZ 2007

ÖNSÖZ

Doktora öğrenimim boyunca meslek hayatındaki mücadele azmi ile çalışmalarımda bana cesaret veren, rehberlik eden, destek olan ve daima hoş görülü davranan danışman hocam sayın Prof. Dr. Nebiye Musaoğlu'na müteşekkirim. Ormancılık alanındaki engin bilgi ve deneyimi ile tezimin başından itibaren büyük bir alçak gönüllülükle bana zaman ayırarak rehberlik eden ve emek veren sayın hocam Prof. Dr. M. Doğan Kantarcı'ya çalışmamdaki değerli katkı ve tavsiyelerinden dolayı sonsuz müteşekkirim. Faydalı önerilerinden dolayı tez komite üyesi sayın hocam Prof. Dr. Cankut Örmeci'ye teşekkür ederim. Tez çalışmamda bilgilerini benimle paylaşan ve arazi çalışmalarımda bana rehberlik eden başta dostum sayın Dr. Nejat Çelik'e, Eskişehir Orman Toprak ve Ekoloji Araştırma Enstitü Müdürü sayın Ayhan Demir Gürpınar ve emeği geçen enstitütü çalışanlarına müteşekkirim. Ayrıca çalışmamda bana ilgi gösteren sayın Doç. Dr. Doğanay Tolunay'a teşekkür ederim. Burada ismini anmayıp tezimde emeği geçen herkese minnettarım.

Doktora öğrenimim sürecince bana ilgi ve desteğini esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Taşkın Kavzoğlu'na ve başta İTÜ uzaktan algılama anabilim dalı olmak üzere bölüm öğretim üyelerine ve araştırma görevlisi arkadaşlara teşekkür ederim.

Bugüne kadar akademik kariyerim boyunca çalışmalarımda bana her zaman destek olan başta sevgili eşim Ayşe Tansel Çetin'e, canım kızım Sudenaz'a ve tüm aile fertlerine teşekkür ederim.

Temmuz 2007 Müfit ÇETİN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **vi**
TABLO LİSTESİ **vii**
ŞEKİL LİSTESİ **ix**
SEMBOL LİSTESİ **xii**
ÖZET **xiii**
SUMMARY **xiv**

1. GİRİŞ VE AMAÇ **1**

2. ÇALIŞMA ALANI VE YETİŞME ORTAMI ÖZELLİKLERİ **4**
2.1. Coğrafi Konumu ve Yeryüzü Şekli Özellikleri 4
2.1.1. Arazinin yapısı ve vadiler 4
2.1.2. Yükselti, bakı ve eğim özellikleri 5
2.2. İklim Özellikleri 6
2.2.1. Yakın çevredeki meteoroloji istasyonlarının ölçmeleri 6
2.2.2. Sündiken kütlesinin iklim özellikleri 7
2.3. Jeolojik Yapı, Anakaya ve Toprak Özellikleri 7
2.3.1. Jeolojik yapı 7
2.3.2. Anakayalar 8
2.3.3. Toprak özellikleri 8
2.4. Bitki Örtüsü 9
2.4.1. Amenajman planında meşcere haritası 9
2.4.2. Ağaç ve çalı türlerinin bakı ve yüksekliğe bağlı yayılışı 10
2.4.3. Bitki örtüsü ile ilgili eski araştırmalar ve elde edilen bulgular 11
2.5. Arazi Yetenek Sınıfları ve Arazi Kullanımı 12

3. YÖNTEM **14**
3.1. Kullanılan Veriler 14
3.1.1. Yer ölçmelerine ait veriler 14
3.1.1.1. Örnek alanlara ait arazi çalışması 14
3.1.1.2. Spektroradyometre ile yer ölçmeleri 17
3.1.1.3. Arazide elde edilen hava ve yüzey sıcaklığı ölçmeleri 20
3.1.2. Uydu görüntüleri 22
3.1.3. Haritalar 26
3.2. Arazi Özelliklerinin Sınıflandırılması 26
3.2.1. Sayısal yükselik modeli 26

3.2.2. Bakı sınıflandırması 27
3.2.3. Eğim sınıflandırması 28
3.2.4. Yükselti basamakları 28
3.2.5. Ormanın kapalılık oranları 29
3.3. Uydu Görüntülerinin Ön İşlenmesi 30
3.3.1. Radyometrik düzeltme 30
3.3.2. Radyans dönüşümü 35
3.3.3. Geometrik düzeltme 36
3.3.4. Atmosferik düzeltme 37
3.3.5. Topografik düzeltme 42
3.3.6. Reflektans dönüşümü 44
3.4. Bitki Örtüsünün Kapalılık Oranlarının Belirlenmesi 45
3.4.1. Bitki indeksi 45
3.4.2. Uydu görüntülerinden orman alanlarına ait kapalılık değerlerinin elde edilmesi 47
3.5. Uydu Görüntülerinden Meşcere Tiplerinin Ayırt Edilmesi 48
3.5.1. Çok bantlı uydu görüntüleri ile sınıflandırma 50
3.5.1.1. En büyük olabilirlik 53
3.5.1.2. Yapay sinir ağları 54
3.5.1.3. Nesne tabanlı görüntü analizi 56
3.5.1.4. Sınıflandırmanın iyileştirilmesi 58
3.5.2. Hiperspektral uydu görüntüleri ile sınıflandırma 59
3.5.3. Doğruluk analizi 60
3.6. Yüzey Sıcaklığının Belirlenmesi 64
3.6.1. Uydu görüntülerinden yüzey sıcaklığının belirlenmesi 65
3.6.2. Arazide sıcaklığın yer ölçmeleri ile belirlenmesi 69
3.6.2.1. Toprağa yakın sıcaklığın ölçülmesi 69
3.6.2.2. Yüzey sıcaklığının ölçülmesi 69
3.6.3. Uydu görüntülerinden belirlenen ve arazide ölçülen sıcaklık değerlerinin ilişkilendirilmesi 70

4. BULGULAR 74
4.1. Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Bulgular ile Arazi Özelliklerinin Belirlenmesi ve Sınıflandırılması 74
4.1.1. Arazinin; bakı, yükselti ve eğim gruplarına göre ayırt edilmesi 74
4.1.1.1. Bakı gruplarına göre elde edilen bulgular 74
4.1.1.2. Eğim gruplarına göre elde edilen bulgular 77
4.1.1.3. Yükselti gruplarına göre elde edilen bulgular 77
4.1.1.4. Bakı/yükselti/eğim özelliklerine göre elde edilen bulgular 79

4.1.2. Uydu görüntülerinden elde edilen orman alanlarının kapalılık değerlerine ait bulgular 82
4.1.3. Uydu görüntülerinden meşcere tiplerinin ayırt edilmesine ait elde edilen bulgular 84
4.1.3.1. Spektroradyometre ölçmeleri ile elde edilen bulgular 84
4.1.3.2. Çok bantlı uydu görüntülerinin sınıflandırılmasından elde edilen bulgular 87
4.1.3.3. Hiperspektral uydu görüntülerinin sınıflandırılmasından elde edilen bulgular 89
4.1.4. Ormanın tür birleşimine göre uydu görüntülerinden elde edilen bulgular ile yer ölçmelerinden elde edilen bulguların derlenmesi 95
4.1.4.1. Ormanın tür birleşiminin genel durumu 95
4.1.4.2. Ormanın tür birleşiminin yer ölçmeleri ile karşılaştırılması ve elde edilen sonuçlar 96
4.1.4.3. Kuzey ve güney bakılı yamaçlarda yükseltiye bağlı olarak bakı ve eğime göre ormanın tür birleşimine ait elde edilen bulgular 98
4.2. Uydu Görüntülerinden Belirlenen ve Arazide Ölçülen Sıcaklık Değerlerinin İlişkilendirilmesine ait Bulgular 99
4.2.1. Arazide elde edilen hava ve yüzey sıcaklığı ölçmeleri ile elde edilen bulgular 99
4.2.2. Arazideki açık alanlar ve ormanın kapalılığına göre uydu görüntülerinden yüzey sıcaklığının belirlenmesine yönelik elde edilen bulgular 103

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 105

6. ÖNERİLER 109

KAYNAKLAR 112

EKLER 121

ÖZGEÇMİŞ 146

KISALTMALAR

ALI	: Advanced Land Imager
ASD	: Analytical Spectral Devices
ASTER	: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
ATCOR	: Atmospheric Correction
AVHRR	: Advanced Very High Resolution Radiometer
BIL	: Band Interleaved
BRDF	: Bi-directional Reflectance Distribution Function
DN	: Digital Number
EBO	: En Büyük Olabilirlik
EO–1	: Earth Observing-1
ETM	: Enhanced Tematic Mapper
GPS	: Global Positioning System
HDF	: Hierarchical Data Format
IFOV	: Instantaneous Field of View
KHGM	: Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü
LANDSAT	: Land Satellite
LEISA	: Linear Etalon Imaging Spectrometer Array
MNF	: Minumum Noise Fraction
MODIS	: Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer
MODTRAN	: Moderate Spectral Resolution Atmospheric Transsmittance
MS	: Multi Spectral
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NDVI	: Normalized Vegetation Index
OIF	: Optimum Index Factor
SAM	: Spectral Angle Mapper
SPOT	: Satellite Probatoire d'Observation de la Terre
SWIR	: Short Wave Infrared
TSAVI	: Transformed Soil Adjusted Vegetation Index
USGS	: United States Geological Survey
UTM	: Universal Transverse Mercator
VNIR	: Visible Near Infrared
YS	: Yüzey Sıcaklığı
YSA	: Yapay Sinir Ağları

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1	Sündiken Dağlık Kütlesi çevresindeki yıllık ortalama yağış ve ortalama sıcaklık değerleri ……	6
Tablo 2.2	Çatacık ve Mihalıççık orman işletmelerinin orman yayılış tablosu……	10
Tablo 2.3	Eskişehir İli'ndeki arazi sınıfları ve kullanım alanları……..	12
Tablo 3.1	ASD FieldSpec Pro FR spektroradyometre aletine ait teknik özellikler……..	17
Tablo 3.2	Spektral ölçme yapılan örnek bölgelerin koordinatları ….....	19
Tablo 3.3	Ölçülen arazi kullanımı ve ağaç türlerine ait ölçme alanı ve ölçüm sayıları …….....	19
Tablo 3.4	Hava sıcaklığı ve nemi yer ölçmelerinin yapıldığı noktaların arazi özellikleri ……	21
Tablo 3.5	Çalışmada kullanılan uydu algılayıcılarına ait temel özellikler……..	22
Tablo 3.6	Hyperion algılayıcısındaki kanallara ait kalibrasyon bilgileri..……..……..	25
Tablo 3.7	Çalışma alanı için belirlenen bakı grupları…….....	28
Tablo 3.8	Çalışma alanı için belirlenen eğim grupları…….	28
Tablo 3.9	Arazi kapalılık sınıfları…….....	30
Tablo 3.10	Hyperion veri setinde kullanılan bantlar…….	31
Tablo 3.11	Hyperion verisindeki şerit tarama hatası bulunan bantlar…….....	32
Tablo 3.12	Çalışmada kullanılan EO–1 Hyperion verisine ait spektral bant merkezliklerini içeren yardımcı bilgi örneği……...	33
Tablo 3.13	Çalışmada kullanılan uydu görüntülerinin ortorektifikasyonuna ait doğruluklar……..	37
Tablo 3.14	Kullanılan uydu görüntülerinden elde edilen toprak çizgisine ait öteleme, eğim ve korelasyon değerleri…….....	46
Tablo 3.15	Çalışma alanı için belirlenen arazi sınıfları…….	50
Tablo 3.16	Sınıflandırma doğruluğu tablo örneği…….	62
Tablo 4.1	Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne akış havzası (kuzey genel bakı) ile Porsuk Çayı'na akış havzası (güney genel bakı) arazisinin bakıya göre dağılımı……..	75
Tablo 4.2	Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne akış havzası (kuzey genel bakı) ile Porsuk Çayı'na akış havzası (güney genel bakı) arazisinin eğim gruplarına göre dağılımı……	77
Tablo 4.3	Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne akış havzası (kuzey genel bakı) ile Porsuk Çayı'na akış havzası (güney genel bakı) arazisinin 100 m'lik yükselti kuşaklarına göre dağılımı……	79

Tablo 4.4 Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne akış havzasında kuzey bakı grubu ile Porsuk Çayı'na akış havzasında güney bakı grubu arazisinin 100 m'lik yükselti kuşaklarında alt bakılara ve eğim sınıflarına alan dağılımı…….. 80
Tablo 4.5 Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne akış havzasında kuzey bakı grubu ile Porsuk Çayı'na akış havzasında güney bakı grubu arazisinin 100 m'lik yükselti kuşaklarında alt bakılara ve eğim sınıflarına yüzde dağılımı……... 81
Tablo 4.6 Orman alanlarına ait her sınıf için belirlenen $NDVI_{min}$ ve $NDVI_{max}$ değerleri……... 82
Tablo 4.7 Landsat-7 ETM+ uydu görüntüsünden oluşturulan orman kapalılık görüntüsüne ait doğruluk tablosu……. 83
Tablo 4.8 Landsat-7 ETM+ uydu görüntüsüne uygulanan sınıflandırma sonuçları……... 89
Tablo 4.9 Nejat Çelik'in yer ölçmelerine göre sınıflandırılmış uydu görüntüsünün ve meşcere haritalarının doğruluk sonuçları……. 97
Tablo 4.10 Yer ölçmelerine göre sınıflandırılmış uydu görüntüsünün ve meşcere haritalarının doğruluk sonuçları…… 97
Tablo 4.11 Uydu görüntüsüne ait termal bandın kalibrasyonu için yapılan arazi ölçümleri……. 102
Tablo B.1 Landsat-7 ETM+ veri setine ait korelasyon matrisi…… 129
Tablo B.2 Landsat–7 ETM+ veri setine ait ortalama ve standart sapma değerleri……... 129
Tablo B.3 Landsat–7 ETM+ veri setine ait ortalama ve standart sapma değerleri……... 129
Tablo B.4 Landsat–7 ETM+ veri seti için eğitim sınıflarına ait Transformed Divergence (TD) yöntemine göre ayrılabilirlik sonuçları……... 129
Tablo B.5 En Çok Olabilirlik yöntemi ile yapılan sınıflandırmanın doğruluk matrisi…….. 129
Tablo B.6 Yapay Sinir Ağları yöntemi ile yapılan sınıflandırmanın doğruluk matrisi…….. 130
Tablo B.7 Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile yapılan sınıflandırmanın doğruluk matrisi……... 130
Tablo B.8 Hyperion verisine ait SAM yöntemi ile yapılan sınıflandırmanın doğruluk matrisi…….. 130
Tablo B.9 Hyperion verisine ait nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile yapılan sınıflandırmanın doğruluk matrisi…….. 130
Tablo C.1 Uydu görüntüsünden belirlenen ormanın tür birleşiminin Çelik (2006) tarafından yapılan yer ölçmeleri ile karşılaştırılması…….. 131
Tablo C.2 Uydu Görüntüsünden Belirlenen Ormanın Tür Birleşiminin Tez Çalışması için Arazide Elde Edilen Yer Ölçmeleri ile Karşılaştırılması…….. 134
Tablo C.3 Kuzey ve güney bakılı yamaçlarda ormanın tür birleşimi ile kapalılık oranlarının yükseltiye göre alan (ha) dağılımı…….. 137
Tablo C.4 Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Kuzey ve Güney Bakı Gruplarında Yüz Metrelik Yükselti Kuşaklarında Farklı Eğim ve Bakı Sınıflarında Landsat–7 ETM+ Görüntüsüne göre Ormanlık Alanların (ha) Dağılımı……... 139

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Sündiken Dağlık Kütlesi'nin coğrafik konumu…….. 4
Şekil 3.1 : Doğal ağaç ve çalı türlerinin yayılışının yersel çalışma ile belirlendiği sekiz kesitin Landsat-7 ETM+ (754) görüntüsü üzerinde gösterimi …….. 15
Şekil 3.2 : Uydu görüntüsü (a) ile yer ölçmelerinden elde edilen orman türlerine ait bilgilerin bütünleşmiş veri tabanı (b) örneği…… 16
Şekil 3.3 : Arazi ölçümü (a) savaş alanı mevkii, meralık alanda ASD spektroradyometre ile spektral örnek alınırken (b) Karaçam alanında spektroradyometre ile spektral örnek alma işlemi…..... 18
Şekil 3.4 : Spektroradyometre ile ölçme yapılan alanların EO–1 Hyperion uydu görüntüsü üzerinde gösterimi……. 20
Şekil 3.5 : Arazide kullanılan sıcaklık/nem ölçme düzeneği …….. 21
Şekil 3.6 : (a) Sayısal hafızalı sıcaklık/nem kaydedici sıcaklık ölçer (b) yüzey sıcaklık ölçme aleti…….. 21
Şekil 3.7 : EO–1 görüntülerinin çalışma alanına ait kapsadığı bölgenin Landsat-7 ETM+ (754) görüntüsü üzerinde gösterimi…… 24
Şekil 3.8 : Sündiken Dağlık Kütlesi'nin sayısal yükselti değerlerine göre kabartma haritası…… 27
Şekil 3.9 : Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne akış havzası (kuzey genel bakı) ile Porsuk Çayı'na akış havzası (güney genel bakı) arazisinin 100 m'lik yükselti kuşaklarına göre dağılımı…… 29
Şekil 3.10 : Hyperion görüntüsünün 41. bandında algılanan dalga boyu değişimleri…….. 34
Şekil 3.11 : Hyperion görüntüsünün 190. bandında algılanan dalga boyu değişimleri…….. 34
Şekil 3.12 : Algılayıcıya gelen ışınım bileşenleri…… 38
Şekil 3.13 : Termal bölge için ışınım bileşenleri…….. 39
Şekil 3.14 : Çalışmada kullanılan atmosferik düzeltme getirilmiş (ATCOR) ve getirilmemiş Landsat-7 ETM+ görüntüsünden elde edilen Karaçam (a) ve orman toprağı (b) piksellerine ait spektrumlar….. 41
Şekil 3.15 : Atmosferik düzeltme getirilmiş (ATCOR) ve getirilmemiş Landsat-7 ETM+(6) görüntüsünden elde edilen Meşe, Karaçam, orman toprağı ve su piksellerine ait sıcaklık değerleri (C^o)…….... 42
Şekil 3.16 : Landsat ETM+ görüntüsünün reflektans birimindeki (ölçek faktörü =1000) yakın-kızıl ötesi ve kırmızı bantlarındaki veri dağılımı ve siyah renkle gösterilen toprak çizgisi…….. 47
Şekil 3.17 : Sınıflandırma için oluşturulan homojen eğitim alanları…… 49
Şekil 3.18 : Sınıflandırma için oluşturulan homojen test alanları……. 49
Şekil 3.19 : İleri beslemeli çok katmanlı yapay sinir ağı…….. 54
Şekil 3.20 : Bir nörona ait giriş ve çıkışlar…… 55

Şekil 3.21 : Kızılötesi termometre ile arazide yüzey sıcaklığının ölçülmesi örneği…….. 69
Şekil 3.22 : Uydu görüntülerinden yere yakın sıcaklığın hesaplanmasına yönelik oluşturulan modelin akış diyagramı…….. 71
Şekil 4.1 : Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne akış havzası (kuzey genel bakı) ile Porsuk Çayı'na akış havzası (güney genel bakı) arazisinin bakıya göre dağılımı……. 75
Şekil 4.2 : Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne akış havzası (kuzey genel bakı) ile Porsuk Çayı'na akış havzası (güney genel bakı) arazisinin bakı görüntüsü……... 76
Şekil 4.3 : Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne akış havzası (kuzey genel bakı) ile Porsuk Çayı'na akış havzası (güney genel bakı) arazisinin eğim görüntüsü……. 78
Şekil 4.4 : Arazide spektroradyometre ölçmelerinden Meşe (a), Karaçam (b), Sarıçam (c) ve Kızılçam (d) orman türlerine ait elde edilen spektral eğriler……. 85
Şekil 4.5 : Orman türlerine ait spektral ölçmelerin karşılaştırılması…… 86
Şekil 4.6 : Sınıflandırılmış (nesne tabanlı) Landsat-7 ETM+ görüntüsü……. 88
Şekil 4.7 : İyileştirilmiş Landsat-7 ETM+ sınıflandırılmış görüntüsü…… 90
Şekil 4.8 : SAM algoritması ile 7 sınıf ((a) ve (b)) ve 6 sınıf ((c) ve (d)) olarak farklı 2 eğitim setine göre sınıflandırılmış Hyperion görüntüleri…… 92
Şekil 4.9 : Hyperion görüntüsünün farklı spektral bölgelerine ait veri setlerine uygulanan MNF dönüşümünün kümülâtif özdeğer sonuçları……... 94
Şekil 4.10 : Hyperion görüntüsünün vnır bölgeye ait 14 MNF bantlarının nesne sınıflandırma algoritması ile 7 (a) ve 6 (b) farklı eğitim setine göre sınıflandırılmış hyperion görüntüleri…… 95
Şekil 4.11 : Sündiken Kütlesi'nin kuzey-güney yönündeki örnek kesitinde yükselti/iklim kuşaklarına göre ağaç türlerinin dağılımı……. 96
Şekil 4.12 : Dağlık arazideki 5 noktada ve çevredeki 2 meteoroloji istasyonunda (Eskişehir ve Nallıhan) 22 Ağustos 2006 (a) ve 23 Ağustos 2006 (b) tarihlerinde elde edilen sıcaklık ölçmeleri…….. 101
Şekil 4.13 : Sündiken Dağlık Kütlesi'nde kuzey ve güney bakılı yamaçlarda 4.7.2000 ve 22.8.2006 tarihli uydu görüntülerinden ölçülen meteoroloji istasyonları ile arazide ölçülen ve 100 m'lik yükselti kuşaklarına göre hesaplanan sıcaklık değerleri…….. 104
Şekil A.1 : Mazdut Köyü, Meşelik (M) alan için Hyperion (siyah) görüntüsünden ve ASD spektroradyometre (yeşil) ile arazi ölçümünden elde edilen spektral eğriler……..... 121
Şekil A.2 : Mazdut Köyü, Meşelik alanda ASD spektroradyometre ile spektral örnek toplanması…… 121
Şekil A.3 : Karaçam (Çk) alanı için Hyperion (siyah) görüntüsünden ve ASD spektroradyometre (mavi) ile arazi ölçümünden elde spektral eğriler……. 122
Şekil A.4 : Karaçam alanında ASD spektroradyometre ile spektral örnek toplanması…… 122
Şekil A.5 : Sarıçam (Çs) alanı için Hyperion (siyah) görüntüsünden ve ASD spektroradyometre (mavi) ile arazi ölçümünden elde edilen spektral eğriler……. 123

Şekil A.6 : Sarıçam alanında ASD spektroradyometre ile spektral örnek toplanması…….. 123
Şekil A.7 : Kızılçam (Çz) alanı için Hyperion (siyah) görüntüsünden ve ASD spektroradyometre (kırmızı) ile arazi ölçümünden elde edilen spektral eğriler……. 124
Şekil A.8 : Kızılçam alanı için ASD spektroradyometre ile spektral örnek toplanması…… 124
Şekil A.9 : Süleler Köyü açıklarında Sakarya Nehri'nde su için Hyperion (siyah) görüntüsünden ve ASD spektroradyometre (kırmızı) ile arazi ölçümünden elde edilen spektral eğriler……. 125
Şekil A.10 : Süleler Köyü açıklarında Sakarya Nehri'nde su için ASD spektroradyometre ile spektral örnek toplanması…… 125
Şekil A.11 : Mazdut Köyü, tarım (anız) alanı için Hyperion (siyah) görüntüsünden ve ASD spektroradyometre (kırmızı) ile arazi ölçümünden elde edilen spektral eğriler……..... 126
Şekil A.12 : Mazdut Köyü, tarım (anız) Alanında ASD spektroradyometre ile spektral örnek toplanması…… 126
Şekil A.13 : Savaş alanı mevkii, meralık alan için Hyperion (siyah) görüntüsünden ve ASD spektroradyometre (mavi) ile arazi ölçümünden elde edilen spektral eğriler…….. 127
Şekil A.14 : Savaş alanı mevkii, meralık alanda ASD spektroradyometre ile spektral örnek toplanması…… 127
Şekil A.15 : Sasa Köyü meralık alan için Hyperion (siyah) görüntüsünden ve ASD spektroradyometre (kırmızı) ile arazi ölçümünden elde edilen spektral eğriler…….. 128
Şekil A.16 : Sasa Köyü meralık alanda ASD spektroradyometre ile spektral örnek toplanması…….. 128
Şekil D.1 : Sündiken Kütlesi'nin kuzey ve güney bakılı yamaçlarında açık alanlarda uydu görüntülerinden ölçülen, yerde ölçülen ve meteoroloji istasyonlarında (Nallıhan, Alpu, Eskişehir) ölçülen sıcaklık değerleri……. 144
Şekil D.2 : Sündiken Dağlık Kütlesi'nin kuzey ve güney bakılı yamaçlarında açık alanda uydudan algılanan sıcaklık değerlerinin Nallıhan, Eskişehir, Alpu meteoroloji istasyonlarında ve arazide yapılan sıcaklık ölçümleri ile ilişkilendirilmesi ve 100 m'lik yükselti kuşaklarına göre hesaplanması…….. 144

SEMBOL LİSTESİ

nm	**:** Nanometre
μm	**:** Mikrometre
L	**:** Radyans
DN	**:** Piksel parlaklık değeri
ρ	**:** Reflektans
NDVI	**:** Bitki indeksi değeri
Fc	**:** Bitki örtüsünün kapalılık değeri
σ_i	**:** i bandının standart sapması
r_{ij}	**:** i ve j bantları arasındaki korelasyon
ε	**:** Neşretme gücü
λ	**:** Dalga boyu

SÜNDİKEN KÜTLESİ'NDEKİ YÜKSELTİ-İKLİM KUŞAKLARININ VE ORMAN TOPLUMLARININ ÖZELLİKLERİNİN UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Yeryüzündeki ormanların yayılışı ve tür bileşimi bulundukları bölgenin coğrafik özelliklerine göre değişen farklı bölgesel yetişme ortamlarına bağlıdır. Ormanın verimi, sürekliliği ve korunması için yürütülen gençleştirme, bakım, ağaçlandırma gibi ormancılık faaliyetlerinin en iyi şekilde gerçekleştirilebilmesi için orman alanlarına ait ayrıntılı bilginin elde edilmesi gerekmektedir. Bu bilgilere bağlı olarak da**;** arazinin ormancılık amaçları doğrultusunda kullanımına yönelik ormancılık planlarının yapılması için gerekli olan temel bilgiler yetişme ortamı haritaları ile elde edilmektedir.

Özellikle dağlık arazide orman kuran ağaç türlerine ait yöresel yetişme ortamı birimleri içinde bulundukları yetişme ortamı bölgesinde yükseltiye ve bakıya bağlı olarak oluşan iklim farklılıklarından dolayı yükselti/iklim kuşakları halinde ayırt edilmekte olup, bu bağlantıya örnek alanlardan birisi de Sündiken Dağlık Kütlesi'dir. Sündiken Dağlık Kütlesi'nde saf veya karışık olarak ormanlar kuran Kızılçam (*Pinus brutia*), Finike Ardıcı (*Juniperus phoenicea*), Karaçam (*Pinus nigra)*, Sarıçam (*Pinus sylvestris*) ve Meşe (*Quercus spp.)* türleri bulunmaktadır. Sündiken Dağlık Kütlesi'nde meteoroloji istasyonlarının bulunmayışı yükselti-iklim kuşaklarının kesin sınırlarının meteorolojik verilerle belirlenmesine imkân vermemektedir. Dolayısıyla Sündiken Dağlık Kütlesi'ndeki yükselti-iklim kuşakları yer ölçmeleri ve uydu görüntüleri ile ormanı oluşturan ağaç ve çalı türlerinin yayılışları incelenerek belirlenmeye çalışılmıştır.

Çalışmada Sündiken Dağlık Kütlesi'ndeki orman kuran ağaç türlerinin yayılışında güneş enerjisinin alınmasında etkili olan arazi özelliklerinin (yükselti, bakı ve eğim) etkisinin önemli olduğu tespit edilmiş ve ağaç ve çalı türlerinin yayılışındaki farklılıklar ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca çalışmada uydu görüntüleri ile yer ölçmelerinden elde edilen sıcaklık verileri arasındaki ilişkiler ortaya konulmuştur. Sündiken Dağlık Kütlesi'nde yaptığımız çalışmada ağaç türlerinin bakıya ve yükselti-iklim kuşaklarına göre kurduğu ormanların yayılışı belirlenerek orman işletmeciliği bakımından güvenilir bir envanter oluşturacak önemli bilgiler sağlanmıştır.

DETERMINATION OF THE VERTICAL-CLIMATE ZONES AND THE COMBINATION OF THE SPECIES IN THE FORESTS OF SUNDIKEN MOUNTAIN USING SATELLITE IMAGES

SUMMARY

The spread of the forests on the land and the combination of the species depend on the regional growing sites varying according to the geographical features of their districts. Detailed information on forest regions should be attained in order to realize forestry services like regeneration, forest tending, and forestation which are being carried out so as to contribute to the productivity, continuity, and protection of forests. On the basis of this information, the fundamental principles required for forestry plans devoted to the use of land within the forestry purposes are achieved through the maps of the growing sites.

Local growing site units especially belonging to the species that are forming forests in the mountainous districts have been distinguished as vertical-climate zones due to the climate differences stemmed from the altitude and aspect levels of the growing site and the forests of Sundiken Mountain can be considered as one of the examples in respect of this relation. The species like Turkish Red Pine (*Pinus brutia*), Phoenicia Juniper (*Juniperus phoenicea*), Anatolian Black Pine (*Pinus nigra)*, Scots Pine (*Pinus sylvestris*) and Oak (*Quercus spp.*) are available in the forests of Sundiken Mountain by forming up pure or mixed forests in the area. It doesn't allow determining the absolute borders of the vertical-climate zones by means of the meteorological data due to not having meteorological stations in the forests of Sundiken Mountain. Therefore, the range of the tree and shrub species making up the forest have been tried to be determined through the vertical-climate zones, field measurements and satellite images of the forests of Sundiken Mountain.

In the study, the significance of the effect that the land features have (altitude, aspect and slope) over the absorption of the solar energy and the outspread of the trees in the forests of Sundiken Mountain has been determined and the differences in the spread of tree and shrub species on the land have been marked. In addition to this, the relations between the satellite images and the data on the temperature gained from the field measurements have been introduced. The significant data which will constitute a reliable inventory for the forest goods and services has been attained as a result of the study realized in the forests of Sundiken Mountain by determining the outspread of the forests formed by the tree species in respect of the aspect and vertical-climate zones.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Yeryüzü şekli - iklim ilişkisi, birbirinden farklı coğrafik bölgelerin ve bu bölgeler içinde farklı bölümlerin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu bölgesel farklılıklar, bitkilerin yayılışını ve bitki toplumlarının tür bileşimini kuvvetle etkilemektedir. Aynı şekilde bölgesel iklim farkları, ülke topraklarının bölgesel özellikleri üzerinde de önemli etkiler yapmaktadır. Bütün bu bölgesel yeryüzü şekli, iklim ve toprak özellikleri bir arada yetişme ortamı bölgesi olarak adlandırılmaktadır **(Kantarcı, 2005a)**. Yetişme ortamı bölgeleri, yerine göre yatay düzlemdeki yeryüzü şekli-iklim tipi- anakaya farklılıklarından dolayı yöreler halinde, düşey düzlemdeki yükseltiye bağlı olarak da artan yağış ve azalan sıcaklığın etkisiyle oluşan iklim tipi farklılıklarından dolayı yükselti-iklim kuşakları halinde ayırt edilir **(Kantarcı, 1991 ve 2005b)**.

Ormancılık, açık arazide, yeryüzü, iklim, anakaya-toprak ve çeşitli canlılardan oluşan yetişme ortamı faktörlerinin (ekolojik faktörlerin) etkisi altında yürütülen gençleştirme, bakım, ağaçlandırma gibi yetiştirme faaliyetleri ile ormanın verimi, planlanması, denetimi ve korunması, ulaşımı, hasadı gibi faaliyetleri kapsayan biyolojik nitelikli bir işletmedir **(Kantarcı, 1996)**. Aynı arazide bölgeye göre farklı bitkilerin yetiştirilmesi ve verim alınması için yetişme ortamı faktörlerinin incelenmesi, belirlenmesi ve haritalanması ormancılığın bütün faaliyetlerini etkileyen temel unsurdur. Dolayısıyla özellikle dağlık arazide farklı bakılarda farklı yükseltiler arasında oluşan yükselti-iklim kuşaklarının belirlenmesi, orman kuran ağaç ve çalı türleri ile bunlara eşlik eden diğer bitkilerin yayılışını kavramamızda kolaylık sağlamaktadır.

Yükselti-iklim kuşaklarının bitki örtüsü üzerindeki etkisinin araştırılmasına yönelik olarak Türkiye'de ilk çalışma **Saatçioğlu (1976)** tarafından Uludağ'ın kuzey ve batı bakılı yamaçlarında yapılmıştır. Daha sonra yükselti/iklim kuşakları ile ormanın tür birleşiminin ilişkisi konusunda analitik çalışmalar başarılmıştır. Bu tür çalışmaların ilki **Kantarcı (1979a)** tarafından, Kuzey Trakya'nın bölgesel ve yöresel ölçekteki

yetişme ortamı sınıflandırması çalışmasında, aynı yöre içerisinde yükselti farkı etkisi ile iklimde ve dolayısıyla orman ve çalı türlerinin yayılışındaki farklılıklar arazi çalışmaları ile incelenerek yükselti-iklim kuşakları belirlenerek farklı ekolojik birimlerin özellikleri ve sınırları ortaya konmuştur.

Tez çalışmasında yer ölçmelerindeki bilgi ve bulgularını kullandığımız **Çelik (2006)** tarafından Sündiken Dağlık kütlesinde yükselti/iklim kuşaklarının ayırt edilmesi çalışması da Kantarcı tarafından yönetilmiştir. Bütün bu araştırma çalışmalarından sadece iki tanesi uydu görüntüleri ile değerlendirilmiştir. Yükselti-iklim kuşaklarının ayırt edilmesi konusundaki çalışmalara Bolu Aladağ'da **(Kantarcı, 1978, 1979b, 1980a ve 1980b)**, Akdeniz Bölgesinde **(Kantarcı, 1982a, 1982b, 1984, 1985, 1988 ve 1990a)**, Reşadiye (Datça) yarımadasında **(Kantarcı, 1990b ve 1992)**, Doğu Karadeniz bölümünde **(Kantarcı, 1995)**, Biga yarımadasındaki Kaz Dağları'nda **(Kantarcı, 1997 ve 1998a)**, Bodrum yarımadasında **(Kantracı, 1998b)**, Fırtına deresindeki Çamlı Hemşin'de **(Kantarcı, 2002)** yapılan uygulamalar olmak üzere Kantarcı tarafından devam edilmiştir.

Türkiye'de dağlık arazide yeryüzü şekli özellikleri (yükselti, eğim, bakı) ile anakaya/toprak yapısı göz önüne alınarak sadece yer ölçmeleri ile bir seri araştırma yapılmıştır **(Kantarcı, 2005a)**. Ancak arazide belirlenen yetişme ortamı özellikleri ile bunlara bağlı olarak ormanın tür birleşiminin değişimine ait bilgilerin uydu görüntüleri ile değerlendirilmesi konusunda iki araştırma çalışması dikkat çekicidir **(Musaoğlu, 1999; Musaoğlu ve diğ., 2005)**. Ancak her iki çalışmada önemli yükselti farkları göstermeyen Belgrad ormanı arazisinde yapılmıştır.

Çeşitli ekolojik faktörlerin etkisi sebebiyle yükselti-iklim kuşaklarının orman türlerinin yayılışı üzerindeki etkisinin görüldüğü alanlardan biri de Sündiken kütlesidir. Ancak Dünya'nın birçok bölgesinde olduğu gibi Sündiken kütlesinde de mevcut meteoroloji istasyonları genel itibariyle alçak arazide yer almakta olup ormanların bulunduğu yüksek arazide mevcut değildir. Bu sebeple çalışma alanında yükselti-iklim kuşaklarının kesin sınırlarının meteorolojik verilerle ayrılması mümkün olamamaktadır. Bu amaçla Sündiken dağlık kütlesinde yürüttüğümüz bu doktora tezi çalışmasında ormanı oluşturan ağaç ve çalı türlerinin yükselti ve bakıya göre yayılışları

yer ölçmeleri, uydu görüntüleri ve sayısal arazi modeli aracılığıyla tespit edilerek yükselti-iklim kuşaklarının sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Sündiken kütlesinde yükselti ve buna bağlı olarak oluşan bakı farkları ile eğim farkları önemli faktörler olarak öne çıkmışlardır. Bu sebeple çalışmada uydu görüntülerinden elde edilen bilgiler arasında sıcaklık bandındaki değerler ve bu değerler ile yer ölçmelerinden elde edilen sıcaklık değerleri arasındaki ilişkiler de önem kazanmıştır.

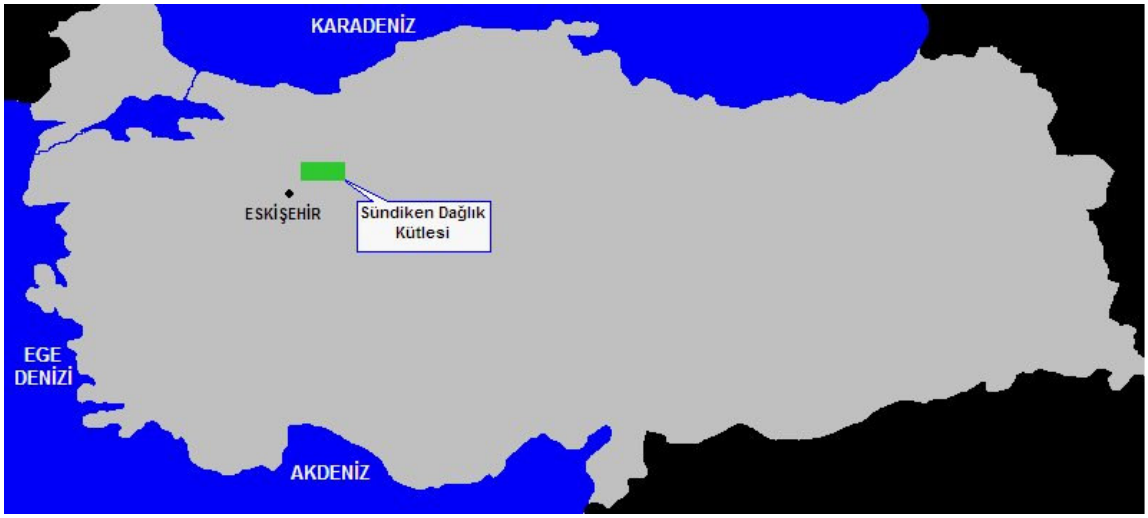
Sündiken Dağlık kütlesindeki ormanların yapısı, birleşimi ve kapalılığı ile anakaya ve toprak özellikleri **Çelik (2006)** tarafından yapılan doktora çalışması ile belirlenmiştir. Araştırma çalışmasında ormanların tür birleşimi, kapalılık dereceleri ve diğer özellikleri **Çelik (2006)**'dan alınmıştır. Ayrıca farklı ağaç türlerinin dal ve yapraklarından yansıyan ışınlar spektroradyometre aleti ile ölçülmüştür. Uydu görüntüleri ile (sıcaklık algılamaları) yeryüzü sıcaklık değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için farklı yükseltilerde ve farklı bakılarda sıcaklık ölçmeleri yapılmıştır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE YETİŞME ORTAMI ÖZELLİKLERİ

2.1. Coğrafi Konumu ve Yeryüzü Şekli Özellikleri

Sündiken Dağlık kütlesi İç Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatı kesiminde Eskişehir ili sınırları içinde ve bu ilin de kuzeyinde 30º 30' ve 31º 30' doğu boylamları ile 39º 45' ve 40º 09' kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır (Şekil 2.1). Dağlık kütle özellikle Alpu, Sarıcakaya ve Mihalıççık ilçelerinin sınırları içinde bulunmaktadır. Kütlenin alanı Eskişehir ilinin yaklaşık olarak 1/10' unu kapsamaktadır.

Çalışma alanının kuzeyi ve doğusu doğu-batı yönünde akan Sakarya Nehri, güneyi Porsuk Çayı ve Eskişehir Ovası, batısı ise orman yayılışının tahriplerle yok edildiği alan olan Bozdağ'ın batısındaki Çaltı ve Teniz dereleri ile sınırlandırmıştır.



Şekil 2.1: Sündiken Dağlık Kütlesi'nin Coğrafik Konumu

2.1.1. Arazinin Yapısı ve Vadiler

Araştırma alanımızın kuzey yamaçları, güneye nazaran daha dik eğimli olup kuzey yamaçlarda derin vadilere gömülmüş dereler bulunmaktadır. Sakarya Vadisi'nin kütlenin kuzeyindeki bölümünün yükselti farkı 300 m kadardır. Yamaçları hayli dik olan Sakarya

vadisinde bu yükseklik farkından yararlanılarak yurdumuzun iki önemli hidroelektrik barajı olan Sarıyar (1956) ve Gökçekaya (1973) barajları inşa edilmiştir.

Bütünüyle Eskişehir ili sınırları içinde bulunan Sündiken Dağları Kütlesinin ekseni Kuzey Anadolu Dağları'na paralel olarak batı-doğu yönünde uzanır. Kütlenin uzunluğu yaklaşık 50–60 km, genişliği ise yer yer değişmekle birlikte ortalama 20–25 km civarındadır. Dağlık kütlenin önemli yükseltileri Mihalıççık'ın doğusunda Yağararslan Dağı (1580 m), Mihalıççık/Belen boğazından batıya doğru Kartal Tepe (1754 m), Uzunyatak Tepe (1787 m), kuzey tarafında Kızıl Tepe (1818 m), güney tarafında Akçahisar Dağı'nda Kale Tepe (1467 m), Karameşecik Tepe (1605 m), Lazoğlu Tepe (1710 m), Sündiken (Somdiken) Tepesi (1769 m), Karakütük Tepesi (1600 m) ve Bozdağ (1423 m), en doğuda Taştepe (1675 m) ve Çalcabaşı Tepe (1305 m) olarak sıralanmaktadır.

Sündiken Kütlesi'nin kuzey yamaçları kendi içinde birçok derin vadileri barındırmaktadır. Sündiken Tepesi'nden kuzey doğu yönüne doğru Çatacık mevkiinden Sakarya Vadisi'ne uzanan derin dere vadi sisteminin ayırdığı Kızıltepe (1818 m) ve Karacaören Tepe (1425 m) bölümü dikkat çekmektedir. Bu derin vadi sisteminde Sündiken Kütlesi'nin Karatepe/Husum Tepe yamaçları (vadi boyunca Doyma-Körlenk-İdecik arası) Kızıl Tepe Kütlesi'nin kuytusunda kalmakta, Karadeniz'den gelen nemli ve serin havanın etkisinden tam olarak faydalanamamaktadır. Aynı şekilde Kızıltepe Kütlesi'nin güneye bakan yamaçları da Sündiken Anakütlesi'nin kuytusunda kalmakta ve Eskişehir Ovası'nın kurak bozkır ikliminin etkisinden korunmaktadır. Bu derin vadi sisteminin yarattığı dağlık kütle içindeki yeryüzü şekli/iklim etkileşimleri ve ormanların tür birleşimine etkileri ayrıca ele alınmağa değer bir konudur.

2.1.2. Yükselti, Bakı ve Eğim Özellikleri

Sündiken Dağlık Kütlesi kuzeyde Sakarya Nehri kıyılarından (300 m'den) güneyde ise Eskişehir Ovası'nda (800 m'den) başlayarak zirvede 1800 m'ye ulaşan yükselti farklarına sahiptir. Kütlenin ortasından doğu-batı istikametinde 1500 ∓ 200m'den geçen su ayrım çizgisini genel kuzey ve güney bakı ayrımı olarak kabul edebiliriz. Kütlenin kuzey yamaçlarındaki derin vadi ve derelerin meydana getirdiği yüksek eğim ve bakı farklılıkları görülmektedir. Güney yamaçlar ise kuzeye nazaran daha az eğimli olup, bu yamaçlardaki vadilerin yarattığı bakı farkları da daha azdır. Kütlenin kuzey yamaçlarının

% 23'ünü düz alanlar, % 56'sını kuzey ve % 21'ini güney bakılı alanlar oluşturmaktadır. Kütlenin güney yamaçlarını ise % 40'ını düz alanlar, % 46'sını güney bakılı ve % 16'sını kuzey bakılı alanlar oluşturmaktadır. Kuzey yamacın Sakarya Vadisi'ne yakın çevresinin büyük bir kısmı 500–800 m yükseltisini oluştururken, alanın derin vadilerden oluşan diğer kısmının önemli bir kısmı 900–1500 m yükseltisini oluşturmaktadır. Güney yamacın önemli bir kısmı ise 900–1400 m yükseltisinde bulunmaktadır. Güney yamaçlarda düz alanların fazlalığı ve eğimin daha hafif oluşu yaygın kireç taşı ana kayasına bağlıdır.

2.2. İklim Özellikleri

2.2.1. Yakın Çevredeki Meteoroloji İstasyonlarının Ölçmeleri

Meteoroloji istasyonları genellikle yerleşim yerlerinde, dolayısı ile alçak arazide bulunmaktadırlar. Dağlık kütlede meteoroloji istasyonu bulunmadığı için Sündiken Kütlesi'nin iklim özellikleri hakkında değerlendirmede bulunabilmek için Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan araştırma alanına en yakın meteoroloji istasyonlarının ölçmeleri kullanılmıştır **(Meteoroloji, 2006)**. Bu ölçmelerin kolay kavranabilmesi için yıllık, beş yaz ve bir kış ayına ait (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ocak) ortalama yağış ve ortalama sıcaklık değerleri olarak derlenmiştir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1: Sündiken Dağlık Kütlesi Çevresindeki Yıllık Ortalama Yağış ve Ortalama Sıcaklık Değerleri

Meteoroloji İstasyonu	**Ocak**		**5 Yaz Ayı (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül)**		**Yıllık**	
	Sıcaklık (C^o)	Yağış (mm)	Sıcaklık (C^o)	Yağış (mm)	Sıcaklık (C^o)	Yağış (mm)
Eskişehir (1975–2006)	0.4	36.0	18.6	109.8	10.8	356.9
Alpu (1984–2002)	-0.2	33.8	19.0	132.2	11.0	408.9
Sarıyar (1975–1992)	2.3	40.0	22.3	99.9	14.2	319.5
Nallıhan (1975–2006)	1.3	39.6	20.3	92.0	12.3	328.6

2.2.2. Sündiken Dağlık Kütlesinin İklim Özellikleri

İklim, bitki gelişimi ve yayılışını etkileyen önemli bir faktördür. Bitkilerin yayılış ve gelişmesi üzerinde en çok suyun dolayısıyla yağışın etkili olduğu bir gerçektir. Bitkilerin verim gücü toprağın türüne, derinliğine ve taşlılığına bağlı olarak depolayabildiği su miktarı ve yağış düzenine bağlıdır **(Kantarcı, 2000 ve 2005b)**.

Doğu-batı yönünde uzanan Sündiken Dağlık Kütlesi'nin Karadeniz iklimi etkisinde olan kuzey yamaçları ile karasal iklimin etkisinde olan güney yamaçları arasında iklim farklılıkları bulunmaktadır. Kuzey bakılı yamaçlar Karadeniz ardı bölümünün nispeten daha az nemli olan havasının, Sakarya Nehri'nin etkisiyle bir ölçüde yeniden nemlenmiş olan etkisi altındadır. Kuzey yamaçların yüzeyinde toplanan bu hava kütleleri dağlık kütle önünde yükselmekte, yükseldikçe serinlemekte ve içerdiği nem yoğuşarak havanın nem oranı artmaktadır. Buna karşılık güney bakılı yamaçlar İç Anadolu'nun bozkır ikliminin etkisi altındadır. Bu sebeple kütlenin kuzeye yani Sakarya Vadisi'ne bakan yamaçları daha gür ormanlarla kaplı olup, bu ormanların tür birleşimi de daha zengindir. Ayrıca kuzey bakılı yamaçlarda oluşan sis kuşağı da dikkat çekicidir.

Sündiken Dağlık Kütlesinin batı ve güneyinde İç Batı Ege ve Marmara iklimi ile asıl İç Anadolu karasal iklimi karakterinin baskın olup, yıllık yağışın 300-500 / 600 mm arasında ve nemlilik indislerinin -40-0 (yer yer 0-20) arasında bulunduğu yarı kurak-kurak-yarı nemli karasal iklimler kompleksi hakimdir **(Kantarcı, 1983)**. **Ekim ve Akman (1991)** tarafından yapılan çalışmada, araştırma alanının güney yamaçlarında 800 m'lerde 360-380 mm arasında değişen yağışın 1500-1700 m'lerde 600 mm civarında olduğunu, kuzey yamaçlarda ise 400 m'de yıllık yağış 380 mm olduğu halde, daha yukarılarda (1700 m ve yukarısında) 650 mm civarında olduğu bildirilmektedir. **Bayar (1991)** tarafından yapılan çalışmada Eskişehir'de yıllık ortalama sıcaklık 10.9 C^o iken çalışma alanı merkezinde bulunan Çatacık'ta 9.8 C^o'ye düştüğünü hesaplanmıştır.

2.3. Jeolojik Yapı, Anakaya ve Toprak özellikleri

2.3.1. Jeolojik Yapı

Sündiken Dağlık Kütlesi (silsilesi) jeomorfolojik bakımdan kuzey genel bakıda, derin kanyon şekilli vadiler ve sarp yamaçlarla genç bir dağ manzarası, buna karşılık güney

genel bakıda ihtiyar bir dağ manzarası görünümündedir. Öte yandan Sündiken Kütlesi'nin Mezozoikten Neojene kadar geçen süre boyunca aşınmaya uğramış olduğu arazinin yapısından anlaşılmaktadır **(Tunçdilek, 1957)**.

Yüksek dağlık arazide mikaşistler hâkimdir. Dağlık arazinin kuzey bakılı yamaçlarında kristalin şistler (mikaşistler) ve ofiolitler yer almaktadır. Dağın özellikle, batı kesimleri paleozoik şistler ve permiyen mermerleri ve mermerleşmiş kireç taşları ile örtülüdür. Sündiken Kütlesinin güney eteklerinde ise, kireç taşları ile neojen ve pleistosen yaşındaki kireç taşı çakıllı tortullar ile oligosen depoları vardır. Sündiken Dağları'nın doğusu bütünüyle, neojen göl serisinin, kireç taşı, çakıl, kum, marn, jipsleriyle ve miyosen yaşlı marnla kaplıdır **(Kantarcı, 2006)**.

2.3.2. Anakayalar

Sündiken kütlesi dağları ofiyolitler, kristalen şistler (mikaşist-kuvarslı şist serisi), mermerlerin oluşturduğu metamorfik kayaçlar grubu ile kireç taşları, neojen II tortulları gibi tortul kaya ve materyallerden oluşmaktadır. Özellikle araştırma alanının batı tarafında genellikle doğu-batı yönlü uzanan mikaşistler, klorit şistler, kuvarsit, kalşist ve serisit şistlerden oluşan ve ofiyolit serilerle örtülü metamorfik şistler görülmektedir. Araştırma alanının kuzeyindeki Sakarya Vadisi'ne yakın olan alanlarda (özelikle doğuya doğru) metamorfik şistlerin üzerinde bulunan kırmızı ve alacalı kumtaşı, kireç taşı bulunmaktadır. Çalışma alanının doğusundaki Manastır ve Düden tepelerinin olduğu 800 m üzerindeki yüksek kesimlerde ise şistlerin üzerinde mermerler bulunmaktadır **(Çelik, 2006)**.

2.3.3. Toprak Özellikleri

Sündiken Dağlık Kütlesi'nde yaygın genetik kireçsiz ana kayalardan oluşmuş olan topraklardan boz esmer orman toprakları ile podsollaşmış boz esmer orman topraklarıdır. Buna karşılık kireç taşları ile mermerlerden oluşmuş topraklar "kireçli esmer orman toprağı" tipindedirler. Bu topraklar sığ topraklardır. Neojen II ve marn ana materyalleri gibi kireçli materyallerden de "kireçli esmer orman toprakları'' oluşmuştur. Ancak bu topraklar ana materyalin özelliğine bağlı olarak daha derindirler **(Kantarcı, 2006)**.

Ormanlar kireçsiz ana kayalardan oluşmuş topraklarda daha yaygındırlar. Kireç taşlarının çatlaklı yapısından dolayı bunların üstünde de ormanlar yaygındır (özellikle güney yamaçta). Yerleşme alanları (küçük köyler) küçük düzlüklerdeki derin tortul materyallerden oluşmuş topraklar üstündedir. Kireç taşları ve mermerlerden oluşan topraklar genel olarak otlak alanlarını oluşturmaktadırlar. Bu toprakların erozyona uğradıkları yerler ise kayalık halindedir. Boz esmer toprakları ile podsollaşmış boz esmer orman toprakları kumlu balçık, kumlu killi balçık türünden topraklardır. Buna karşılık kireç taşlarından ve materyallerden (neojen II ve marn) oluşmuş olan topraklar ise balçıklı kil ve kil türündendirler. Bu sebeple yerleşme alanları tarıma daha uygun ve eğimi daha az olan bu killi toprakların bulunduğu arazide yoğunlaşmıştır **(Kantarcı, 2006)**.

2.4. Bitki Örtüsü

2.4.1. Amenajman Planında Meşcere Haritası

Amenajman planlarında meşcere haritaları 1/10 000'lik ölçekte yaygın olan orman ağaç türlerine öncelik verilerek hazırlanmıştır. Amenajman planlarının hazırlanması için arazi çalışmalarında birim alan ölçülerinin 300x300 m alınırken, uydu görüntülerinde birim alan ölçüsü 30x30 m^2'lik kare (piksel) büyüklüğüne göre belirlenmektedir. Dolayısıyla meşcere haritaları çalışmada kullanılan uydu görüntülerinin değerlendirilmesinde ölçek bakımından kullanılabilir olmakla birlikte ağaç ve çalı türleri bakımından yetersiz kaldığı için sadece genel bilgi edinmek amacıyla kullanılmıştır. Meşcere haritalarında, alandaki bitki örtüsüne ait meşcere tipleri ve sınırları, kapalılık oran bilgileri verilmektedir. Meşcere haritaları genel olarak on yılda bir yenilenmektedir.

Orman amenajman planlarına göre Sündiken dağlık kütlesindeki orman alanı 146 374 ha'dır **(OGM, 2002)**. Bu orman alanının % 13'ü Kızılçam, % 33'ü Karaçam, % 2'si Sarıçam, % 21'i Meşe, % 12'si Ardıç, % 5'i ibreli karışık, % 13'ü de ibreli/yapraklı karışık ormanlardır (Tablo 2.2).

Çalışmada Alpu, Arıkaya, Beşpınar, Çatacık, Değirmendere, Eskişehir, Gümeledere, Kızıltepe, Mihalıççık, Sarıcakaya orman işletmelerine ait meşcere haritaları bilgisayar ortamına aktarılarak yersel verilerin kontrolünde ve özellikle orman kapalılık derecelerinin sınıflandırılması aşamasında kullanılmıştır.

Tablo 2.2: Çatacık ve Mihalıççık Orman İşletmelerinin Orman Yayılış Tablosu **(OGM, 2002)**

Orman İşletme Müdürlüğü			Kızılçam	Karaçam	Sarıçam	Meşe	Ardıç	İbreli karışık	Yapraklı karışık	İbreli+Yapraklı karışık	Toplam
Çatacık	Gümeledere		184	1069	686	470	1436	186	-	279	4310
	Değirmendere		-	1550	1235		186	1874	-	5329	10174
	Alpu		1718	10840	-	5918	3406	-	-	740	22622
	Arıkaya		648	3083	380	2381	-	342	-	4429	11263
	Sarıcakaya		13226	6016	-	7067	2102	808	85	1922	31226
	Toplam	**(ha)**	**15776**	**22558**	**2301**	**15836**	**7130**	**3210**	**85**	**12699**	**79595**
		(%)	**20**	**28**	**3**	**20**	**9**	**4**	**0**	**16**	**100**
Mihalıççık	Mihalıççık		966	11783	-	2590	1186	7	-		16532
	Beşpınar		1569	8884	-	8743	9708	217	-	694	29815
	Kızıltepe		884	2291	195	3551	-	467	-	1027	8415
	Çatacık		-	3294	536	415	-	3752	-	4020	12017
	Toplam	**(ha)**	**3419**	**26252**	**731**	**15299**	**10894**	**4443**	**-**	**5741**	**66779**
		(%)	**5**	**39**	**1**	**23**	**16**	**7**	**-**	**9**	**100**
Genel toplam		**(ha)**	**19195**	**48810**	**3032**	**31135**	**18024**	**7653**	**85**	**18440**	**146374**
		(%)	**13**	**33**	**2**	**21**	**12**	**5**	**0**	**13**	**100**

2.4.2. Ağaç ve Çalı Türlerinin Bakı ve Yüksekliğe Bağlı Yayılışı

Sündiken Kütlesi'nin bitki örtüsü orman, bodur çalılık (bozuk orman artıkları) ve bozkır tipindedir. Sündiken ve Türkmen dağlarında korunmuş ormanlık alanlar bulunmaktadır. Sündiken Dağlık Kütlesi'nin kuzeyinde Sakarya Vadisi'ne yakın olan batı ve orta kesimlerde yaygın tür olarak Kızılçam (*Pinus brutia* Ten) ormanı, yer yer Meşe (*Quercus spp.)* türleri bulunmaktadır. Doğuya doğru yer yer Ardıç ormancıkları görülmekte olup, orman örtüsü azalmaktadır. Kuzey bakıda Kızılçam kuşağının üstünde Karaçam (*Pinus nigra*) orman kuşağı ile bunun da yukarısında Sarıçam (*Pinus sylvestris*) orman kuşağı yer almaktadır. Kütlenin güney kesiminde ise kurak bozkır ikliminin etkisinden ve insan tahribatından dolayı orman örtüsü seyrelmiş olmakla beraber alçak kesimlerde Meşe baltalık orman kuşağı, bunun yukarısında Meşe/Karaçam kuşağı, Karaçam kuşağı ve zirveye yakın kesimde Sarıçam kuşağı sıralanmaktadır **(Çelik, 2006)**.

2.4.3. Bitki Örtüsü ile İlgili Eski Araştırmalar ve Elde Edilen Bulgular

Tuçdilek'e (1957) göre; Sündiken Dağlık Kütlesi'nin sırtındaki su ayrım çizgilerinin birleştirilmesi ile genel olarak oluşan kuzey ve güney bakılarda bitki örtüsü yayılışı, kuzeyde Sakarya Vadisi'nin nem etkisi ve güneyde Eskişehir Ovası'nın bozkır iklimi etkisi ile farklılıklar göstermektedir. Güney yamaçlar 1000 m'ye kadar çıplak bir arazi halinde olup, ancak 1000 m'den itibaren önce bozuk orman alanları halinde Meşe (+Ardıç) çalılıkları yer almağa başlamaktadır. Daha yukarıda 1100 m'den itibaren baltalık Meşe ormanları yer almağa başlar ve bu bir bütün olarak Sündiken Dağlık Kütlesi'nde en çok *Quercus sessiliflora, Quercus cerris, Quercus iberica* gibi muhtelif Meşe türleri şeklinde devam eder. Güney yamaçlardaki Meşeler, (kuzeye göre) daha seyrek ve aynı zamanda ağaçtan ziyade baltalık veya çalılık halinde bulunmaktadırlar. 1300 m'nin üzerinde Karaçam meşceresi seyrek bir şekilde (bir iki ufak adacık) yer almaktadır. Güney yamaçlarda Sarıçam'dan eser yoktur **(Tunçdilek, 1957)**.

Ekim'e (1977) göre; kuzey yamaçlar güneye göre daha az güneş alırlar ve bu nedenle iklim daha soğuk olur. Ama nemlilikten dolayı Sündiken Dağlık Kütlesi'nin kuzeye bakan yamacında orman bitki toplulukları güney yamaçtan daha zengin ve karışıktır. Kuzey yamaçlarda özellikle alt seviyelerde en yaygın bitki topluluğu Kızılçam (*Pinus brutia*) ormanları olup, en güzel (*Pinus brutia*) ormanlarına Laçin-Mayıslar köyleri civarında rastlanır. Karaçam ormanları ise 800-1200 m'ler arası yayılış göstermektedir. Sarıçam (*Pinus sylvestris*) ormanları kuzey yamaçta 1300 m'den itibaren başlar ve Sündiken zirvesine (1767m) kadar devam eder.

Sündiken Kütlesi'nin su ayrım çizgisi 1500 m (± 200 m) civarındadır. Güney yamaçlar 1000 m'ye kadar ağaçsız olup ormanın tahrip edildiği arazidir. 1200 m'ye kadar bozuk Meşe baltalıkları yer almaktadır. Güney yamaçlardaki Meşe ormanı kuzey yamaçlara göre daha seyrektir. Bu yamaçta yetişen Meşe türleri Saçlı Meşe (*Quercus cerris*) ve Saçlı Meşe'ye göre daha kurakçıl bir tür olan Tüylü Meşe (*Quercus pubescens*) hâkimdir. Saçlı Meşe türü daha çok Sündiken Dağları'nın batısında görülür. 1200 m'ye doğru Meşe-Ardıç-Karaçam kuşağı yer alır. Ardıç türlerinden Boylu Ardıç (*Juniperus excelsa*) hâkim olan tür olmakla birlikte yer yer Katran Ardıç'ı (*J. Oxycedrus*) ve Kokulu Ardıç (*J.foetidissima*) bulunur. Kuzey bakıda 1200 ile 1600 m arasında Karaçam

kuşağı hâkimdir. Karaçam sıcaklık, ışık ve nem isteği orta derecede olan bir Çam türüdür. 1600 m'den daha yukarılarda ise kurakçıl-kışa dayanıklı, sıcaklığın düşük olduğu yetişme ortamlarını seven, fazla yağış istemeyen dona dayanıklı Sarıçam kuşağı hâkimdir **(Ekim, 1977)**.

Sündiken Kütlesi'nin kuzey yamaçları daha az güneş enerjisi alması, Karadeniz üzerinden gelen nemli hava Abant Kütlesi ile Çal Dağı'nın kuzey yamaçlarında nemin büyük çoğunluğunu bırakmasına gelen nemli ve serin rüzgârların etkisi Sakarya Vadisi'nin nem etkisi ile birleşerek Sündiken Kütlesi'nin kuzey yamaçlarında yoğunlaşmaktadır. Bu da kuzey yamaçlarda ağaç ve çalı türlerinin gerekse biyolojik çeşitliliğin daha zengin olmasını sağlamaktadır. Alanın topografik, jeolojik ve toprak yapısı bakımından kuzey-güney ve doğu-batı istikametinde iklim farklılıkları görülmektedir. Güneyde bozkırda (800m) yıllık yağış 360–380 mm civarında iken, kütlenin zirvelerinde (1500–1700 m) 737–845 mm civarında, kuzey yamaçlarda (400–500 m) ise 380 mm'dir **(Çelik, 2006)**.

2.5. Arazi Yetenek Sınıfları ve Arazi Kullanımı

Sündiken Dağlık Kütlesini kapsayan arazi sınıflarına göre arazi kullanımı Eskişehir İli Arazi Varlığı Raporu'na göre derlenen aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 2.3).

Tablo 2.3: Eskişehir İli'ndeki Arazi Sınıfları ve Kullanım Alanları **(KHGM, 2001)**

Toprak Sınıfları	Tarım		Mera		Orman		Diğer		Toplam	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
I	118085	9	2598	0	347	0	3431	0	**124461**	**9**
II	183208	13	10656	1	644	0	4102	0	**198610**	**15**
III	132271	10	15210	1	246	0	1581	0	**149308**	**11**
IV	106875	8	31513	2	2970	0	1453	0	**142811**	**10**
V	426	0	2844	0	-	-	-	-	**3270**	**0**
VI	40494	3	108959	8	20342	1	1701	0	**171496**	**13**
VII	1146	0	172138	13	333545	24	1238	0	**508067**	**37**
VIII	-		-		-		4468	0	**4468**	**0**
Sınıflandırılmayan	-		-		-		59337	4	**59337**	**4**
Su yüzeyi	-		-		-		3420	0	**3420**	**0**
Genel Toplam	**582505**	**43**	**343918**	**25**	**358094**	**26**	**80731**	**6**	**1365248**	**100**

Tablo 2.3'deki bilgilere göre; Eskişehir İli'nin toplam alanı 1 365 248 ha olup, bu alanın % 42.7'si tarım alanı, % 25.2'si otlak alanı, % 26.2'si de orman alanıdır. Arazinin % 34.6'sı düz ve hafif eğimli (tarıma uygun olan) I, II ve III. sınıf arazi olduğu halde, % 50'si orta, dik ve çok dik eğimli (ormancılığa uygun olan) VI ve VII. sınıf arazi niteliğindedir.

Sündiken Dağlık Kütlesi'nde orman amenajman planlarının verilerine göre toplam orman alanı 146 374 ha'dır. Uydu görüntülerinden yapılan ölçmelere göre Sündiken Dağlık Kütlesi'nin (araştırma alanının) alanı 208 010 ha olup, bunun % 30.5'i düz ve hafif eğimli (genellikle açık alanlar), % 21.4'ü az ve % 30.6'sı orta eğimli, % 12.6'sı dik eğimli, % 5'i çok dik eğimli arazidir (Tablo 4.2).

3. YÖNTEM

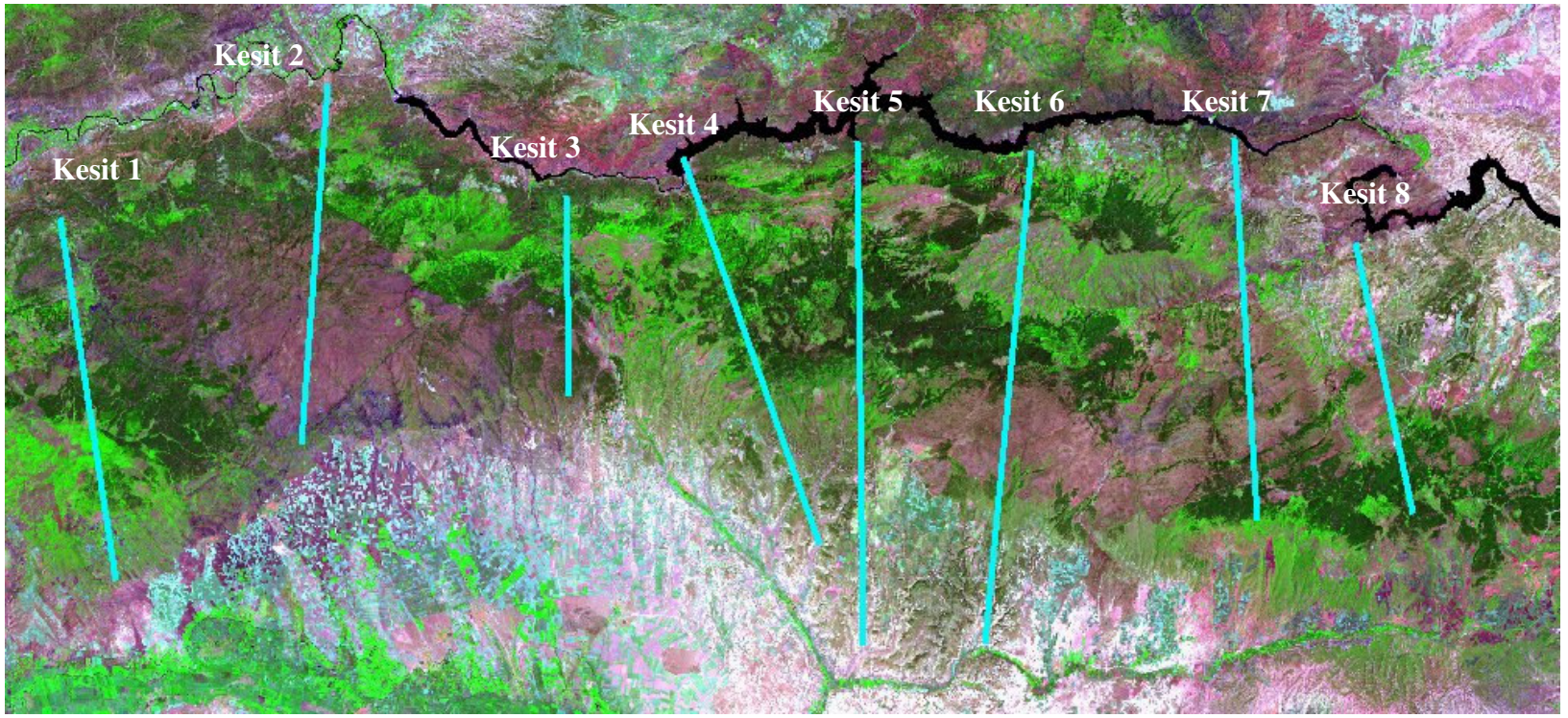
3.1. Kullanılan Veriler

Bu çalışmada İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) araştırma fonunun desteği ile sağlanan uydu görüntüleri, Eskişehir Orman Toprak ve Ekoloji Araştırma Enstitüsü'nün desteği ile yapılan yer ölçmelerinden elde edilen arazi verileri, İTÜ Maden Fakültesi'nden, Çevre ve Orman Bakanlığı'ndan elde edilen çalışma alanına ait 1/25 000'lik topografik ve orman meşcere haritaları kullanılmıştır. Ayrıca İTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Uzaktan Algılama Anabilim Dalı tarafından tedarik edilen ASD spektroradyometre aleti ve görüntü işleme programlarından faydalanılmıştır.

3.1.1. Yer Ölçmelerine ait Veriler

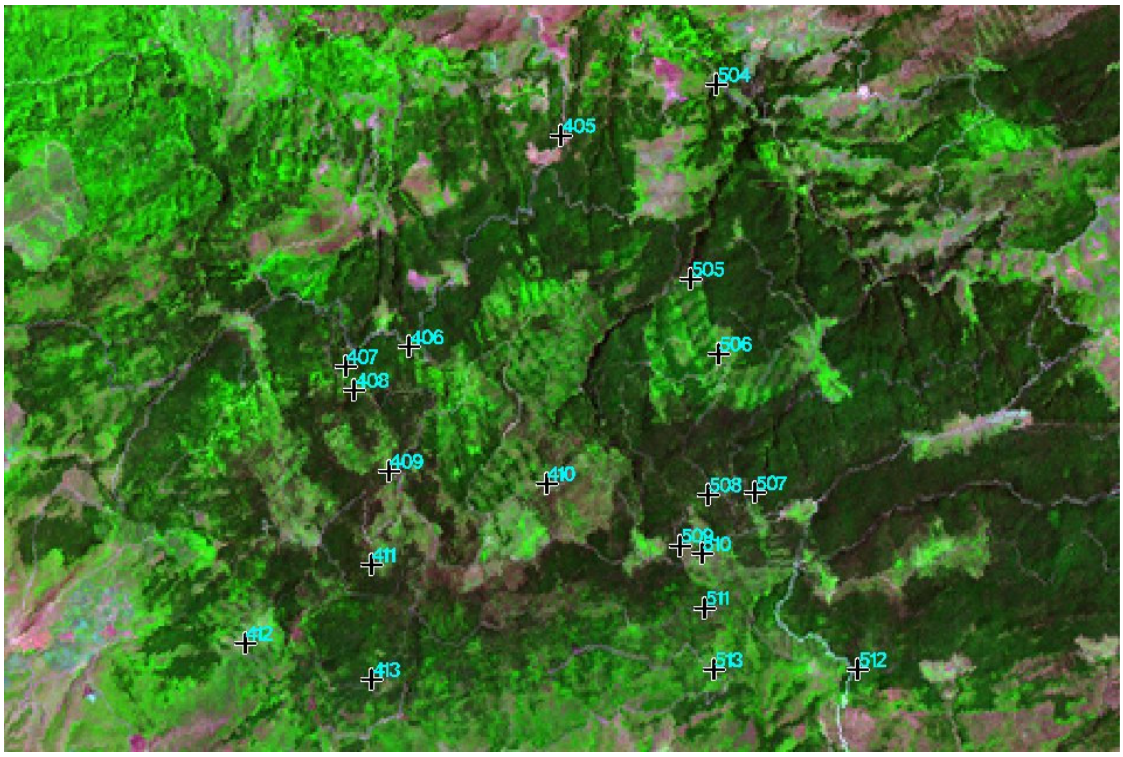
3.1.1.1. Örnek Alanlara ait Arazi Çalışması

Sündiken Dağlık Kütlesi'nde yükselti ve bakıya bağlı olarak farklı iklim tiplerinin oluşumu ve etkisiyle dağlık arazide farklı bakılarda farklı yükseltiler arasında oluşan yükselti/iklim kuşakları belirlenerek, orman kuran ağaç ve çalı türleri yayılışını kavramamızı sağlamaktadır. Bu farklı iklim tiplerinin etkisi altında oluşan yükselti iklim kuşaklarına, arazi eğimi ve anakaya toprak özelliklerinin de katkısı ile çeşitli yetişme ortamı birimleri ortaya çıkmıştır. Bu farklı yetişme ortamlarında orman ekosistemlerini oluşturan yayılış **Çelik (2006)** tarafından yapılan doktora çalışmasında toplam 8 kesitte incelenmiştir (Şekil 3.1). Bu kesitlerdeki bulgular ile uydu görüntülerinden elde edilen bulguların karşılaştırılması amacı ile 2003–2006 yılları arasında farklı tarihlerde (23.06.2003, 15–18.06.2004, 16–18.09.2004, 24.09.2004, 22.08.2006) arazi çalışmaları yapılmıştır. Çelik tarafından yapılan doktora tez çalışmasında kullanılan doğu-batı doğrultusunda ortalama 10 km, kuzey-güney doğrultusunda düşeyde ortalama 100 m aralıkla toplam 105 örnek alana ek yer ölçmesi olarak 500'den fazla nokta alınmıştır.



Şekil 3.1: Doğal Ağaç ve Çalı Türlerinin Yayılışının Yersel Çalışma ile Belirlendiği Sekiz Kesitin Landsat-7 ETM+ (754) Görüntüsü Üzerinde Gösterimi

Örnek noktaların alımı sırasında kesit numarası, nokta koordinatı, arazi özellikleri (bakı, yükselti, eğim), meşcere türü, orman kapalılığı, ağaç yaşı, ormanı oluşturan türlerin tabaka oranları ve yoğunluk bilgileri kaydedilerek, bu veriler fotoğraflarla desteklenmiştir. Arazide alınan orman türlerine ait bilgiler uydu görüntüleri ile bütünleştirilecek şekilde bilgisayar ortamına aktarılmıştır (Şekil 3.2).



(a)

Record	ID	bilgi
140	501	CkM y74 a1ck40 a2ck30 a3ck30m40 cali_laden5M30
81	502	ar baltalik 20k a1ar25 a2ar20 a3ar10
80	502	Ck ve M 50k 75y a1ck10 a2ck25 a3ck5M25Ar5 20a
82	503	ckcs k90 y75 a1ck70cs30 a2ck10cs10 a3ck30 22a
83	504	yasli Ck ormani k90 yas150 a1ck50 10 30 cokaz Mve Ar var5 25a
84	505	ck k90 y70 a170 a225 a35
85	506	csck k70 y60 a1ck10cs50 a2cs25 a3cs10ck5
86	507	cs k100 y75 a1cs70 a210
87	508	Cs-Ck 1600m k100 y77 a1cs60ck50 a2cs40ck30 a3cs5ck5 20a
88	509	Cs k100 y65 a1cs70 a2cs20
89	510	csck k100 y88 a1cs40ck20 a2cs20 a3ck10 15a
90	511	Cs-Ck y102 a1ck40cs60 a2ck30cs40 a3ck15cs10 m_M30 12a

(b)

Şekil 3.2: Uydu Görüntüsü (a) ile Yer Ölçmelerinden Elde Edilen Orman Türlerine ait Bilgilerin Bütünleşmiş Veri Tabanı (b) Örneği

3.1.1.2. Spektroradyometre ile Yer Ölçmeleri

Spektroradyometre (Analytical Spectral Devices FieldSpec Pro, ASD FR) yer ölçmelerinde ve laboratuvar çalışmalarında kullanılmak üzere geliştirilen görünür ve kızılötesi bantlarda saniyenin binde birinde ölçüm yapabilen yüksek performanslı uzaktan algılama aracıdır. Spektroradyometre ile çalışma sırasında yapılan ölçümler, alete paralel giriş ile bağlı bir diz üstü bilgisayar ile yönetilir.

ASD FR aleti, 350–2500 nm aralığında cisimden gelen yansımaları ölçebilir. Spektroradyometre (ASD FR) aletinde 3 farklı tarayıcı bulunur. Tabancaya gelen ilk 64 adet fiber'i 350–1100 nm arasında algılama yapan ilk tarayıcıya, diğer 64 fiberi 1100–1800 nm arasında algılama yapan ikinci tarayıcıya, diğer 28 fiberi 1800–2500 nm arasında algılama yapan üçüncü tarayıcıya gider **(Schaepman, 2005)**. Bu fiber optikler 21 ile 27 derece arasında görüş alanına sahiptir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1: ASD FieldSpec Pro FR Spektroradyometre Aletine ait Teknik Özellikler **(ASDI, 2007)**

Spektral Aralık	350 – 2500 nm
Spektral Çözünürlük	3 nm (350 – 1000 nm aralığı için) , 10 nm (1000 – 2500 nm aralığı için)
Örnekleme Aralığı	1.4 nm (350 – 1000 nm aralığı için), 2 nm (1000 – 2500 nm aralığı için)
Tarama Zamanı	100 milisaniye
Detektörler	Si fotodiyot detektör 350 – 1000 nm, InGaAs fotodiyot detektör 1000 – 2500 nm (iki ayrı detektöre sahip)
Ağırlık	7.2 kg

nm: nanometre (10^{-9} m), ms: milisaniye (10^{-6} saniye)

Spektroradyometre ile ölçüm sırasında bu tarayıcılar farklı alanlardan gelen yansımaları alırlar. Eniyileme (optimizasyon) işlemi ile aletin toplam artış (Gain) değeri ve detektörler arasındaki artış (Gain) değeri hesaplanır. İlk tarayıcı kalibrasyonu en iyi durumda olan silisyum (350–1100 nm) detektörüdür. Bu nedenle ASD spektroradyometre aleti ikinci ve üçüncü detektörleri ilk detektöre göre optimize eder. Eğer ölçüm sırasında alet kısa zaman aralıklarında optimize edilmezse spektral

ölçümlerde kırılmalar oluşmaktadır. Alet 1.5 m uzunluğunda fiber optik kablo aracılığı ile yansımaları detektörlere aktarır. Kablo uzunluğu arttıkça özellikle 2200 nm dalga boyundan sonraki ölçümlerin kalitesi düşmektedir. Yapılacak uygulamanın konusuna göre ölçülecek alanın çapı, ölçüm tabancasının ucuna farklı optik uçlar takılarak boyutlandırılabilir.

Spektroradyometre ile Arazi Ölçmesi

Çalışmada Hyperion görüntüsüne atmosferik kalibrasyonu getirme, orman türlerine ait spektral veri toplayarak spektrumlarını inceleme ve arazi örtüsü sınıflandırma uygulamasında kullanılmak üzere örnek veri elde etmek olmak üzere üç amaç için arazide spektroradyometre ile spektral ölçmeler yapılmıştır. EO–1 uydusunun geçiş zamanına paralel olarak 16–18 Eylül 2004 tarihleri arasında güneş ışınlarının en uygun yükseklikte olduğu 10^{oo} ile 14^{oo} saatleri arasında arazideki orman ağaç türlerinin ibreli/yapraklı dallarından yapılan spektral yansıma ölçümleri ASD analitik spektroradyometre aleti ile yaklaşık 1150 adet örnek alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada spektroradyometre aleti için herhangi bir optik uç kullanılmamış olup 25 derece görüş açısı ile yaklaşık 2 m yükseklikten yaklaşık 0.8 m çapında bir alandaki ibreli/yapraklı dallardan ve diğer alanlardan gelen yansımaları alacak şekilde ölçmeler yapılmıştır (Şekil 3.3). Arazide spektroradyometre uygulamasında sırasında her ölçümden önce spektralon paneli kullanılarak ölçme için kalibrasyon ve optimizasyon işlemi yapılmıştır.



(a) (b)

Şekil 3.3: Arazi Ölçümü (a) Savaş Alanı Mevkii, Meralık Alanda, (b) Karaçam Alanında Spektroradyometre ile Spektral Örnek Alma İşlemi

Hyperion görüntüsünün şerit genişliğine bağlı olarak Meşe (Şekil A.1 ve Şekil A.2), Karaçam (Şekil A.3 ve Şekil A.4), Sarıçam (Şekil A.5 ve Şekil A.6), Kızılçam (Şekil A.7 ve Şekil A.8) , su (Şekil A.9 ve Şekil A.10), anız tarlası (Şekil A.11 ve Şekil A.12) ve mera (Şekil A.13, Şekil A.14, Şekil A.15 ve Şekil A.16) olmak üzere her obje türüne ait 8 farklı 50x50 m^2'lik homojen alanda 4x4 veya 3x3 karelaj oluşturacak şekilde spektral ölçümler yapılmıştır (Şekil 3.4, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3).

Tablo 3.2: Spektral Ölçme Yapılan Örnek Bölgelerin Koordinatları

Örnek Alan	Merkez Koordinatlar		Yükselti (m)
	Y (m)	X (m)	
Meşe	347 208	4 427 123	1300
Karaçam	343 603	4 428 966	1391
Sarıçam	344 732	4 427 317	1345
Kızılçam	347 202	4 434 727	494
Mera I	346 232	4 424 805	1540
Mera II	344 230	4 427 591	1333
Su	346 603	4 434 658	375
Tarla	346 949	4 427 397	1240

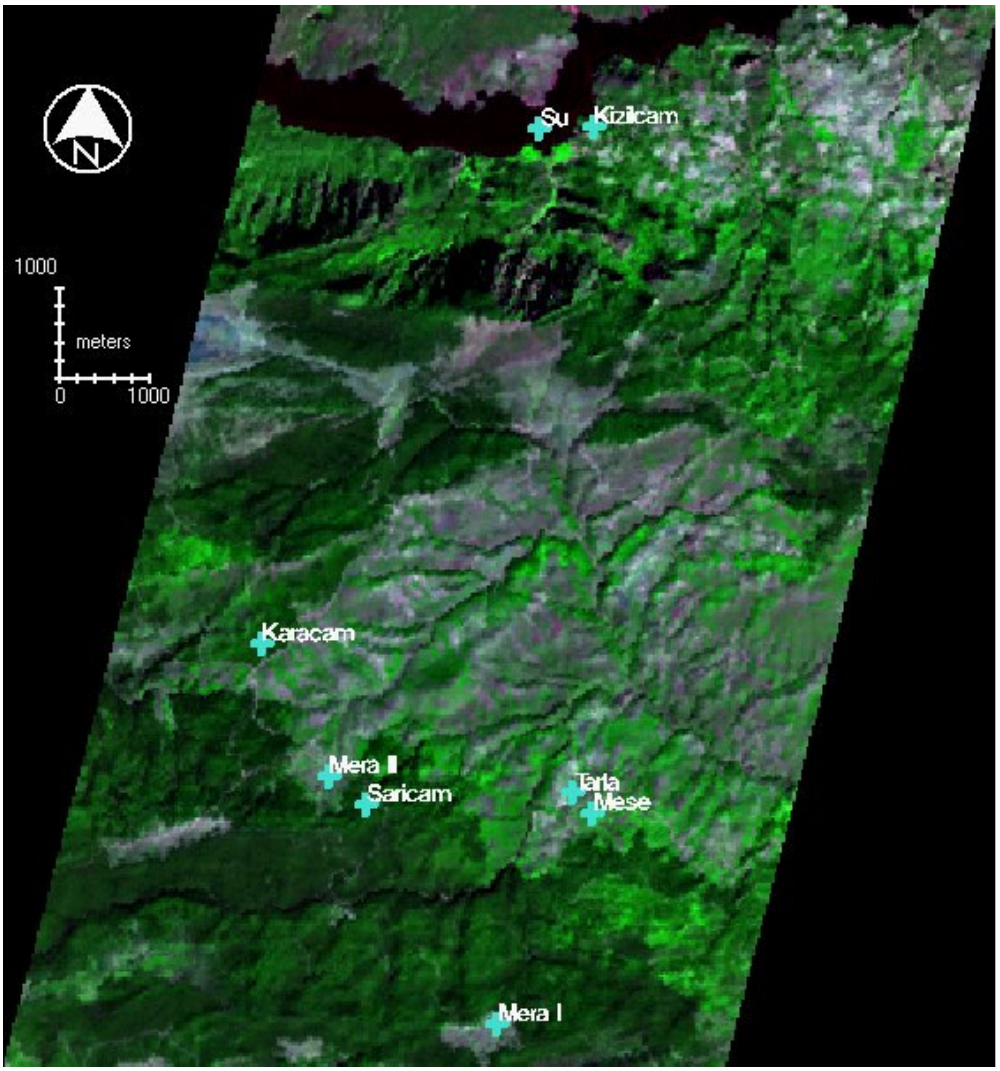
Tablo 3.3: Ölçülen Arazi Kullanımı ve Ağaç Türlerine ait Ölçme Alanı ve Ölçüm Sayıları

Meşe		**Karaçam**		**Sarıçam**		**Kızılçam**		**Su**		**Mera I**		**Mera II**		**Tarla**		**Toplam**	
n_a	$n_ö$	n_a	$n_ö$	n_a	$n_ö$	n_a	$n_ö$	n_a	$n_ö$	n_a	$n_ö$	n_a	$n_ö$	n_a	$n_ö$	n_a	$n_ö$
18	168	13	115	27	262	13	115	12	108	12	114	16	159	12	117	**123**	**1158**

n_a: Ölçme alanı sayısı, $n_ö$: Ölçüm sayısı

Spektral ölçümler her bir karelajın her bir noktasında yapılmıştır. Anız tarlası, meralık alan ve Meşe alanlarında yerden 1.5 m yukarıda olacak şekilde ölçme yapılırken, boylu Meşe ve Çam ormanının bulunduğu örnek alanlarda ağaçların farklı yerlerinden (ışık gören ve görmeyen) dallar kesilerek hazırlanan örneklerin spektral ölçümleri yerde siyah bir şile bezi (topraktan gelen yansımayı engellemek amacıyla) üzerinde yapılmıştır (Şekil A.4, Şekil A.6 ve Şekil A.8). Her ölçüm için 50 spektral yansımanın ortalaması alınarak 10'ar adet ölçüm yapılmıştır. Ayrıca Sakarya Nehri üzerinde bir kayık aracılığıyla kıyıdan 100 m açıkta, su seviyesinin 1 m yukarısından yüzeye dik ve güneşe ters istikamette gölge etkisi olmayacak şekilde suyun spektral ölçümü yapılmıştır. Her noktada yapılan 10 adet ölçme incelenmiş, hedefleme veya yabancı objelerden gelen yansımalardan etkileşim nedeniyle istatistiksel olarak (güven aralığı yöntemi) incelenerek, ±2 standart sapma dışında kalanlar hatalı ölçmeler olarak kabul edilerek ayıklanmıştır. Aynı karelaj alanında ölçülen her nokta için aynı işlem tekrarlandıktan

sonra her noktanın aritmetik ortalama spektral eğrisi oluşturulmuştur. Karelaj noktaları için bulunan ortalama spektral veriler tekrar istatistiksel olarak değerlendirilip ortalaması alınarak, bir karelaj alanına (piksele) karşılık gelen spektral veri elde edilmiştir.



Şekil 3.4: Spektroradyometre ile Ölçme Yapılan Alanların EO–1 Hyperion Uydu Görüntüsü Üzerinde Gösterimi

3.1.1.3. Arazide Elde Edilen Hava ve Yüzey Sıcaklığı Ölçmeleri

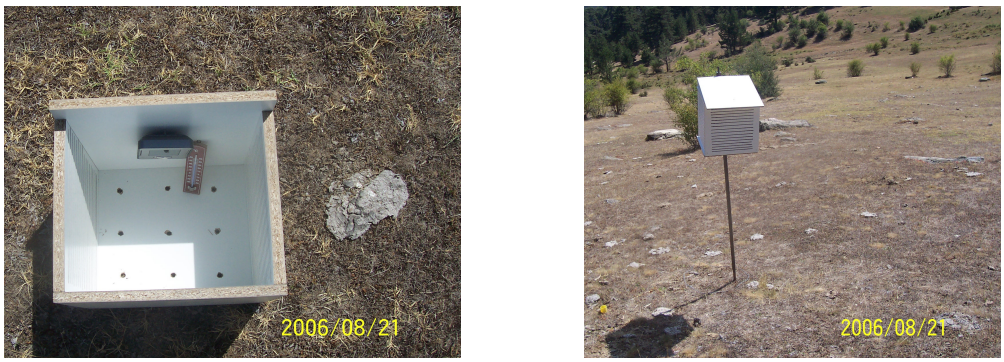
Sündiken dağlık kütlesinde meteoroloji istasyonları bulunmaması sebebi ile yükseltiye bağlı olarak artan yağış ve azalan sıcaklığın etkisiyle oluşan iklim tipi farklılıklarını dolayısıyla oluşan yükselti-iklim kuşaklarının meteorolojik verilerle kavranabilme imkânı yoktur. Bu sebeple termal görüntüler ile (sıcaklık algılamaları) yeryüzü sıcaklık

değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için farklı yükseltilerde ve farklı bakılarda sıcaklık ölçmeleri yapılmıştır (Tablo 3.4).

Tablo 3.4: Hava Sıcaklığı ve Nemi Yer Ölçmelerinin Yapıldığı Noktaların Arazi Özellikleri

Bakı	Mevkii	Koordinatlar		Yükselti (m)	Bakı Grubu	Eğim Grupları (%)
		Y(m)	X (m)			
Kuzey	Cenikli Mh.	336 659	4 434 345	550	Kuzeybatı	17–32
Kuzey	Kuyupınar Mh.	335 270	4 433 607	900	Kuzey	17–32
Kuzey	Karacaören	337 731	4 429 921	1250	Düz alan	8'den az
Güney	Karakütük	340 530	4 426 022	1560	Güneydoğu	9–16
Güney	Taşlıburun	340 426	4 421 071	1200	Güney	9–16

Uydu görüntülerinin çekim tarihiyle eş zamanlı olarak arazide farklı bakı ve yükseltideki açık alanlarda toplam 5 noktada hava sıcaklığı ve nem ölçmeleri yapılmıştır (Şekil 3.5). Ayrıca atmosferik düzeltme sonucunda elde edilen termal uydu görüntüsünün kalibrasyonu için arazide farklı noktalarda kızılötesi termometre ile yer yüzeyinden neşredilen sıcaklık ölçmeleri yapılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.5: Arazide Kullanılan Sıcaklık/Nem Ölçme Düzeneği



(a) (b)

Şekil 3.6: (a) Sayısal Hafızalı Sıcaklık/Nem Kaydedici Sıcaklık Ölçer (b) Yüzey Sıcaklık Ölçme Aleti **(Sinar, 2006)**

3.1.2. Uydu Görüntüleri

Bu çalışmada orman türlerini en iyi şekilde ayırt edebilmek için farklı spektral özelliklere sahip çok bantlı Landsat ETM+ (04.07.2000), Terra ASTER (22.08.2006) ve EO–1 ALI (17.09.2004) görüntüleri ile EO–1 Hyperion (17.09.2004) hiperspektral görüntüsü kullanılmıştır (Tablo 3.5).

Tablo 3.5: Çalışmada Kullanılan Uydu Algılayıcılarına ait Temel Özellikler **(Hubbard vd., 2003)**

Algılayıcı	**Landsat–7 ETM+**	**Terra ASTER**	**EO–1 ALI**	**EO–1 Hyperion**
Spektral Aralık	0.4–2.4 μm 10.7–12.7 μm	0.52–2.43 μm 8.125–11.65 μm	0.4–2.4 μm	0.4–2.5 μm
Pankromatik Bant	1	1	1	0
Görünür Bant	3	2	6	35
Yakın Kızılötesi Bant	1	1	2	35
Kısa Dalga Boyu Kızılötesi Bant	1	3	1	172
Orta Kızıl Ötesi Bant	1	3	1	0
Isıl Bant	1	5	0	0
Uzaysal Çözünürlük	15,30,60m	15,30,90m	10,30m	30 m
Şerit Genişliği	185km		37km	7.5km
Spektral Süreklilik	-	-	-	var
Bant Sayısı	7	14	10	220
Geçiş Çözünürlüğü	16 gün	16 gün	16 gün	16/7/8 gün

Bu uyduların ve çalışmada kullanılan görüntülerin genel özellikleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Landsat–7 ETM+ Uydu Sistemi

Landsat–7 ETM+ algılayıcısı önceki nesil Landsat uydularına göre daha geliştirilmiş Thematic Mapper tarayıcısı taşımaktadır. Landsat–7 ETM+ algılayıcısı 185 km şerit genişliğinde tarama yapma özelliğine sahip olup, standart 7 spektral banda ek olarak 15 m çözünürlüğe sahip pankromatik bant eklenmiştir. Bunlara ek olarak termal bandın geometrik çözünürlüğü de iki kat (60 m) daha iyileştirilmiştir. Aynı zamanda MSS yerine HRMSI detektörü taşımaktadır. Bu cihaz 10m çözünürlüğe sahiptir. İlk 1–4 bantları TM ile aynı spektral aralığa sahip olup stereo görüntüleme özelliğine sahip 5 metrelik pankromatik tarayıcıya da sahiptir. HRMSI 60 km görüntüleme alanı içerisinde

komşu iki şeridi de görüntüleyebilmektedir. Üzerinde bulunan kayıt ünitesi sayesinde alıcı istasyonun olmadığı bölgelerde de görüntü çekebilmektedir.

Terra ASTER Uydu Sistemi

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) algılayıcısı Aralık 1999 tarihinde NASA tarafından uzaya fırlatılan Terra uydusu ile görevine başlamıştır. ASTER algılayıcısı geometrik çözünürlükleri 15 m, 30 m ve 90 m olan görünür ve yakın kızıl ötesi (3 bant), orta kızılötesi (6 bant) ve ısıl kızıl ötesi (5 bant) olmak üzere toplam 14 bantta sahip olup 60x60 km^2 büyüklüğünde şerit genişliğinde algılama yapmaktadır. Ayrıca stereo görüntü için açısı geriye doğru olan bir teleskopla elde edilen bir yakın kızıl ötesi banda sahiptir. Terra uydusu orbit zamanı olarak Landsat–7 ETM+ uydusunun 30 dakika gerisinde olup, ekvatordan yaklaşık olarak yersel saatle 10^{30} civarında geçecek şekilde tasarlanmıştır.

Earth Observing 1 (EO–1) Uydu Sistemi

NASA Yer Gözlem Uydusu EO–1 (Earth Observing 1), 21 Kasım 2000 tarihinde uzaya atılmıştır. EO–1 uydusu 705 km yükseklikteki yörüngede hareket etmektedir. Yörünge eğikliği 98.2 derece, yörünge periyodu 98.9 dakikadır. EO–1 uydusu nadir noktasına göre 6.74 km/sn hıza sahiptir. EO–1 uydusu, Landsat–7 ETM+'dan 1 dakika sonra olacak şekilde yörüngeye yerleştirilmiştir. EO–1 Uydusu ALI (Advanced Land Imager), Hyperion ve Linear Etalon Imaging Spectrometer Array (LEISA) Atmospheric Corrector (LAC) olmak üzere üç farklı algılayıcıya sahiptir.

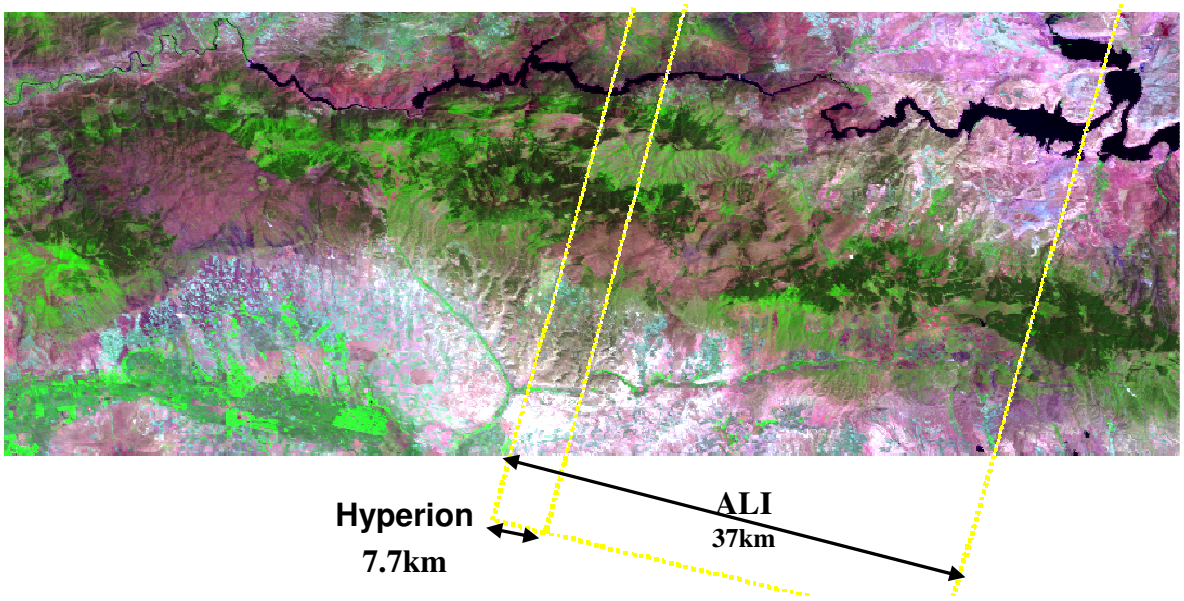
EO–1'in gerçek görevi 2001 Kasım ayında başarıyla sona ermiştir. Fakat uzaktan algılama araştırma ve bilimsel komiteleri bu uydu üzerinden görüntü verisi alma konusunda ilgilerini belirtmeleri üzerine genişletilmiş bir görev olarak EO–1 uydusu üzerinden veri alınmasına devam edilmesi için NASA ve USGS arasında bir anlaşma sağlanmıştır. Böylece Advanced Land Imager (ALI) ve Hyperion algılayıcılarına ait uydu görüntülerinin istek doğrultusunda alınıp dağıtılması sağlanmıştır.

Advanced Land Imager (ALI) Algılayıcısı

ALI algılayıcısı SCAs (Sensor Chip Assemblies) adı verilen dört ayrı algılayıcı mikroçipe sahip olup, ALI Level 1R verisi dört ayrı görüntüden oluşmaktadır. Bu

nedenle kullanıcı tek bir görüntü elde edebilmek için bu dört görüntünün mozaiğini oluşturmak zorundadır.

ALI algılayıcısı 37 km şerit genişliğinde çok bantlı görüntü için 30 m ve tek bantlı pankromatik görüntü için 10 m geometrik çözünürlükte ve 16 bit spektral çözünürlükte tarama özelliğine sahiptir (Şekil 3.7). ALI algılayıcısı Landsat–7 ETM+ algılayıcısı ile aynı bantlara sahiptir. Aralarındaki en önemli fark ALI algılayıcısının SPOT algılayıcısı gibi algılayıcının hareket yönünde tarama yapmasıdır. Ayrıca Landsat–7 ETM+ 'a göre daha fazla kanala sahiptir. Bunlar ETM+'ın 1. kanalından daha kısa dalga boyuna sahip su kalitesi üzerine çalışmada kullanılmak üzere tasarlanan birinci bant, ETM+ 4. ve 5. bantları arasına karşılık gelen ve sınıflandırma çalışmalarında daha iyi bir performans sağlayacağı ve atmosferik etkiden daha az etkileneceği düşünülerek tasarlanan 6. ve 7. bantlardır.



Şekil 3.7: EO–1 Görüntülerinin Çalışma Alanına ait Kapsadığı Bölgenin Landsat–7 ETM+ (754) Görüntüsü Üzerinde Gösterimi

Hyperion Algılayıcısı

Hyperion algılayıcısı tek teleskopa sahip olup görünür yakın kızıl ötesi (VNIR) ve kısa dalga boyu kızılötesi (SWIR) bölgesinde çalışan iki spektrometreye sahiptir. Hyperion görüntüsü 6000 civarında satıra sahip olup, algılayıcı 27 sn'de taramasını tamamlamaktadır. Veri toplama süresi algılayıcıdaki solid-state memory'ye bağlı olarak

2 dakikaya kadar artabilmektedir. Hyperion algılayıcısı üç fiziksel birimden oluşmaktadır: 1) Hyperion algılayıcısı donanımı (Hyperion Sensor Assembly (HSA)), 2) Hyperion elektronik donanımı (Hyperion Electronics Assembly (HEA)), ve 3) Kryojenik-Soğutucular donanımı (the Cryocooler Electronics Assembly (CEA). HSA donanımı teleskop, iç kalibrasyon kaynağı, iki adet spektrometre, odak düzlemi ve soğutma sistemi gibi alt sistemleri içerir. Teleskobun anlık görüş açısı (IFOV) 0.624 derece (yani 7.65 km şerit genişliğinde) olup 0.00244 derece (30 m) piksel çözünürlükte uçuş yönünde tarama yapar. Optik sistemde kullanılan Dikroyik (dichroic) filtre ile VNIR (400 nm - 1000 nm) ve SWIR (900 nm - 2500 nm) spektrometrelerden spektral yansımalar elde edilir. HEA ünitesi arabirim ve kontrol elektronik aygıtlarını, CEA ünitesi ise kryojenik soğutma işlemini kontrol eder **(USGS, 2007)**.

Hyperion algılayıcısı 7.7 km genişliğinde ve 16 bit spektral çözünürlükte tarama yaparak görüntü elde etmektedir (Şekil 3.7). VNIR ve SWIR bölgedeki her detektöre ait odak merkezlikleri için yersel örnekleme mesafesi uçuş yönüne doğru 30.56 m, uçuş yönüne dik doğrultuda ise 30.67 m olup her piksele ait genel örnekleme mesafesi 30 m olarak belirlenmiştir. Hyperion algılayıcısı 357–2576 nm aralığında ortalama 10 nm bant genişliğinde 242 kanala sahip olup, spektral kanalların 1–70 arası VNIR, 71–242 arası SWIR spektral bölgedeki veriyi içerir (Tablo 3.6).

Tablo 3.6: Hyperion Algılayıcısındaki Kanallara ait Kalibrasyon Bilgileri **(USGS, 2007)**

Detektör	Bant	Dalga boyu (nm)	Kalibrasyon
VNIR	1–7	356 – 417	Edilmemiş
	8–55	426 – 895	Edilmiş
	56 – 57	913 – 926	Edilmiş (SWIR 77–78 ile aynı bölge)
	58 – 70	936 – 1058	Edilmemiş
SWIR	71 – 76	852 – 902	Edilmemiş
	77 – 78	912 – 923	Edilmiş (VNIR 56–57 ile aynı bölge)
	79 – 224	933 – 2396	Edilmiş
	225 – 242	2406 – 2578	Edilmemiş

Hyperion Level 1 verisi BIL (band interleaved) olarak HDF (Hierarchical Data Format) formatındadır. Hyperion verisi 256 sütun ve yaklaşık 3129 satırdan oluşup 16 bit olarak kaydedilmiştir. Level 1 verisi uydu görüntüsüne ait WRS (WAAS Reference Station) koordinat bilgilerini, çekim başlangıç ve bitiş zamanını, görüntü köşe koordinat bilgilerini içeren "Dosya_adı.MET", verinin HDF formatında saklandığı

"Dosya_adı.L1R", bantların spektral dalga boylarının merkez bilgilerini, bant genişliklerini, satır sütun sayısını, bant sayısını ve veri formatı bilgilerini içeren "Dosya_adı.hdr" olmak üzere üç dosyadan oluşmaktadır.

Çalışmada Görüntünün içeriği hakkında çabuk ve basit olarak bilgi edinmek için VNIR 40 (753 nm) ve SWIR 93 (1074 nm) bantları görsel olarak incelenmiştir. Normal renkli görüntü elde etmek için 641 nm, 580nm ve 509 nm'ye karşılık gelen 29:23:16 (R:G:B) bantları kullanılmıştır. Bitki örtüsü ile kaplı alanlardan detaylı bilgi çıkarmak amacıyla kızılötesi bölgesini de içeren 50:23:16 (855 nm, 580 nm ve 509 nm) kombinasyonu kullanılmıştır. Atmosferik etkilerin minumum olduğu SWIR bantlar ile renkli görüntü elde etmek için de 204:150:93 (R:G:B) bantları yani 2194 nm, 1649 nm ve 1074 nm dalga boyları kullanılır.

3.1.3. Haritalar

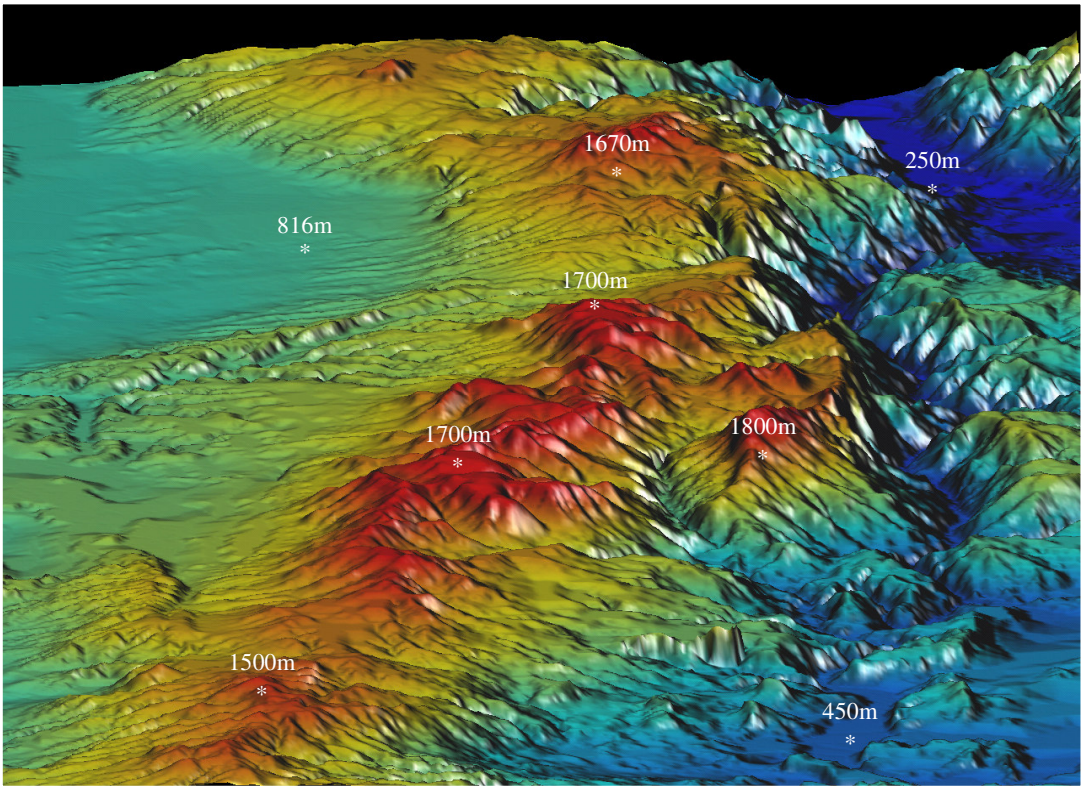
Uydu görüntülerinin geometrik düzeltmesi ve sayısal yükseklik modelinin oluşturulması için çalışma alanına ait 27 adet 1/25 000 ölçekli topografik harita kullanılmıştır. Ayrıca sınıflandırılmış uydu görüntülerinin ve kapalılık görüntüsünün doğruluğunun kontrol edilmesinde yer ölçmelerine ek olarak meşcere haritaları kullanılmıştır. Baskı olarak elde edilen meşcere haritaları tarama yapılarak ve topografik haritalardan faydalanılarak UTM projeksiyon sisteminde sayısal ortama aktarılmıştır.

3.2. Arazi Özelliklerinin Sınıflandırılması

Sündiken kütlesinin arazi özellikleri topografik haritalardan elde edilen sayısal yükseklik modeli ile bakı, yükselti ve eğim grupları olarak incelenmiştir.

3.2.1. Sayısal Yükselik Modeli

Taranarak bilgisayar ortamına aktarılan topografik haritalara geometrik düzeltme uygulanarak 2–3 m. doğrulukla UTM projeksiyon sisteminde düşeye çevrilerek tüm alanın harita mozaiği oluşturulmuştur. Sayısal ortama aktarılan topografik haritaların eşyükselti eğrileri her 10 m'de bir yarı-otomatik sayısallaştırılarak eşyükselti eğrileri sayısallaştırılmıştır. Eşyükselti eğrilerine ait noktalardan üçgenleme yöntemi ile üç boyutlu yüzey geçirilerek sayısal yükseklik modeli üretilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Sündiken Dağlık Kütlesi'nin Sayısal Yükselti Değerlerine göre Kabartma Haritası

3.2.2. Bakı Sınıflandırması

Sündiken Kütlesi'ndeki bitki örtüsüne ait yapılmış arazi ve literatür çalışmaları incelendiğinde, arazinin bakı özelliklerinin orman toplumlarının yayılışı üzerinde etkisi olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, çalışma alanı Sündiken Kütlesi'ni oluşturan ortalama 1500 m civarındaki dağ silsilesinin su ayrım çizgisi dikkate alınarak Sakarya Vadisi'ne dönük olan kuzey bakılı yamaçlar ve Eskişehir Ovası'na dönük olan güney bakılı yamaçlar olmak üzere iki genel bakıda incelenmiştir. Ayrıca kütlenin kuzey ve güney yamaçları kendi içinde de ara bakı gruplarına kuzeybatı (KB), kuzeydoğu (KD), güneybatı (GB), güneydoğu (GD) olarak ayrılmıştır (Tablo 3.7).

Değerlendirmelerde Sakarya Vadisi'ne bakan kuzey yamaçlardaki ve Eskişehir Ovası'na bakan güney yamaçlardaki orman toplumları üzerindeki bakı etkisini tam olarak görebilmek için kuzey, kuzeybatı, doğu ve kuzeydoğu bakıları kuzey bakı grubu olarak; batı, güneybatı, güney ve güneydoğu bakıları ise güney bakı grubu olarak sınıflandırılmıştır.

Tablo 3.7: Çalışma Alanı için Belirlenen Bakı Grupları

Bakı Grupları		Açı Aralıkları (360^o için)
Güney bakı grubu	GD	112.5–157.5
	G	157.5–202.5
	GB	202.5–247.5
	B	247.5–292.5
Kuzey bakı grubu	KB	292.5–337.5
	K	337.5–22.5
	KD	22.5–67.5
	D	67.5–112.5

3.2.3. Eğim Sınıflandırması

Yeryüzüne gelen güneş ışınlarının yer normali ile yaptıkları açıya göre dolayısıyla yerin eğimine göre optik ve termal (ısıl) uydu görüntüleri farklı yansıma değerlerine sahiptirler. Uydu görüntülerini oluşturan piksel parlaklık değerleri ile objeler arasında bir ilişki kurabilmek ve değerlendirebilmek için çalışma alanı sayısal yükseklik modelinden faydalanılarak araziye ait eğim görüntüsü elde edilmiştir. Sündiken Dağlık Kütlesi'ndeki orman alanları için **Kantarcı (2005)** tarafından yapılan çalışmadaki orman yetişme ortamı eğim sınıfları dikkate alınarak uydu görüntülerinin değerlendirilmesinde kullanılmak üzere çalışma alanına ait eğim grupları oluşturulmuştur (Tablo 3.8).

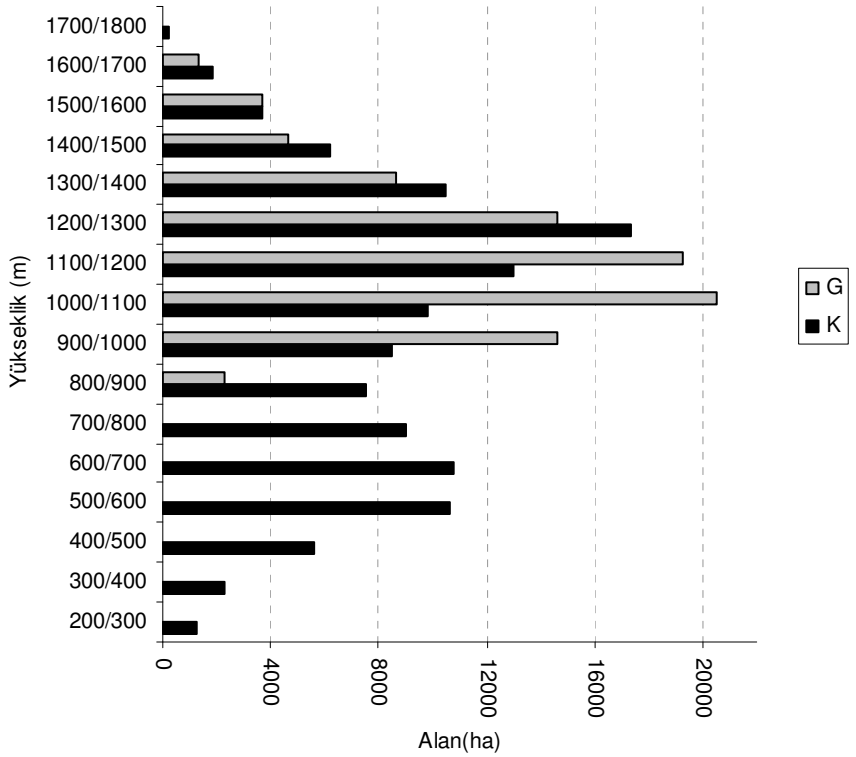
Tablo 3.8: Çalışma Alanı için Belirlenen Eğim Grupları

Eğim Grupları	Eğim Oranı (%)
Sırt düzlükleri	<8
Hafif eğimli yamaçlar	8–16
Orta eğimli yamaçlar	17–32
Dik eğimli yamaçlar	33–48
Çok dik eğimli yamaçlar 1	49–70
Çok dik eğimli yamaçlar 2	>70

3.2.4. Yükselti Basamakları

Doğu-batı istikametinde uzanan Sündiken Kütlesi'nin güney yamaçları Eskişehir Ovası ile birleştiği 800 m yükseltisi ile kuzeyde Sakarya Nehri'nin kıyıları ile birleştiği 300 m yükseltilerinde başlayarak 1700 m yüksekliğe sahip zirvelere ulaşabilmektedir. Bilindiği gibi hava sıcaklığı her yüz metrede bir ortalama 0.5 C^o azalmakta ve iklim koşulları

değişebilmekte ve dolayısıyla ağaç ve çalı türleri de yüksekliğe bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle arazi çalışmalarında örnek alanların toplanmasında ve uydu görüntülerinin değerlendirilmesinde iklim kuşaklarını yüz metrelik kuşaklar dâhilinde incelemenin, çalışma alanının yetişme ortamı özelliklerine ve uydu görüntülerinin mekânsal çözünürlüklerine göre değerlendirmelerde yeterli hassasiyeti sağlayacağı düşünülmüştür. Buna göre araştırma alanının kuzey yamaçları 400–1700 m yükseltisi arasında, güney yamaçları ise 800–1700 m yükseltisi arasında her yüz metrede bir yükselti kuşaklarına ayrılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9: Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne Akış Havzası (Kuzey Genel Bakı) ile Porsuk Nehri'ne Akış Havzası (Güney Genel Bakı) Arazisinin 100 m'lik Yükselti Kuşaklarına göre Dağılımı

3.2.5. Ormanın Kapalılık Oranları

Ormanı oluşturan ağaç ve çalı türlerinin yer yer farklılık göstermesi yanında, bitki örtüsünün kapalılık oranlarının değişimi de uydu görüntülerinin parlaklık değerlerini etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Bu etkinin en aza indirilebilmesi için, bitki örtüsünün tam kapalı olmadığı alanların bitki örtüsü yansıması ve yer yansıması olmak üzere iki ana nesneden oluşan karışık pikseller olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla bitki örtüsünün kapalılık oranları % 5–20, % 21–40, % 41–60, % 61–80 ve %

80–100 olmak üzere 5 kapalılık grubu şeklinde oluşturulmuştur. Değerlendirmede % 5'den küçük olan alanlar bitki örtüsü olmayan açık arazi olarak değerlendirilmiştir (Tablo 3.9).

Tablo 3.9: Arazi Kapalılık Sınıfları

Kapalılık Sınıfları	Kapalılık	
	Oran (%)	**Sınıf Kodu**
Açık alan	< 5	0
Az kapalı	5–20	1
Biraz kapalı	21–40	2
Orta kapalı	41–60	3
Çok kapalı	61–80	4
Tam kapalı	81–100	5

3.3. Uydu Görüntülerinin Ön İşlenmesi

3.3.1. Radyometrik Düzeltme

Uydu görüntülerine getirilen radyometrik düzeltmelerin amacı; algılayıcı (şerit tarama hatası gibi) ve algılayıcı-yer geometrisinden kaynaklanan hatalar, atmosferik etki, gelen güneş ışınlarına bağlı olarak aydınlanma farklılıkları ve topografik etki gibi uydu görüntülerinde bozukluklara sebep olan faktörlerin göz önüne alınarak uydu görüntülerinden elde edilen yansıtım, yayılma ve sıcaklık fiziksel parametrelerinde doğruluğun arttırılmasıdır.

Çalışmada EO–1 Hyperion verisi radyometrik düzeltme (echo, smear ve dark current correction, VNIR/SWIR shift) getirilmiş olan Level 1R formatında USGS'den temin edilmesine rağmen, veri incelendiğinde uydu verisinde bir takım spektral ve radyometrik bozuklukların halen mevcut olduğu belirlenmiş ve aşağıda anlatıldığı şeklide düzeltmeler yapılmıştır.

Bozuk Bantların Elimine Edilmesi

Hyperion görüntüsündeki sıfır değerine sahip kalibre edilmemiş bantlar ile özellikle kısa dalga boyu bantlarda görülen düşük sinyal sebebiyle oluşan gürültülü bantlar elimine edilmiştir. Kalibre edilmiş bantlar arasından 4 tanesi VNIR ve SWIR detektörlerinin ortak spektrum alanında bulunmaktadır. Bunlar VNIR bantlar 56 (915.7 nm) ve 57

(925.9 nm) ve SWIR bant 77 (912.5 nm) ve 78 (922.6 nm). Uygulamalarda genelde bu bantlardan ikisini elimine etmek olağan olup, çalışmada 8–57 ve 79–224 olmak üzere 196 bant kalibre edilmiş bant seçilmiştir **(Goodenough ve diğ., 2003)**. Ortak spektrum alanında bulunan SWIR 77–78 bantları diğer VNIR 56–57 bantlarına göre daha yüksek gürültü içerdiğinden analiz sonuçlarını etkilememesi için VNIR bantları tercih edilmiştir. Hyperion görüntüsünden yüksek doğrulukta analiz sonuçları elde edebilmek için atmosferik etki ve düşük sinyal sebebiyle oluşan bozuk bantların elimine işlemleri tamamlandıktan sonra geriye 153 adet sağlıklı bant elde edilmiştir (Tablo 3.10).

Tablo 3.10: Hyperion Veri Setinde Kullanılan Bantlar

Detektör	Bantlar	Dalga Boyu (nm)	Bant Sayısı
VNIR	8–57	426 – 926 nm	50
SWIR	79 – 118	933 – 1326 nm	40
	131 – 163	1457 – 1780 nm	33
	187 – 216	2022 – 2315 nm	30
Kullanılan Toplam Bant Sayısı			153

Şerit Tarama Hatalarının Düzeltilmesi

Hyperion verisi, boyuna tarama (push-broom) tekniği kullanarak algılama yapan iki boyutlu detektörler kullanılarak elde edilmektedir. Her detektör uydunun hareket yönü ile aynı doğrultuda tarama yaparak görüntünün bir kolonunu kaydetmektedir. Fakat herhangi bir detektörün kalibrasyonu bozulduğunda görüntüde bu detektöre karşılık gelen bandın kolonunda dikey olarak şerit hataları (striping) oluşmaktadır. Görüntülerdeki bu şerit tarama hatalarını gidermek için birçok yöntem bulunmakla beraber en yaygın olarak iki yöntem kullanılmaktadır. İlki, her kolonun ortalama değeri ve varyansı tüm görüntüye ait ortalama ve varyans değerine eşitleyerek düzeltilmesidir. Bu tekniğin özellikle heterojen yapıya sahip görüntülerde iyi sonuç verdiği görülmüştür. Fakat bu teknik geniş tarım ve orman alanları için görüntünün spektral karakteristiğini değiştirmektedir. Diğeri ise, şerit tarama hatası bulunan sütuna komşu olan piksellerin ortalaması alınarak düzeltme işlemi getirilmesidir. Eğer bozuk satır sayısı çok az ise bozuk kısıma karşılık gelen yan sütunlardaki veriler direk olarak kopyalanabilir.

Hyperion algılayıcısında her bant için 256 adet olmak üzere toplam 61 952 (256x242) tane detektör bulunmaktadır. Genel olarak kalibre edilmiş detektörlere ait görüntüyü oluşturan sütunların ortalama değerleri birbirine eşit olması gerekmektir. Bu yaklaşımla görüntünün her bandındaki sütunların ortalaması hesaplanarak grafikleri incelenmiştir. Algılayıcıdaki tarama yapan detektörler arasındaki kalibrasyon hatası sebebiyle, Hyperion görüntüsündeki şerit tarama hataları tespit edilerek hatalı olan sütuna komşu piksellerin ortalaması alınarak düzeltme işlemi gerçekleştirilmiştir (Tablo 3.11).

Tablo 3.11: Hyperion Verisindeki Şerit Tarama Hatası Bulunan Bantlar

Bant	Kolon
8–35	1
8, 9	6, 68, 114
10, 11	6, 114, 199
12, 13	114
14	114, 247
15–26	114
27, 28	47, 114
29–35	114
39, 40	177
54	13, 25
55	13, 17, 20
56	8, 13, 17, 20, 32, 37, 38, 39
57	1, 5, 8, 13, 17, 20, 23, 32, 37
79–118, 131–163, 187–216	256
94	92
99	91
100	109, 113
116	137
200–201	7
203	114

Spektral Bant Merkez Kayıklıklarının Düzeltilmesi

Hyperion görüntüsünün her bandını oluşturan 256 adet detektör normal olarak aynı spektral bant merkezine bağlı olarak tarama yapması gerekirken, detektörler arasındaki kalibrasyon hataları nedeniyle bu şart sağlanamamaktadır. VNIR bölgede aynı spektral banda ait 256 detektörün algılama yaptıkları dalga boyları aynı olması gerekirken, 256

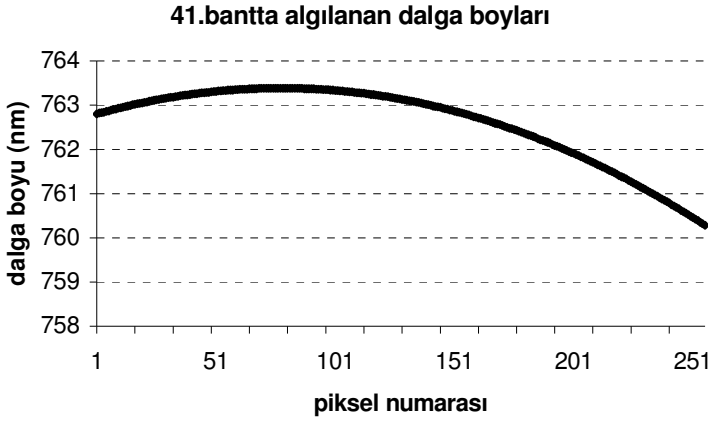
detektör arasında 1.7 nm ile 2.55 nm varan dalga boyu farklılıkları olması, görüntüde spektral bozulmalara neden olmaktadır. Hyperion algılayıcısının detektörlerindeki bu değişim fırlatma öncesi 1 nm civarında idi **(Goodenough ve diğ, 2003)**. Detektörlere ait spektral dalga boyu merkezlikleri 1.'den 256. detektöre doğru kavisli bir eğri şeklinde görülmektedir. Tepe noktası detektör dizisinin ortasına yakın bir yerde oluşmaktadır. Görüntüde spektral bant merkez kayıklıklarının tespiti veri ile birlikte gönderilen tüm detektörlere ait spektral bant merkezliklerini içeren yardımcı bilgi ile ya da görüntü dönüşüm yöntemi (Minumum Noise Fraction) ile tespit edilebilinir (Tablo 3.12). İncelenen yardımcı bilgi ve MNF görüntü kombinasyonları doğrultusunda Hyperion görüntüsünde spektral bant merkez kayıklıkları olduğu tespit edilmiştir. MNF-1 görüntüsünde spektral bant merkezlik hatasının sebep olduğu radyometrik bozukluklar tespit edilebilmektedir.

Tablo 3.12: Çalışmada Kullanılan EO–1 Hyperion Verisine ait Spektral Bant Merkezliklerini İçeren Yardımcı Bilgi Örneği

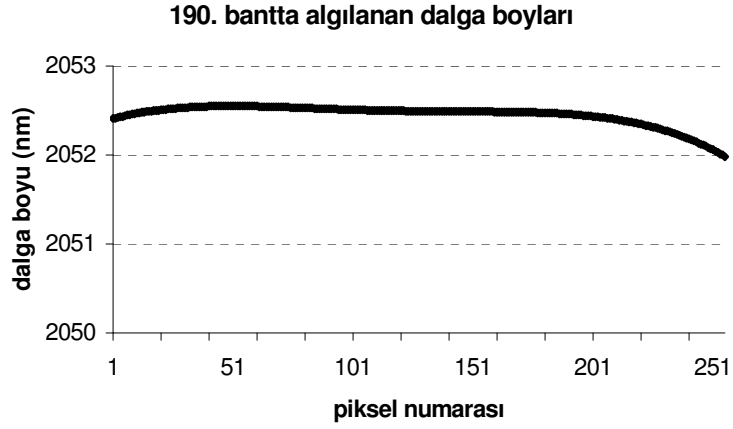
Bant No	Detektör Numarası (1–256)						
	1	2	3	4	5	6	7
8	426.670	426.700	426.720	426.740	426.770	426.790	426.810
9	436.860	436.880	436.910	436.930	436.950	436.970	437.000
10	447.050	447.070	447.090	447.110	447.140	447.160	447.180
11	457.230	457.250	457.280	457.300	457.320	457.340	457.370
12	467.420	467.440	467.460	467.480	467.510	467.530	467.550
13	477.600	477.620	477.650	477.670	477.690	477.710	477.730
14	487.790	487.810	487.830	487.850	487.880	487.900	487.920
15	497.970	498.000	498.020	498.040	498.060	498.080	498.100
16	508.160	508.180	508.200	508.220	508.240	508.270	508.290

VNIR (400–900) banttaki detektörlere ait spektral dalga boyu merkez kayıklıkları, SWIR banttakilere (900–2500 nm) göre daha fazladır (Şekil 3.10 ve Şekil 3.11). Hyperion görüntüsünde meydana gelen 2.7 nm büyüklüğündeki spektral bant dalga boyu sapmaları, ortalama 10 nm dalga boyu genişliğinde algılama yaparak elde edilen görüntü için önemli bir farklılık olarak görünmeyebilir. Genelde yeryüzü yüzeyleri VNIR bölgede yumuşak bir spektruma sahip olup spektral dalga boyu merkez kayıklıkları önemli olmayabilir. Fakat **Cairns ve diğ. (2003)** tarafından yapılan çalışmada atmosferik düzeltmede dalga boyu genişliğinin 1/100'i veya 0.1 nm civarındaki bir değişim ile görüntünün algılanmasının, verinin radyometrik kalitesi için çok önemli

olduğu görülmüştür. Spektral dalga boyu merkez kayıklıkları özellikle atmosferik düzeltme sonrası bant oranlama ve çeşitli indislerin hesaplanmasında sonuçları etkilemektedir. Bunun sebebi, spektral dalga boyu merkez kayıklıkları atmosferik hatalara getirilecek olan düzeltmelerin olması gerekenden daha fazla olmasına neden olmaktadır. Bu düzeltme özellikle su ve bitki üzerine yapılan çalışmalarda önemlidir.



Şekil 3.10: Hyperion Görüntüsünün 41. Bandında (VNIR) Algılanan Dalga Boyu Değişimleri



Şekil 3.11: Hyperion Görüntüsünün 190. Bandında (SWIR) Algılanan Dalga Boyu Değişimleri

Jupp ve diğ. (2002) tarafından yapılan çalışmada spektral dalga boyu merkez kayıklıklarının atmosferik etkilerden dolayı MNF dönüşümünde bir takım varyasyonlara sebep olduğunu görülmüştür. Özellikle 40. ve 42. bant farkları (oksijen-A 760 nm) görüntüde bir takım varyasyonlara sebep olmakta ve MNF–1 bandında da bu etki görülebilmektedir. Bu etki ancak atmosferik düzeltme öncesi dalga boylarının

enterpolasyonu ile düzeltme getirilmesiyle giderilebilmektedir. Fakat ne yazık ki enterpolasyon tekniği, görüntüdeki spektral dalga boyu merkez kayıklıklarını tamamıyla gideremektedir. Bilim adamları bu konuda bilimsel olarak atmosferik düzeltme öncesi piksel değerlerinin değiştirilmesine karşı bir tartışma içinde olup, bu nedenle birçok çalışmada bu düzeltme yapılmamaktadır. Hyperion görüntüsündeki bant merkez dalga boylarındaki sapmalar dalga boyu büyüdükçe azalmaktadır. Bu nedenle SWIR bantlarda bu hata yok denecek kadar azdır.

3.3.2. Radyans Dönüşümü

Ticari amaçlı uydu görüntülerindeki yeryüzü yansımalarını gösteren piksel değerleri (Digital Numbers), gerçek değer aralığına uygun hale getirmek için kalibre edilmiş sayısal değerlerdir. Bunlara parlaklık değerleri (DN) de denir. Farklı algılayıcılardan elde edilen görüntüler üzerinde yapılan analizlerin karşılaştırılabilmesi için görüntü parlaklık değerlerinden objelere ait gerçek spektral radyans değerlerinin elde edilmesi gerekmektedir. Parlaklık değerlerinin kaydedilmesinde her algılayıcının kendine ait kalibrasyon parametreleri vardır. Farklı algılayıcılara ait aynı parlaklık değerleri spektral radyans biriminde farklı değerlere karşılık gelebilir.

Landsat–7 ETM+

Landsat uydu verisinde detektörlerin parlaklık değerleri ile spektral radyans değerleri arasında lineer bir ilişki olacak şekilde kalibre edilmişlerdir. Bu lineer fonksiyon görüntü parlaklık değerleri, detektörler tarafından ölçülen minumum (L_{min}) ve maksimum (L_{max}) spektral ışınım değerleri olmak üzere üç parametre ile tanımlanır. Genellikle uydu görüntüleri 256 değere karşılık gelen 8 bit formatında kullanıcıya ulaşır ve bu formatta L_{min}, görüntü parlaklık değerlerindeki minimum değere karşılık gelir ve genellikle sıfır değerini alır. L_{max}, görüntü parlaklık değerlerindeki maksimum değere karşılık gelir ve genellikle 255 değerini alır. L_{min} ve L_{max} değerleri her bant aralığı için değişir. Genellikle L_{min} ve L_{max} algılayıcı kalibrasyon değerleri bilgisi veri ile birlikte gönderilir. Landsat–7 ETM+ için görüntü parlaklık değerlerinden (DN) spektral radyans değerlerine (L) dönüşümde aşağıdaki denklem kullanılmıştır **(NASA, 2007)**.

$$L\ (Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}) = (L_{max}-L_{min})/255*DN + L_{min} \qquad \textbf{(3.1)}$$

EO-1 ALI ve Hyperion

Hyperion verisi işaretli tamsayı biçiminde olup bazı negatif değerleri de içermektedir. Kalibre edilmiş radyans birimindeki ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) Hyperion verisinin VNIR ve SWIR bantlarının her birisine ölçek faktörü uygulanarak Level 1R formatındaki parlaklık değerleri ile kullanıcıya ulaşmaktadır. Hyperion verisindeki 1–70 arasındaki bantlara 40 sabit ölçek katsayısı, 71–242 arasındakilere ise 80 sabit ölçek katsayısı uygulanmıştır. EO–1 ALI ve Hyperion algılayıcıları için görüntü parlaklık (DN) değerlerinden spektral radyans (L) değerlerine dönüşüm için aşağıdaki denklemler kullanılmıştır **(USGS, 2007)**.

EO–1 ALI için,

$$L\ (Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}) = DN/30 \qquad \textbf{(3.2)}$$

EO–1 Hyperion için,

$$VNIR\ L\ (Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}) = DN/40 \qquad \textbf{(3.3)}$$

$$SWIR\ L\ (Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}) = DN/80 \qquad \textbf{(3.4)}$$

3.3.3. Geometrik Düzeltme

Geometrik düzeltmelerle, algılayıcı-yer geometrisi değişiminden dolayı meydana gelen bozukluklar giderilir. Çalışılan arazi yapısına bağlı olarak az engebeli düz topografyaya sahip görüntülerin yer kontrol noktaları ile düşeye çevrilme işlemine rektifikasyon denir. Çok değişken topografyaya sahip uydu görüntüsündeki arazi yükseklik farklarından dolayı oluşan hataların düzeltilmesi için yer kontrol noktaları ve yükseklik verisi kullanılarak yapılan düşeye çevrilme işlemine ise ortorektifikasyon adı verilmektedir. Ayrıca bu işlem sırasında, geometrik düzeltmesi yapılmış görüntü için yeniden örnekleme yöntemi ile yeni piksel değerleri atanır.

Çalışma alanımız 300 m ile 1800 m arasında değişen yükseltiye sahip dağlık engebeli bir arazi yapısına sahiptir. Dolayısıyla bu çalışmada, kullanılacak uydu görüntülerine geometrik düzeltme yöntemi olarak ortorektifikasyon işlemi; örnekleme yöntemi olarak da orijinal piksel değerlerini minimum etkileyen en yakın komşuluk yöntemi uygulanmıştır (Tablo 3.13).

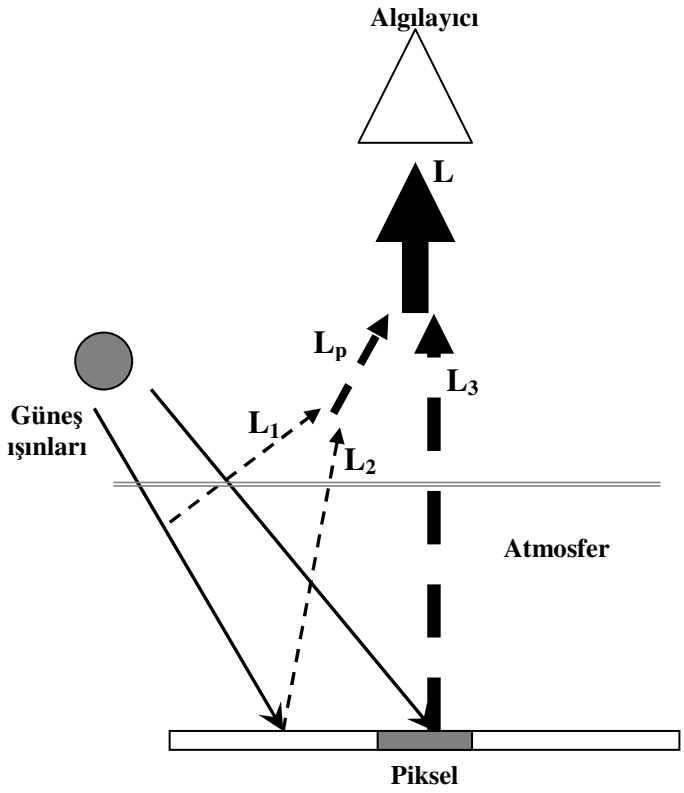
Tablo 3.13: Çalışmada Kullanılan Uydu Görüntülerinin Ortorektifikasyonuna ait Doğruluklar

Görüntü	Yer Kontrol Noktası	Karesel Ortalama Hata (piksel)			Kontrol Noktası	Karesel Ortalama Hata (piksel)		
		X	Y	Toplam		X	Y	Toplam
Landsat–7 ETM+	33	0.55	0.46	0.72	8	0.95	0.56	1.11
Terra ASTER	20	0.23	0.25	0.34	7	0.62	0.82	1.03
EO–1 ALI PAN	19	0.39	0.40	0.55	7	0.37	0.58	0.69
EO–1 ALI MS	26	0.35	0.41	0.54	7	0.40	0.48	0.62
EO–1 Hyperion	22	0.34	0.38	0.51	6	0.31	0.16	0.35

3.3.4. Atmosferik Düzeltme

Cisimden gelen elektromanyetik ışınımlar algılayıcıya ulaşmadan önce atmosferde belirli bir yol kateder. Bu sırada atmosferden geçip cisimden tekrar algılayıcıya ulaşan elektromanyetik ışınımlar yutulma ve saçılma etkisine maruz kalmaktadırlar. Bu nedenle atmosfer, izlenen yol farkına bağlı olarak algılayıcıya ulaşan ışınımın yoğunluk ve spektral bileşimine etki yapar **(Örmeci, 1987)**. Dolayısıyla algılayıcı tarafından elde edilen uydu görüntülerine atmosferik düzeltme getirilerek yeryüzündeki cisimlerden gelen yansımaların orijinal değerlerine ulaşılmaya ve böylece sınıflandırma sonuçlarının doğruluğu artırılmaya çalışılmaktadır.

Uydu tarafından algılanan değişken bir topografik yapıya sahip alanda, yeryüzünden gelen görünür ve kızılötesindeki ışınım (L) üç ana bileşenden oluşmaktadır (Şekil 3.12). Bunlardan ilki atmosferden direk olarak geri saçılan (L1) ışınım, ikincisi atmosferik saçılma sonucunda objenin yakın çevresinden algılayıcıya ve arazinin etkisi ile gökyüzünden objeye gelen (L2) ve üçüncüsü direk hedeften gelen (L3) ışınımdır. Atmosferik düzeltmede amaç yalnızca yeryüzündeki hedef objeden direk gelen yansımayı belirlemektir. Özellikle kısa dalga boylarında (0.2–4 μm) bulut ve atmosferik gazlar (oksijen ve nitrojen) tarafından saçılmaya uğrarlar. Örneğin, Landsat MSS verisinde yeşil banttaki atmosferik saçılma yakın kızılötesi bantta göre 4 kat daha fazladır **(Jensen, 1986)**. Bu nedenle uydu görüntülerinden gerçek spektral yüzey yansımalarının elde edilmesi için görüntü parlaklık değerlerine atmosferik düzeltme getirilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.12: Algılayıcıya Gelen Işınım Bileşenleri

Algılayıcıya gelen toplam ışınım (L) şu şekilde ifade edilebilinir **(Asrar, 1989)**:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 \quad \textbf{(3.6)}$$

$$L = L_p(\Theta_v, \Theta_s, \Phi) + \tau_v(\Theta_v)\, \rho\, E_g\, [\, \Pi\, (1-\rho_r\, s)] \quad \textbf{(3.7)}$$

L: Algılayıcıya ulaşan ışınım

L_p: Atmosfer ve çevreden gelen ışınım

τ_v: Yeryüzünden atmosfere toplam geçirgenlik

E_g: Yatay düzlemdeki küresel akı

ρ: Yerden gelen yansıma oranı (reflektans)

ρ_r: Büyük ölçekteki referans zemin yansıma oranı

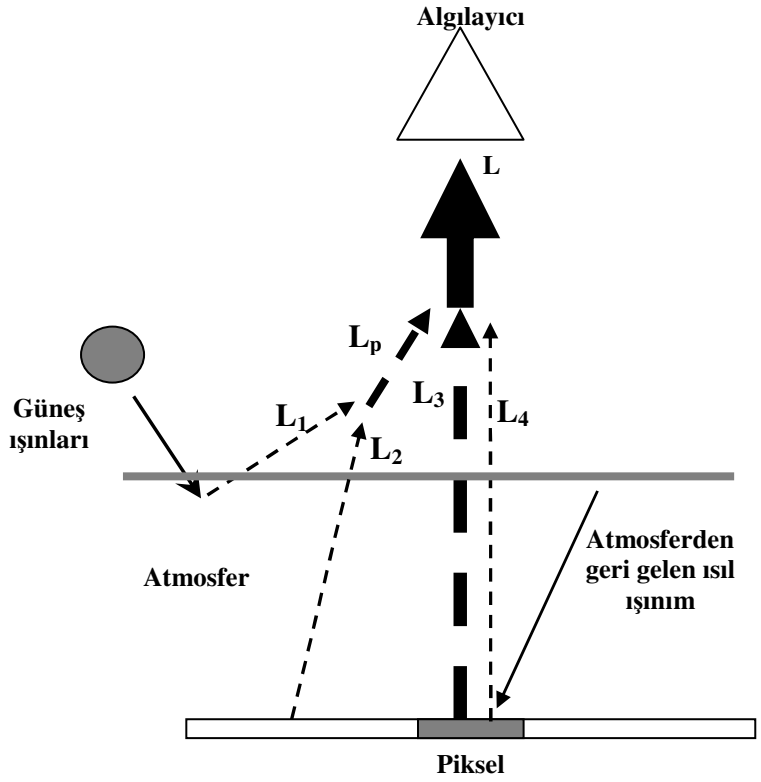
s: Işınımı atmosferin yere geri yansıtma gücü

Θ_v: Algılayıcıya ait düşey açı

Θ_s: Güneşe ait düşey açı

Φ: Güneşin azimut açısı

Termal bölge için ise algılayıcıya gelen ışınım dört ana bileşenden oluşmaktadır (Şekil 3.13). Bunlardan ilki atmosferden gelen fotonların sebep olduğu ısıl ışınım (L_1) , ikincisi objenin yakın çevresinden algılayıcıya gelen ısıl ışınım (L_2), üçüncüsü direk olarak yüzeyden objenin neşretme katsayısına göre gelen ısıl ışınım (L_3) ve dördüncüsü atmosferden geri gelen ısıl ışınımın etkisiyle objeden neşredilen termal (L_4) ışınımdır.



Şekil 3.13: Termal Bölge için Işınım Bileşenleri

Isıl bölge için algılayıcıya gelen ışınım şu şekilde kısaca ifade edilebilinir **(Kahle ve diğ., 1980; Gillespie ve diğ., 1998)**:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \qquad \textbf{(3.8)}$$

$$L = L_p + \tau\, \varepsilon\, L_{BB}(T) + \tau\, (1-\varepsilon)\, F/\Pi \qquad \textbf{(3.9)}$$

L: Algılayıcıya ulaşan ısıl ışınım

L_p: Atmosfer ve çevreden neşredilen ısıl ışınım

τ: Yeryüzünden atmosfere geçirgenlik

ε: Obje yüzeyinden ısıyı neşretme katsayısı

T: Obje yüzeyi sıcaklığı

L_{BB}: T sıcaklığında kara objeye ait ısıl ışınım değeri

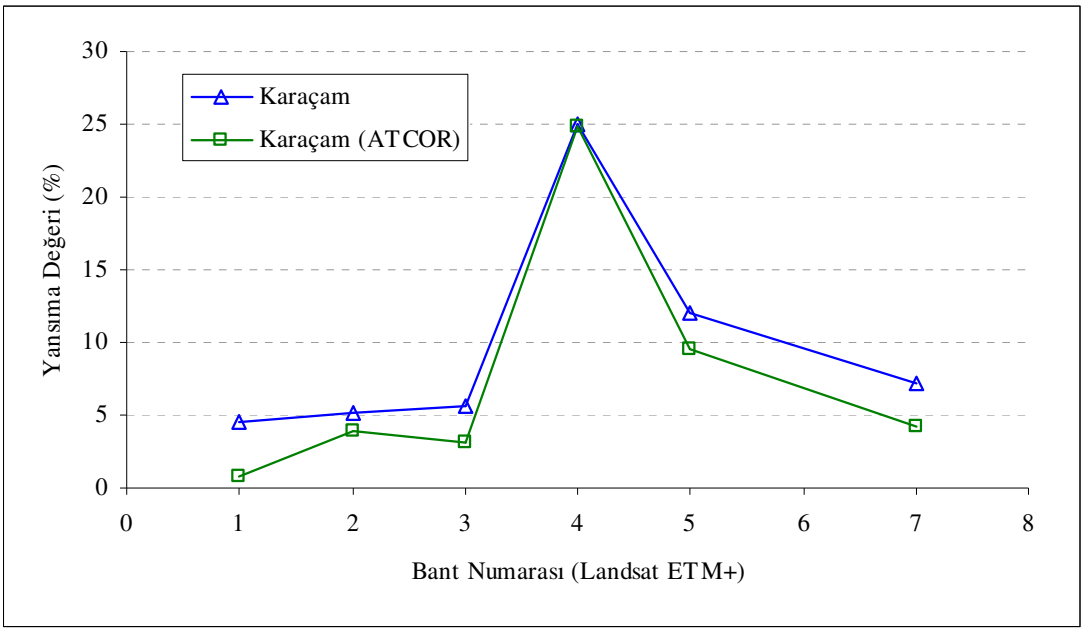
F: Atmosferden yeryüzüne ısıl akış

Atmosferik etkinin (yutulma ve saçılma) şekli ve büyüklüğü elektromanyetik ışınımın dalga boyuna bağlı olarak değişmektedir. Termal dalga boyundaki elektromanyetik ışınım (4–20µm) atmosferden geçerken ozon ve su buharı parçacıkları tarafından yutulmaya maruz kalırlar. Atmosferik saçılma etkisinin giderilmesine yönelik birçok yöntem geliştirilmiş ve bunlardan dört tanesi en yaygın olanıdır. Bunlar, atmosferik ölçmelerle ve algılayıcı kalibrasyonu ile atmosferik modelleme, kara obje çıkarma ve regresyona dayalı teknikler **(Crippen, 1987)**. Kara obje çıkarma ve regresyona dayalı atmosferik düzeltmede uydu ile eş zamanlı atmosferik ölçümler ve yer ölçmeleri gerekmemekle beraber atmosferik modelleme ile yapılan düzeltmeler çok daha sağlıklı sonuçlar vermektedir.

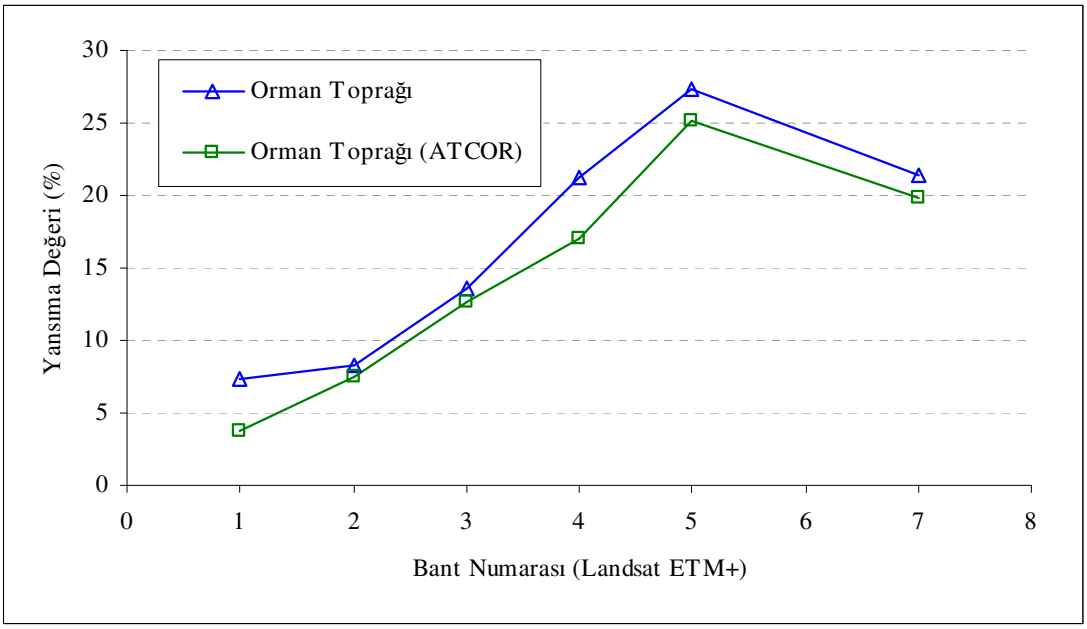
Kara obje çıkarma yöntemi kısa dalga boylarında kısmen atmosferik düzeltme getirirken, yakın ve uzak kızılötesi bantlar için geçirgenliği yüzde yüz kabul ederek bir düzeltme getirmemekle beraber atmosferden gelen geri yansımayı da göz ardı etmektedir. Aynı zamanda çok değişken bir topografik yapıya sahip olan çalışma alanlarına ait uydu görüntülerinde, kara obje olarak gölgelik alanlara ait pikseller seçilerek hataya yapılabilmektedir. **Moran ve diğ. (1992)** tarafından yapılan çalışmada, Landsat TM verisinin 4. bandında kara obje çıkarma yönteminin düzeltme getirilmemiş görüntüye göre daha çok hataya sebep olduğunu tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada atmosferik geçirgenlik ve yansımayı hesaplayarak yüksek doğrulukta sınıflandırma sonuçları elde edebilmek için "The Air Force Research Laboratory" tarafından geliştirilen ve MODTRAN (**MOD**erate spectral resolution atmospheric **TRANS**smittance) program kodunu kullanan ATCOR (**AT**mospheric **COR**rection) programının iki ayrı modeli kullanılmıştır.

Normal çok bantlı uydu görüntüleri (Landsat–7 ETM+, Terra ASTER ve EO–1 ALI) için ATCOR–3 **(Richter, 2004)** ve hiperspektral uydu görüntüsü (EO–1 Hyperion) için de ATCOR–4 programları kullanılarak, ortorektifiye edilmiş uydu görüntülerine

atmosferik düzeltme getirilmiştir **(Richter, 2005)**. Atmosferik düzeltme getirilmiş görüntü ile normal görüntü görsel olarak incelendiğinde aralarında pek fark olmadığı halde, piksel bazında yansıma değerleri karşılaştırıldığında atmosferik düzeltmenin görüntüyü iyileştirdiği görülmektedir (Şekil 3.14 ve Şekil 3.15).

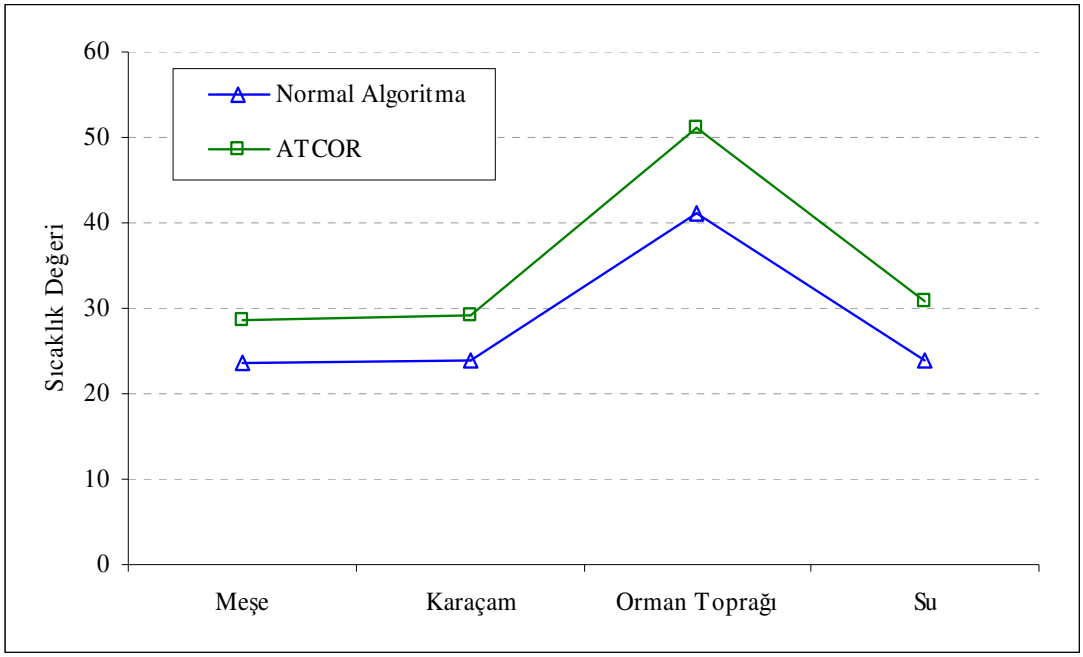


(a)



(b)

Şekil 3.14: Çalışmada Kullanılan Atmosferik Düzeltme Getirilmiş (ATCOR) ve Getirilmemiş Landsat–7 ETM+ Görüntüsünden Elde Edilen Karaçam (a) ve Orman Toprağı (b) Piksellerine ait Spektrumlar



Şekil 3.15: Atmosferik Düzeltme Getirilmiş (ATCOR) ve Getirilmemiş Landsat ETM+(6) Görüntüsünden Elde Edilen Meşe, Karaçam, Orman Toprağı ve Su Piksellerine ait Sıcaklık Değerleri (C^o)

3.3.5. Topografik Düzeltme

Özellikle dağlık arazide aynı cins arazi yüzeylerindeki bakı ve eğim farklılıkları sebebiyle görüntü parlaklık değerlerinde yansıma ve aydınlanma farklılıkları meydana gelmekte ve bu topografik etki sınıflandırma sonuçlarını etkilemektedir. Arazinin bakı ve eğimine göre gelen güneş ışınlarının oluşturduğu aydınlanma farklılıklarının uydu görüntülerinde giderilmesine yönelik araştırmalar yaklaşık otuz yıldır yapılmasına rağmen henüz tam anlamıyla tatmin edici bir sonuç alınabilmiş değildir **(Teillet ve diğ., 1982; Holben ve Justice, 1980; Civco, 1989)**.

Uydu görüntülerindeki topografik etkiyi azaltmaya yönelik en yaygın olarak Kosinüs, Minaert ve ampirik BRDF (bi-directional reflectance distribution function) modelleri olmak üzere üç farklı topografik düzeltme yöntemi kullanılmaktadır. Kosinüs yöntemi temel olarak, ışınımın meydana geldiği yüzeyi her yönde eşit olarak mükemmel bir dağıtıcı (Lambertian yüzey) olarak oluşan ışımanın gelen ışığın kosinüsüne orantılı olduğunu kabul etmektedir. Kosinüs yöntemi basit olmakla beraber düzeltilmiş görüntüde özellikle engebeli arazi yapısına sahip alanlarda güneşe ters istikamette bakan yüzeylerde, olması gerekenden daha fazla düzeltme getirerek normalden daha parlak hatalı piksel değerlerinin oluşmasına sebep olmaktadır **(Jones ve diğ., 1988)**.

Minaert fonksiyonu 1941 yılında Ay yüzeyinde fotometrik analiz çalışması yapmak üzere geliştirilmiştir **(Holben ve Justice, 1980)**. 1980 yılında **Smith ve diğ. (1980)** tarafından Lambertian olmayan bozuk (dağınık yansıtım yapan) yüzeylerde Minaert katsayısını kullanarak topografik düzeltme getirmeye çalışmıştır. Minaert katsayısı Lambertian yüzeyler için 1 değerini alırken yüzeyin bozukluğu arttıkça 0 değerine kadar azalmaktadır. Bu modelin uygulanması için arazinin yapısına ve arazi örtüsüne göre her bant için değişen Minaert katsayısının ampirik olarak belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için de görüntüde aynı arazi örtüsüne sahip arazi yapısı bilinen noktalara ait piksel değerleri kullanılarak regresyon yöntemi ile Minaert katsayıları belirlenebilmektedir. Minaert katsayıları çalışmanın amacına bağlı olarak homojen alanlara sahip her arazi örtüsü grubu için ayrı ayrı belirlemek gibi uzun işlemler gerektirmesi, tam olarak sağlıklı bir şekilde katsayıların belirlenmesini güçleştirmektedir. Özellikle hiperspektral görüntülerde bu işlem çok daha zaman alıcı olmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada uydu görüntülerine çalışma alanımızın dağlık ve engebeli bir yapıya sahip olması ve aynı zamanda uygulaması daha pratik olan, hızlı ve doğru sonuçlar sağlayan ATCOR–3 programındaki ampirik BRDF (Bi-directional Reflectance Distribution Function) modeli kullanılmıştır. Ampirik BRDF modeli yerel güneş açısına (Θ_S) bağlı olarak bir eşik değeri (β_T) belirlenerek, bu eşik değeri dışında kalan alanlardaki yansıma değerlerine düzeltme getirmektedir **(Richter, 2004)**.

$$\beta_T = \Theta_S + 25^o \quad \textbf{(3.10)}$$

$$\rho_D = \rho_L * G \quad \textbf{(3.11)}$$

$$g \leq G \leq 1 \quad \textbf{(3.12)}$$

$$G = (\cos \beta_i / \cos \beta_T) \quad \textbf{(3.13)}$$

$$\cos \beta_i = \cos \Theta_S * \cos \Theta_N + \sin \Theta_S * \sin \Theta_N * \cos (\Phi_S - \Phi_N) \quad \textbf{(3.14)}$$

g: Kullanıcı tarafından belirlenen alt sınır (varsayılan değer = 0.25)

ρ_D: Düzeltilmiş yansıma değeri

ρ_L: Lambertian yansıma değeri

β_i: Güneş ışınları ile yer normali arasındaki ışığın gelme açısı

Θ_S: Güneşin zenit açısı

Θ_N: Işınımın meydana geldiği yüzey eğimi

Φ_S: Güneşin azimut açısı

Φ_N: Işınımın meydana geldiği yüzeyin bakısı

3.3.6. Reflektans Dönüşümü

Reflektans (yansıma oranı), dalga boyuna bağlı olarak cismin yüzeyinden geriye yansıyan ışınımın gelen toplam ışınıma oranının yüzdesi olarak deyimlendirilir. Her cismin farklı dalga boylarında gösterdiği davranışlar spektral yansıtma eğrisi ile ifade edilir **(Örmeci, 1987)**. Dolayısıyla parlaklık değerlerine sahip uydu görüntüleri yansıma oranlarına dönüştürülerek objelerin gerçek spektral davranışlarına ulaşılmaktadır. Aynı zamanda özellikle hiperspekral görüntülerde arazi çalışmaları sırasında uydu ile eş zamanlı olarak yapılan spektral ölçümlerle elde edilen yer ölçmelerinin uydu verisi ile karşılaştırılmasına ve kalibrasyonuna olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada da topografik ve atmosferik etkiden arındırılmış olan uydu görüntülerine ait spektral radyans değerleri yansıma oranına dönüştürülmüştür **(NASA, 2007)**.

$$\rho = \frac{\pi . L_\lambda . d^2}{ESUN_\lambda . \cos\theta_s} \qquad \textbf{(3.15)}$$

ρ = yansıma oranı,

L_λ : algılayıcıya gelen spektral ışınım,

d: Yeryüzü-Güneş arasındaki uzaklık,

$ESUN_\lambda$: Güneşten gelen ortalama spektral ışınım değeri,

Θ_s : Derece cinsinden Güneşin yeryüzü ile yaptığı açı.

3.4. Bitki Örtüsünün Kapalılık Oranlarının Belirlenmesi

3.4.1. Bitki İndeksi

Arazi örtüsünün sınıflandırılmasında sadece mevcut uydu görüntüsü bantlarını kullanmak bazen yeterli doğruluğu sağlayamamaktadır. Doğruluğu makul bir seviyeye getirmek için bitki indeksleri, topografik veriler ve en büyük bileşenler tekniği, doku bilgisi analizi gibi yöntemlerle yeni elde edilen veriler yardımcı bilgi olarak kullanılmaktadır **(Sabine, 1999)**. Bu çalışmada da sınıflandırma işleminde yardımcı veri olarak TSAVI (Transformed Soil Adjusted Vegetation Index) ve ayrıca ormanın kapalılığının belirlenmesinde kullanılmak üzere NDVI (Normalized Vegetation Index) bitki indeksleri oluşturulmuştur.

Bitkilerdeki klorofil gibi pigmentler görünür bölgede güneşten gelen ışınları yutmaya sebep olurken, yapraklardaki su zerrecikleri 1.4 μm'den sonraki dalga boylarında yutulmalara sebep olmaktadır. Diğer yandan bitki hücreleri 0.8–1.2 μm arasında güçlü bir yansımaya sebep olmaktadır. Uzaktan algılamada, bitkilerin yansıma ve yutulma özelliklerinden dolayı güneşten gelen elektromanyetik ışınlara karşı gösterdikleri davranışlardan faydalanılmaya çalışılmıştır. Bitkilerin biyofiziksel karakteristik durumları, yapraklardaki su miktarları, bitki yoğunluğu, klorofil ve toprak özellikleri hakkında bilgi edinilmesine yönelik belirli spektral aralıklardaki yansımalarından elde edilen oran ve fark değerleri gibi çeşitli matematiksel yöntemler kullanılarak bugüne kadar elliye yakın bitki indeksi geliştirilmiştir. Normalize edilmiş bitki indeksi, bitki örtüsünün altında bulunan topraktan gelen yansımalara duyarlı olmasına rağmen en çok kullanılan yöntemlerden biridir **(Baret ve Guyot, 1991)**. Özellikle tam kapalı olmayan bitki örtüsündeki toprak yansıması çok önemlidir. Alt kısımdaki toprak yansıması etkisini en aza indirmek için **Richardson ve Wiegand (1977)** tarafından PVI (Perpendicular Vegetation Index) yöntemi geliştirilmiştir. Fakat **Huete (1988)** ve **Major ve diğ. (1990)** tarafından yapılan çalışmalarda PVI yönteminin de arka plandaki toprak yansımasından etkilendiği tespit edilerek SAVI yöntemini geliştirilmiştir. **Huete (1988)** tarafından bulunan SAVI algoritmasının, **Baret ve Guyot (1991)** tarafından geliştirilmesiyle literatüre giren TSAVI yönteminde görüntüdeki yalnızca toprak bulunan piksellere ait kırmızı ve yakın kızıl ötesi bantlar kullanılarak elde edilen toprak

çizgisine ait eğim ve öteleme değerleri hesaplanmaktadır. Bu yaklaşıma göre, bir piksel kırmızı ve yakın-kızıl ötesi banttaki değerlerine göre toprak çizgisinden uzaklaştıkça bitki olma olasılığı artmaktadır.

Uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında, algılayıcı radyometrik kalibrasyon hataları, atmosfer etkisi, topografik etki gibi çeşitli fiziksel etkilerden arındırılmış yansıma değerleri kullanılarak klorofile bağlı olarak ortaya çıkan yakın kızıl ötesi ve kırmızı bantların spektral yansıma değerlerinin oran değerlerini kullanan bitki indeksi olan Normalize Edilmiş Bitki İndeksi (NDVI) ve yakın kızıl ötesi ile kırmızı bant arasındaki toprak çizgisine bağlı olarak elde edilen eğim değeri dikkate alınarak toprak yansıma etkisini azaltmaya yönelik oluşturulan Transformed Soil Adjusted Bitki İndeksi (TSAVI) olmak üzere iki farklı bitki indeksi kullanılmıştır. Çalışmada Landsat-7 ETM+ ve Terra ASTER görüntülerine TSAVI yöntemi uygulanması sırasında yalnızca toprak bulunan piksellere ait kırmızı ve yakın kızıl ötesi bantlar kullanılarak elde edilen toprak çizgisine ait eğim ve öteleme değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3.14 ve Şekil 3.16).

$$NDVI= [(\rho_{NIR}-\rho_R)] / [\rho_{NIR}+\rho_R] \quad \textbf{(3.16)}$$

$$TSAVI= [a*(\rho_{NIR}-a*\rho_R-b)\ ] / [a*\rho_{NIR}+\rho_R-a*b+X*(1+a^2))]$$

ρ_{NIR}: Yakın kızılötesi banttaki reflektans değerleri

$\rho_{R.}$ Kırmızı banttaki reflektans değerleri

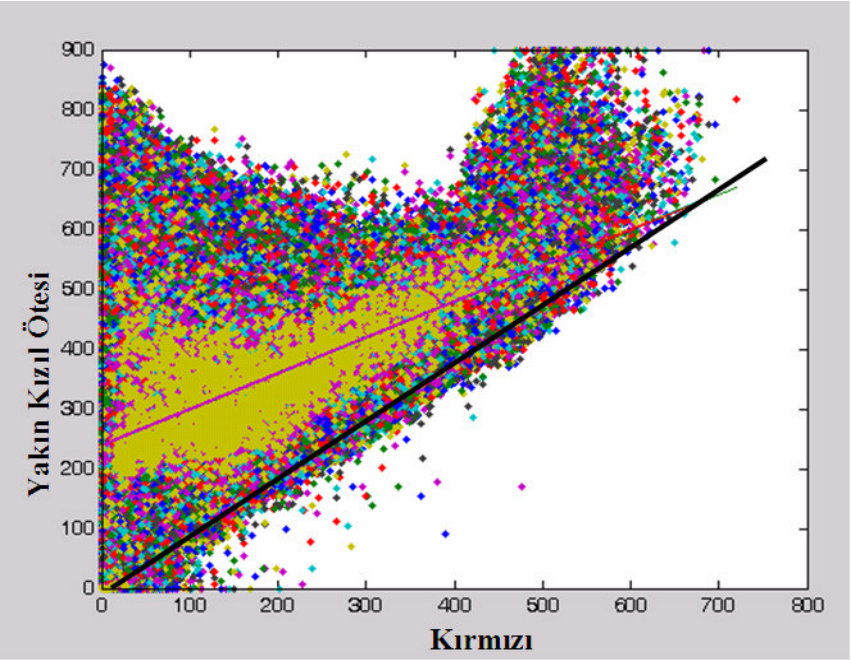
a: Toprak çizgisinin eğimi

b: Toprak çizgisinin öteleme değeri

X: Topraktan gelen gürültüyü en aza indirmek için dengeleyici faktör (Genellikle 0.08 değeri kullanılır)

Tablo 3.14: Çalışmada Kullanılan Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Toprak Çizgisine ait Öteleme, Eğim ve Korelasyon Değerleri (Y=A.X+B, Y:Yakın Kızıl Ötesi Bant, X:Kırmızı Bant)

Görüntü	a	b	r
Landsat ETM+	1.1619	0.066 1	0.94
Terra ASTER	1.2208	0.0334	0.98



Şekil 3.16: Landsat ETM+ Görüntüsünün Reflektans Birimindeki (Ölçek Faktörü =1000) Yakın-Kızıl Ötesi ve Kırmızı Bantlarındaki Veri Dağılımı ve Siyah Renkle Gösterilen Toprak Çizgisi

3.4.2. Uydu Görüntülerinden Orman Alanlarına ait Kapalılık Değerlerinin Elde Edilmesi

Normalize edilmiş bitki indeksi (NDVI), bitki örtüsünün yoğunluğu, kapalılığı ve bitki yoğunluğu gibi biyofiziksel özellikleri hakkında bilgi edinmek için kullanılan en yaygın bitki indeksidir. **Carlson ve Ripley (1997)** bitki örtüsünün kapalılığı ile bitki örtüsü alan indeksi arasındaki ilişkiyi incelemeye yönelik yaptığı çalışmada, bitki örtüsünün kapalılığını aşağıdaki gibi formüle ederek normalize edilmiş bitki indeksini kullanmıştır.

$$N^{*}=(NDVI_i-NDVI_{min})/(NDVI_{max}-NDVI_{min}) \quad \textbf{(3.17)}$$

$$Fc=(N^{*})^2 \quad \textbf{(3.18)}$$

$NDVI_i$: Görüntüdeki Piksele karşılık gelen NDVI değeri

$NDVI_{max}$: Tam kapalı bitki örtüsüne ait piksele karşılık gelen NDVI değeri

$NDVI_{min}$: Çıplak toprağa karşılık gelen NDVI değeri

N^{*}: Normalize edilmiş NDVI değeri

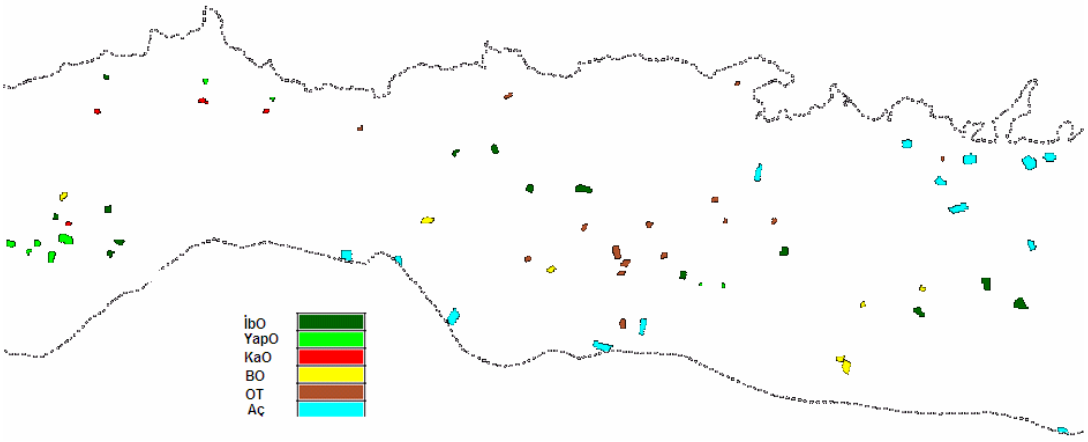
Fc: Bitki örtüsünün kapalılık değeri

Çalışma alanı için bitki örtüsünün kapalılık haritasının oluşturulmasında **Carlson ve Ripley (1997)** tarafından yapılan uygulamadan farklı olarak arazi örtüsü oluşturan her sınıf için ayrı ayrı $NDVI_{min}$ ve $NDVI_{max}$ değerleri ampirik olarak belirlenmiştir. Her bir sınıf için ayrı ayrı oluşturulan kapalılık haritası daha sonra birleştirilerek tüm alan için elde edilmiştir. Uygulamada öncelikle çıplak alanlar ve orman toprak alanlarının kapalılık değerleri sıfır olarak kabul edilmiştir. Geriye kalan gruplar ise bozuk, ibreli, yapraklı ve karışık orman alanları olmak üzere dört farklı grupta kapalılık haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan kapalılık görüntüsü arazide elde edilen yer ölçmeleri ve meşcere haritaları ile karşılaştırılarak doğruluk testi yapılmıştır.

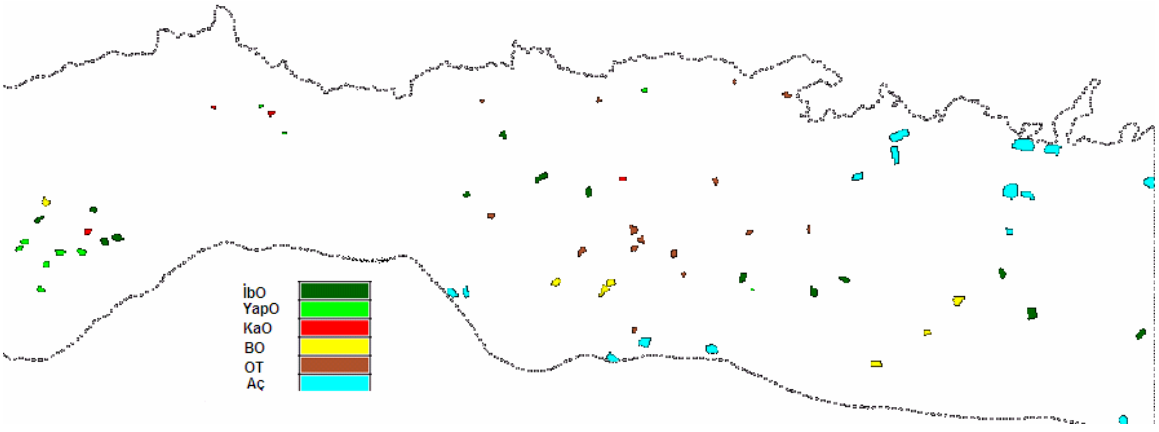
3.5. Uydu Görüntülerinden Meşcere Tiplerinin Ayırt Edilmesi

Çalışmada Sündiken Kütlesi'ndeki meşcere tiplerinin ayırt edilerek ağaç ve çalı türlerinin yayılışı tespit edilmiş ve bu bulgulara bağlı olarak yükselti iklim kuşakları kavranmaya çalışılmıştır. Bu amaçla öncelikle Sündiken Dağlık Kütlesi'ndeki arazinin özelliklerine bağlı olarak oluşan meşcere tipleri uydu görüntülerinin sınıflandırılmasıyla belirlenmeye çalışılmıştır. Görüntü sınıflandırma işleminin amacı, görüntüyü oluşturan piksellerin parlaklık değerleri temel alınarak her bir pikselin arazi örtüsünü oluşturan sınıflardan birine atanması ile tematik haritanın elde edilmesidir. Görüntü sınıflandırma işlemlerinde eğitimli ve eğitimsiz olmak üzere iki farklı yöntem bulunmaktadır. Eğitimsiz sınıflandırma, uygulama öncesi arazi örtüsü bilgisine çok az veya tam olarak hâkim olunmayan uygulamalarda, öngörülmeyen sınıfları tespit etmede yardımcı olan bir yöntemdir. Fakat verinin varyasyonu ve yapısı buna her zaman uygun olmayabilir. Arazi örtüsü değişkenliği çok sık olan çalışma alanları için uydu görüntülerinin eğitimsiz sınıflandırılmasından elde edilen sınıflar ihtiyaca tam olarak karşılık vermeyebilir. Bunu aşmak içinde 100 veya daha yüksek sayıda sınıf ile çalışmak gerekir. Bu da çok zaman alıcı ve masraflı olabileceği gibi sınıflandırma doğruluğunu da düşürebilmektedir. Bu uygulamada çalışılan arazi örtüsü genel olarak açıklık, toprak ve vejetasyondan oluşmaktadır. Landsat–7 ETM+ görüntüsü 100 küme olarak eğitimsiz sınıflandırmaya tabi tutulduğunda, açıklık ve toprak alanlarına karşılık gelen verinin varyasyonuna bağlı olarak eğitimsiz sınıflandırma ile elde edilen 100 sınıftan 82 tanesi farklı açıklık ve toprak alanlarına atandığı görülmüştür. Çalışmanın amacı vejetasyonun sınıflandırılması

olup, kuvvetli derecede yer ölçmelerine ve arazi bilgisine sahip olunması nedeniyle uygulamada eğitimli sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Öğretici veri setiyle sınıflandırma yöntemi olan eğitimli sınıflandırma işleminde, görüntü üzerinde arazi verileri yardımıyla bilinen homojen örnek alanlardan eğitim setleri oluşturarak sınıflandırma işlemi yapılır. Çalışmada, Sündiken Kütlesi'ndeki meşcere tiplerini en iyi şekilde ayırt edebilmek için sınıflandırma işleminde çok bantlı ve hiperspektral uydu görüntüleri olmak üzere farklı özellikte uydu görüntüleri kullanılarak çeşitli sınıflandırma algoritmaları denenmiştir. Sınıflandırma algoritmalarının sağlıklı irdelenebilmesi için hepsinde aynı eğitim ve doğruluk test alanlarının kullanılmasına önem verilmiştir (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18).



Şekil 3.17: Sınıflandırma için Oluşturulan Homojen Eğitim Alanları



Şekil 3.18: Sınıflandırma için Oluşturulan Homojen Test Alanları

3.5.1. Çok Bantlı Uydu Görüntüleri ile Sınıflandırma

Uydu görüntülerinden tematik harita elde edilmesine yönelik birçok uygulamada **Anderson ve diğ. (1976)** tarafından önerilen hiyerarşik sınıflandırma sistemi uygulanmaktadır. Bu hiyerarşik sistemde arazi örtüsünü dokuz adet sınıfa ayırarak ilk seviye oluşturulmuş, bu ilk seviyedeki her bir sınıf da kendi içinde dört alt gruba ayrılarak ikinci seviye oluşturulmakta ve hiyerarşik sınıflandırma çalışmanın amacına bağlı olarak bu şekilde devam etmektedir. Bu sistemin amacı çalışmada elde edilen belli bir seviyedeki sınıflandırmayı kuvvetlendirmek için mevcut kategoriyi alt sınıflara ayırarak istenilen ayrıntılı bilgiye ulaşmaktır. Bu çalışmada da, orman toplumlarını oluşturan meşcere tiplerini ayırt edebilmek için Anderson hiyerarşik sınıflandırma sistemi seviye I ve II olarak adapte edilmiştir (Tablo 3.15).

Tablo 3.15: Çalışma Alanı için Belirlenen Arazi Sınıfları

Arazi örtüsü adı		Kodu		Açıklaması
Açıklık		Aç		Üzerinde toprak ya da bitki olmayan kum, çakıl veya taşlarla kaplı arazi
Orman Toprağı		OT		Orman içinde olup üzerinde hiç ağaç olmayan, toprak, çayırlık ya da ekili olmayan tarım arazisi
Bozuk Orman		BO		Orman örtüsü aşırı derecede tahrip edilmiş, toprak yapısı bozulmuş veya bozulmaya yüz tutmuş, yetişme muhiti şartlarının uygun olduğu halde doğal olarak kendilerini yenileyebilme imkânı kalmayan arazi
İbreli Orman	Kızılçam	İbO	Çz	Kızılçam ormanının hâkim olduğu alanlar
	Kızılçam ve Karaçam		ÇzÇk	Kızılçam ve Karaçam ağaçlarının karışık olarak bulunduğu alanlar
	Karaçam veya Sarıçam		Çk/Çs	Karaçam veya Sarıçam ağaçlarının bulunduğu alanlar
Yapraklı Orman	Meşe	YapO	M	Meşe ormanının hâkim olduğu alanlar
İbreli ve Yapraklı Karışık Orman	Kızılçam ve Meşe	KaO	ÇzM	Kızılçam ve Meşe ağaçlarının karışık olarak bulunduğu alanlar
	Karaçam ve Meşe		ÇkM	Karaçam ve Meşe ağaçlarının karışık olarak bulunduğu alanlar

Arazi çalışmalarından elde edilen bilgi ve tecrübeye bağlı olarak çalışma alanına ait arazi örtüsü birinci seviye olarak açık alanlar (Aç), orman toprağı (OT), bozuk orman (BO), ibreli orman alanları (İbO), yapraklı orman (YapO) ve karışık orman (KaO) alanları olmak üzere toplam altı kategoride sınıflandırılmıştır. Yer ölçmelerinden elde edilen bilgi ve çalışma alanına ait yardımcı verilerle arazi özellikleri (bakı, yükselti ve

eğim) uzman sınıflandırma işleminde kullanılarak, arazi sınıfları ikinci seviye olarak açıklık (Aç), orman toprağı (OT), bozuk orman (BO), Kızılçam (Çz), Kızılçam ve Karaçam (ÇzÇk), Karaçam veya Sarıçam (Çk/Çs), Meşe (M), Meşe ve Kızılçam (ÇzM), Meşe ve Karaçam (ÇkM) bulunan karışık alanlar olmak üzere arazi örtüsü toplam dokuz sınıfa ayrılmıştır.

Optimum Bant Seçimi

Uydu görüntüleri birbirine komşu spektrumlara sahip spektral bantlardan oluşmaktadır. Özellikle aynı spektrum bölgesindeki spektral bantlar (görünür, kızılötesi) arasında genellikle yüksek korelâsyona sahip olup benzer bilgiyi içermektedirler. Uydu görüntülerindeki fazla bilgiden arındırılarak daha hızlı ve doğru analizler sonuçlandırmak ve uydu görüntülerinin tekrarlanan bilgiden arındırılması için literatürde en çok kullanılan yöntemler korelasyon analizi veya **Chavez ve diğ. (1984)** tarafından geliştirilen Optimum Index Factor (OIF) değerlendirmesidir **(Jensen, 1996)**. İncelenen bant kombinasyonuna ait görüntü setinin içerdiği bilgi fazla ve bantlar arasındaki benzerlik az oldukça OIF değeri daha yüksek çıkmaktadır. Çalışmamızda sınıflandırma işleminde optimum bilgiyi içeren hangi bantların kullanılacağını belirlemek için her iki yöntemden de faydalanılmıştır.

$$\mathrm{OIF} = \frac{\sum_{i=1}^{3} \sigma_i}{\sum_{i=1}^{3} \sum_{j=i+1}^{3} \left| r_{ij} \right|} \qquad \textbf{(3.19)}$$

σ_i: i bandının standart sapması

r_{ij}: i ve j bantları arasındaki korelasyon

Spektral Ayrılabilirlik

Sınıflandırma işleminde her sınıf için seçilen eğitim alanları homojen olması gerekirken örnek alanı oluşturan pikseller arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Her sınıfa ait örnek alan kendi spektral imzasını oluşturmakla birlikte, diğer sınıflara ait eğitim alanlarından farklı olduğu derecede elde edilen sınıflandırmanın doğruluğu da yüksek olmaktadır. İki farklı spektral imza arasındaki uzaklığın istatistiksel olarak ölçülmesine spektral ayrılabilirlik denilmektedir. Spektral ayrılabilirlik, *n* bantlı bir uydu

görüntüsünün sınıflandırılması işleminde hazırlanan eğitim alanları için hesaplanabilir. Bunun sonucunda oluşturulan eğitim alanlarının ve uydu görüntüsüne ait spektral bantların sınıflandırma öncesi performansları ölçülebilinir. Spektral ayrılabilirliği belirlemek için yaygın olarak kullanılan üç yöntem bulunmaktadır. Bunlar Divergence (D), Transformed Divergence (TD) ve Jeffries-Matusita Distance (JM) yöntemleridir. Bu algoritmaların hepsi eğitim alanları için spektral bantlara ait kovaryansları ve ortalama değerleri dikkate almaktadır. **Jensen'e (1996)** göre TD yöntemi diğer metotlara göre daha etkilidir. Dolayısıyla çalışmamızda, sınıfları oluşturulan eğitim alanlarının ayrılabilirliğini ölçmek için TD yöntemi kullanılmıştır.

$$D_{ij} = (1/2)*tr((C_i - C_j)*(C_i^{-1} - C_j^{-1})) + (1/2)*tr((C_i^{-1} - C_j^{-1})*(\mu_i - \mu_j)*(\mu_i - \mu_j)^T) \quad \textbf{(3.20)}$$

$$TD_{ij} = 2000*(1 - \exp(-D_{ij}/8)) \quad \textbf{(3.21)}$$

i ve j: Karşılaştırılan iki spektral imza (sınıf)

C_i : i sınıfı için kovaryans matrix

μ_i: i sınıfı için ortalama vektör

tr: trace fonksiyonu

T: Transpoze fonksiyonu

Jensen'e göre TD yönteminde, sınıflar arasındaki uzaklık arttıkça ağırlıkları katlanarak azalmaktadır. TD yönteminde sonuçlar 0–2000 arasında oluşmaktadır. Sonuçların yorumlanmasında, TD değeri 1900'dan büyük ise sınıflar ayrılabilir, TD değeri 1700–1900 arasında ise sınıflar oldukça ayrılabilir, TD değeri 1700'den az ise ayrılabilirlik zayıf anlamına gelmektedir **(Jensen, 1996)**.

Optimum spektral bant seçiminin amacı sınıflandırma işlemi için uydu görüntüsündeki tekrarlanan veriden arındırılarak sınıflandırma doğruluğunun iyileştirilmesidir. Tabiî ki burada, öncelikle toplam n banda sahip uydu görüntüsü için q bantlı kaç farklı veri kombinasyonu (C) olabileceği hesaplanmalıdır. Bunun için aşağıdaki formülden yararlanılabilinir **(Jensen, 1996)**.

$$C(\frac{n}{q}) = \frac{n!}{q!(n-q)!} \quad \textbf{(3.22)}$$

Arazideki c ve d sınıflarına ait C bant kombinasyonları için hesaplanan spektral ayırt edebilirlik hesaplanır. Eğer sınıf sayısı ikiden fazla ise tüm sınıflar için ayırt edebilirlik hesaplanarak ortalaması alınır. En yüksek ortalamaya sahip bant kombinasyonu sınıflandırma için en uygun veri seti olarak kabul edilir **(Jensen, 1996)**.

$$TD_{ortalama} = \frac{\sum_{c=1}^{m-1} \sum_{d=c+1}^{m} TD_{cd}}{C} \quad \textbf{(3.23)}$$

3.5.1.1. En Büyük Olabilirlik

Literatürde en çok tercih edilen kontrollü sınıflandırma yöntemi olan En Büyük Olabilirlik (EBO) metodunda sınıfa ait verinin normal dağılıma sahip olduğu varsayılarak ortalama değer, varyans ve kovaryans matrisi gibi istatistikî parametreler kullanılmaktadır. Kullanılan verinin yapısı normal dağılımdan farklı ise EBO yöntemi ile elde edilen sınıflandırmanın doğruluğu düşük olacaktır. EBO yönteminde, eğitim setlerini oluşturan noktalar kümesindeki dağılımın normal dağılımda olduğu ve olasılık fonksiyonunun elipslerle temsil edilebileceği varsayılarak, elde edilen istatistiksel parametrelere bağlı olarak her pikselin olasılıkları hesaplanarak hangi sınıfa daha çok benzediğine karar verilmektedir. Dolayısıyla eğitim setlerinin yeterli miktarda örnekleme verisi içermesi gerekmektedir. Böylece olasılık yoğunluk fonksiyonları, her bir sınıfa ait olan görüntü elemanının hesaplanmış olasılığı, belirlenmemiş bir pikselin sınıflandırılmasında kullanılabilmektedir. Her bir sınıf için olasılık değerlendirmesinden sonra, görüntü elemanı en çok benzer olan (en yüksek olasılık değeri) sınıfa atanır veya olasılık değerinin önceden belirlenen eşik değerinin altında kalması durumunda ise "belirsiz" olarak sınıflandırılır **(Çetin vd., 2004)**. En büyük olabilirlik algoritması aşağıda ifade edilmiştir **(Erdas Field Guide, 2003)**.

$$D = \ln(a_c) - [\, 0.5*\ln(\left|\, Cov_c \,\right|)] - [0.5*(X-M_c)*T(Cov_c^{-1})*(X-M_c)] \quad \textbf{(3.24)}$$

D: Ağırlıklı uzaklık

c: Sınıf

X: Piksele ait ölçü vektörü

M_c*: c* sınıfı için eğitim alanına ait ortalama vektör

a_c*: Bir* pikselin c sınıfına ait olabilirliğinin yüzde olasılığı (genel olarak 1 kabul edilir)

Cov_c*: c* sınıfı için eğitim alanına ait kovaryans matrisi

$|Cov_c|$: *Covc* matrisinin detarminantı

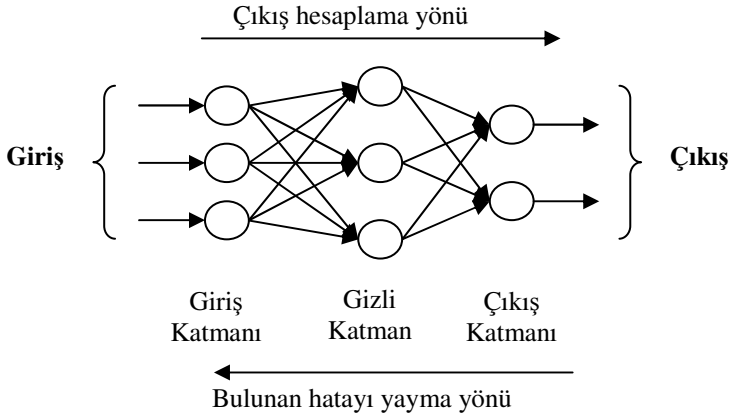
Cov_c^{-1}*: Covc* matrisinin tersi

ln: Logaritmik fonksiyon

T: Transpoze fonksiyonu

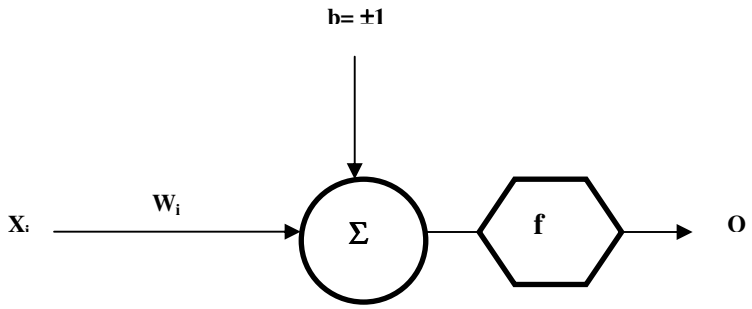
3.5.1.2. Yapay Sinir Ağları

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin çalışma şekli örnek alınarak öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme ve oluşturabilme gibi yetenekleri otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen parametrik olmayan matematiksel bir modeldir. Parametrik olmayan YSA algoritmaları normal dağılıma sahip olmayan verilerin sınıflandırılmasında daha doğru sonuçlar vermektedir. YSA modelleri yapı olarak Geri Beslemeli ve İleri Beslemeli olmak üzere iki çeşittir. Genelde görüntü işlemede en yaygın olarak kullanılan YSA modeli, eğitimli bir sınıflandırma modeli olan İleri Beslemeli Yapay Sinir Ağları modelidir. İleri Beslemeli bir YSA' da giriş, gizli ve çıkış olmak üzere üç ana katman bulunmaktadır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19: İleri Beslemeli Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı

Nöronlar (işleme elemanları) katmanlar şeklinde düzenlenir ve bir katmandaki nöronların çıkışları bir sonraki katmana ağırlıklar üzerinden giriş olarak verilir. Alınan veri ağırlıklar aracılığıyla nörona bağlanır. Nörondaki toplam fonksiyonu ile girişlerle ağırlıkların çarpımının sonucunda net girişi hesaplanır. Genelde lineer olmayan özellikteki aktivasyon fonksiyonu tarafından net giriş değerlendirilerek nörona ait net çıkış hesaplanır (Şekil 3.20). Nöronun matematiksel modeli aşağıda verilmiştir **(YSA, 2007)**.



Şekil 3.20: Bir Nörona ait Giriş ve Çıkışlar

$$O = f(net) = f(\sum_{i=1}^{n} W_i X_i + b) \qquad \textbf{(3.25)}$$

W_i: i sayıdaki veriye ait ağırlıklar matrisi

X_i: i sayıdaki veri girişi

b: bias

f: aktivasyon fonksiyonu

Yapay sinir ağında uygulamaya bağlı olarak farklı aktivasyon fonksiyonları kullanılabilmektedir. Genelde aktivasyon fonksiyonu olarak +1 ile -1 değerleri arasında çıkış veren Logaritma Sigmoid ve Hiperbolik Tanjant fonksiyonları kullanılmaktadır **(YSA, 2007)**.

$$f(x) = \text{lojistik}(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\beta x)} \qquad \textbf{(3.26)}$$

β: Eğim sabiti (genelde 1 değeri kullanılır)

$$f(x) = \tanh(x) = \frac{e^{x} - e^{-x}}{e^{x} + e^{-x}} \quad \textbf{(3.27)}$$

Bu yapısı ile ileri beslemeli ağlar doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştirir. YSA modellerinde en çok bilinen öğrenme algoritması, hataları geriye çıkıştan girişe doğru her bir tabadaki ağırlıkları tekrar tekrar hesaplayarak hataları en aza indirmeye çalışan Geriye Yayılım yöntemidir.

YSA modeli parametrik sınıflandırma (EBO gibi) yöntemlerinden farklı olarak olasılık modeli kullanmamaktadır ve lineer olmayan karar sınırları kullanarak öğrenme yeteneğine sahiptir. Diğer yandan YSA yöntemlerinin dezavantajı, sınıflandırma işlemi öncesi ağın eğitilmesi için fazla zaman gerektirmesi, sağlıklı bir ağ yapısının belirlenmesine yönelik YSA modelinin optimizasyonu ve dolayısıyla kullanıcı tecrübesi önemli bir rol oynamaktadır. Literatürdeki birçok uzaktan algılama çalışmasında YSA yönteminin EBO yöntemine göre genellikle % 5 civarında daha iyi doğrulukta sonuçlar verdiği belirtilmektedir.

3.5.1.3. Nesne Tabanlı Görüntü Analizi

Nesne tabanlı görüntü analizi (image segmentation) ölçek, şekil, renk ve doku gibi belirli kıstaslara göre uygun homojenliği sağlayarak pikselden nesneye doğru görüntüyü nesnelere ayırma işlemidir.

Nesne tabanlı görüntü analizi uzaktan algılama literatürüne çok daha önce girmesine karşın pek ilgi duyulmamıştır **(Ketting ve Landgrebe, 1976)**. Bunun en büyük sebebi nesne tabanlı yazılımların geliştirilememesi ve piksel bazlı görüntü analiz programlarını kullanmasının daha kolay olmasıdır **(Flanders ve diğ., 2003)**. Son yıllarda eCognition (Definiens imaging) ve Feature Analyst (Visual Learning Systems Inc.) gibi bazı nesne tabanlı yazılımlar geliştirilerek piksel tabanlı sınıflandırma yöntemlerine göre üstünlük sağladığı literatürde yer almaya başlamasıyla tekrar ilgi çekmeye başlamıştır. Özellikle ormancılık alanında yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile yapılan çalışmalarda en önemli zorluk, spektral yansıma değeri uydu görüntüsünde bir piksele karşılık gelirken, ormancılık çalışmalarında uygulamaların bir poligona karşılık gelen bölmeler şeklinde yapılmasıdır. Nesne tabanlı sınıflandırma tekniği, birbirine benzeyen komşu pikselleri

bir araya getirip birleştirilmiş spektral birimler oluşturup görüntüyü parçalara ayırarak analiz etmektedir. Özellikle orman türlerinin belirlenmesi **(Hill, 1999; Woodcock ve Harward, 1992)**, ormanların yok edilmesi **(Shimabukuro ve diğ., 1998)** ve ormandaki odun miktarının tahmini **(Hyyppa ve diğ., 2001; Makela ve Pekkarinen, 2001)** gibi birçok ormancılık çalışmalarında nesne tabanlı sınıflandırma tekniği tercih edilmiştir.

Bu çalışmada farklı çözünürlükte nesneler oluşturularak bulanık kural (fuzzy rule) modeli ile analiz yapabilen eCognition yazılımı kullanılmıştır. Nesne tabanlı görüntü analizlerinde birim objeyi yalnız bir piksel değil nesne (bölme) oluşturmaktadır. Nesne tabanlı algoritma öncelikle benzer komşu pikselleri birleştirerek küçük bölmeler oluşturmaya başlar. Belirlenen kriterlere göre bu bölmelerin birleştirilmesi heterojenlik eşik değeri sağlanana kadar iterasyon şeklinde devam eder. Buna bağlı olarak görüntü bilgisi belirlenen nesnelerin boyutlarına göre farklı ölçeklerde heterojen yapı elde edilebilinir. Dolayısıyla görüntü üzerinde bulunan her bir piksel görüntü üzerinde bir nesneye hiyerarşik olarak bağlıdır. Daha da ötesi farklı ölçeklerde birbirine hiyerarşik olarak bağlantılı olan farklı nesne tabakaları oluşturulabilmektedir. Hiyerarşik yapısı sayesinde bir nesnenin komşuları, alt ve üst tabakada bağlı olduğu nesneler bellidir. Nesnenin fiziksel özellikleri (ölçek, doku, renk, biçim, yumuşaklık ve bütünlük), topolojik özellikleri (sağ, sol, mesafe, alan gibi) ve bağlamsal özellikleri (park alanı şehir içinde bulunur, mera şehir dışında bulunur gibi) kullanılarak daha özgü ve doğru sınıflandırmaların yapılmasına imkân sağlar. Ölçek parametresi, görüntüden oluşturulan nesnelerin heterojenlik boyutunu belirlerken; renk / biçim parametresi, homojen piksel alanlarının renk ve biçimine göre görüntünün nesnelere ayrılmasında belirleyici olur. Yumuşaklık / bütünlük, nesnelerin daha bütün veya yumuşatılmış olmasını sağlar.

Çalışmada nesne tabanlı sınıflandırma işlemi Landsat ETM+ ve Terra ASTER görüntülerinin orijinal bantları ve TSAVI indeksi bulunan veri setlerine uygulanmıştır. Bant ağırlıkları korelasyon katsayılarına göre belirlenmiştir. Diğer parametreler (ölçek, renk, biçim, yumuşaklık, bütünlük) deneme yoluyla görsel olarak her iki veri seti içinde sonuçlar incelenerek belirlenmiştir. Buna göre ölçek 10 olarak, renk 0.8 ve biçim 0.2 olarak, yumuşaklık 0.9 ve bütünlük 0.1 olarak alınmıştır. Nesnelere ayrılmış görüntü üzerinde eğitim alanları seçmek için EBO ve YSA yöntemlerinde kullanılan eğitim alanları önce vektöre daha sonra sayısal görüntüye çevrilerek alansal olarak % 70'den

fazla olarak örtüşen bölmelerden eğitim sınıfları oluşturulmuştur. Bölmelere ayrılmış görüntü en yakın komşu (standard nearest neighbour) ve üyelik fonksiyonu (membership function) kullanılarak sınıflandırılmıştır.

3.5.1.4. Sınıflandırmanın İyileştirilmesi

Uzaktan algılama uygulamalarında en çok ilgi duyulan konulardan birisi de sınıflandırma doğruluğunun arttırılmasıdır. Sınıflandırmanın doğruluğu veri setine, eğitim alanlarına, seçilen yönteme ve algoritmaya göre değişmekte olup bu amaçla literatürde yapılan birçok çalışma bulunmaktadır.

Uzaktan algılama uygulamalarında sınıflandırma doğruluğunu artırabilmek için en yaygın olarak yeni sınıflandırma algoritmaları (YSA, nesne tabanlı sınıflandırma ve genetik algoritmalar gibi) uygulanmıştır. Aynı zamanda sınıflandırma doğruluğunu iyileştirmede kullanılan etkili diğer bir yöntemde uydu görüntüleri ile yardımcı verilerin bütünleştirilmesidir. Bu amaçla kullanılan yöntemler sınıflandırma işlemi öncesinde, sonrasında veya işlem sürecinde uygulanabilmektedir. Bu yöntemler coğrafik katmanlara ayırma (geographical stratification), sınıflandırma sürecinde veride ve algoritmada yapılan işlemler (classifier operations) veya sınıflandırma sonrası ayırma (post-classification sorting) gibi mantık ve kural tabanlı bilgiye dayalı uzman sistemlerdir **(Jensen 1996)**. Sınıflandırmada kullanılan yardımcı veri seti kullanıcı tanımlı değişkenler, görüntüler, vektör bilgisi, mekânsal veriler ve harici programları içerebilmektedir **(Erdas Field Guide, 2003)**. Literatürde görüntü sınıflandırma sonuçlarının doğruluğunu arttırmak için uydu verilerine ek olarak yardımcı verilerin (jeolojik, toprak veya topografik veri gibi) dâhil edilmesini sağlayan birçok teknik ve uygulama bulunmaktadır **(Hutchinson ve diğ.,1982; McKeown ve diğ., 1985; Mason ve diğ., 1988)**.

Yardımcı verilerle sınıflandırma öncesi görüntüyü alt bölgelere ayırmak mümkün olup ayrı ayrı değerlendirilebilinir. Burada amaç sınıflandırılacak verinin homojenliğini artırarak sınıflandırma sonuçlarının iyileşmesini sağlamaktır. Özellikle çalışma alanına ait ekolojik yapı dikkate alınarak coğrafik katmanlara ayırma işlemi ile sınıflandırma sonuçları iyileştirilebilinir **(Franklin ve Wilson, 1992)**.

Görüntü sınıflandırma işlemi sırasında veri setine yardımcı verilerin dâhil edilmesi (eğim, bakı veya doku gibi) ile sonuçların iyileştirilmesi mümkün olup literatürde buna yönelik birçok uygulama bulunmaktadır **(Hutchinson, 1982; Franklin ve Peddle, 1989; Gong ve Howarth, 1992)**.

Sınıflandırma sonrası iyileştirme yöntemi, doğruluğun arttırılması amacı ile başlangıçta elde edilen ilk sınıflandırılmış görüntüye yardımcı verileri kullanılarak belirli kurallar uygulanmasıdır **(Jensen, 1996)**. Örneğin, **Hutchinson (1982)** tarafından yapılan çalışmada Landsat MSS görüntüsü başlangıçta 9 kategoride sınıflandırılabilmiştir. Yardımcı veri olarak yükseklik verisinden elde edilen eğim ve bakı değerleri kullanılarak çalışma alanına ait arazi örtüsüne özel 20 farklı kural uygulayıp sınıf sayısını 15 kategoriye çıkartarak sınıflandırma sonuçlarını iyileştirmiştir. **Cibula ve Nyquist (1987)** tarafından yapılan bir diğer çalışmada topografik (yükseklik, eğim ve bakı) ve meteorolojik (yağış ve sıcaklık) verileri kullanılarak sınıflandırma sonrası iyileştirme uygulamış ve başlangıçta 9 olan sınıf sayısını 21'e çıkarmıştır. **Janssen ve diğ. (1990)** tarafından uzaktan algılama verisi ile topografik verinin bütünleştirilmesi ile iki farklı tarım bölgesinde arazi sınıflandırma sonuçlarının genel doğruluğunu yüzde 12 ve 20 oranında arttırmayı başarmıştır.

Bu çalışmada da çok bantlı uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında benzer spektral özelliklere sahip ayırt edilemeyen ibreli (Karaçam, Sarıçam, Kızılçam) orman toplumlarının arazideki yayılışını, sınıflandırılmış uydu görüntülerinden belirleyebilmek için arazinin topografik (yükselti ve bakı) ve ekolojik özellikleri (araziye ait bitki örtüsü bilgisi) kullanılarak sınıflandırma sonrası iyileştirme yöntemi uygulanmıştır.

3.5.2. Hiperspektral Uydu Görüntüleri ile Sınıflandırma

Bu bölümde sınıflandırma doğruluğunu arttırabilmek için çalışma alanına ait arazi örtüsünün hiperspektral uydu görüntüsü ile sınıflandırılması incelenmiştir. Bunun için spektruma dayalı Spectral Angle Mapper (SAM) algoritmaları ile nesne tabanlı en yakın uzaklıktaki bulanık üyelik sınıflandırma algoritması ile sınıflandırma yapılmış ve sonuçlar doğruluk analizi yapılarak karşılaştırılmıştır.

SAM algoritması hiperspektral görüntülerin sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılan eğitimli sınıflandırma yöntemlerden birisidir. SAM algoritması hiperspektral

görüntüdeki her bir piksel için bilinmeyen spektrum (t) ile referans spektrumlar (r) arasındaki spektral açıyı hesaplar. Spektral açısı en az olan bilinmeyen ve referans spektrumlar birbirine daha çok benzerdir. Spektral açı (Sa) radyan biriminde olup 0 ile 1 arasında değerler almaktadır **(Dennison vd., 2004)**.

$$Sa = Cos^{-1}\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} t_i r_i}{\left(\sum_{i=1}^{n} {t_i}^2\right)^{0.5} \left(\sum_{i=1}^{n} {r_i}^2\right)^{0.5}} \right) \qquad \textbf{(3.28)}$$

Bilindiği gibi genel olarak hiperspektral görüntünün birbirine spektral olarak süreklilik içinde komşu olan bantlar arasındaki korelasyon katsayısı yüksek olup görüntüde tekrarlanan veri oranı oldukça yüksektir. Bu nedenle hiperspektral verilerin sınıflandırılmasındaki en büyük problemlerden birisi de bant sayısının dolayısıyla veri sayısının fazla oluşu ve buna bağlı olarak seçilen eğitim alanlarının yetersiz kalmasıdır. Ayrıca hiperspektral verilerin normal çok bantlı görüntülere göre oldukça fazla gürültü içermesi sınıflandırma sonuçlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Dolayısıyla nesne tabanlı sınıflandırma işlemi öncesi Minumum Noise Fraction (MNF) yöntemi ile hiperspektral görüntüde veri dönüşüm işlemi yapılarak elde edilen en yüksek veri grubunu içeren MNF bantları sınıflandırma işleminde kullanılmıştır. SAM algoritmasının çalışma prensibi olarak spektrum bilgisini içerdiği için bu sınıflandırma yönteminde böyle bir sorun bulunmamakla birlikte tam tersine bant sayısı arttıkça sınıflandırılan her bir piksele ait spektrum daha fazla bilgi içermekte ve sınıflandırma doğruluğunu arttırmaktadır. Hiperspektral görüntünün segmentasyonu işleminde ise parametre olarak ölçek 50, renk 0.8, biçim 0.2, yumuşaklık 0.4 ve bütünlük 0.6 alınarak segmentasyon işlemi uygulanmış ve standart en yakın komşu ve bulanık üyelik algoritması ile sınıflandırılmıştır.

3.5.3. Doğruluk Analizi

Doğruluk analizi, sınıflandırma işleminin hassasiyetini belirlemek için doğru olarak kabul edilen yer ölçmelerinin referans altlık haritalar ile karşılaştırılmasıdır. Sınıflandırılmış görüntüyü oluşturan her pikselin referans verilerle karşılaştırılması

özellikle büyük alanlar için tercih edilmeyen bir yöntemdir. Bunun yerine sınıflandırılmış görüntüyü temsil edebilecek şekilde test alanları seçilerek doğruluk analizi yapılmaktadır. Test alanları sınıflandırmada kullanılan örnek alanlardan farklı olmalıdır. Referans alanların seçilmesi kullanıcı tarafından belirlenerek veya rastgele seçilerek gerçekleştirilmektedir. Çalışmamızda arazide eğitim alanlarının haricinde yer ölçmeleri ile belirlediğimiz kesin olarak bilinen test alanları kullanılarak doğruluk analizi yapılmıştır. Doğruluk analizinde diğer önemli bir husus test alanları seçilecek piksel sayısının en az ne kadar olması gerektiğidir. **Fitzpatrick-Lins (1981)'e** göre sınıflandırma doğruluğunun belirlenmesinde gereken toplam test noktası sayısı aşağıdaki formüle göre belirlenmelidir. Bu formüle göre % 85 umulan doğrulukta, % 5 kabul edilebilir hata için gereken toplam piksel sayısı 204 tanedir.

$$N= Z^2(p)(q)/E^2 \quad \textbf{(3.29)}$$

N= Gereken test noktası sayısı

p: Umulan doğruluk (yüzde)

q: 100-p

E: kabul edilebilir hata (yüzde)

Z=2 (% 95 güven aralığı için 1.96 standart normal sapma)

Congalton'a **(1991)** göre bir sınıfa ait doğruluğun yüzde olarak ±5 hassasiyette belirlenebilmesi için her sınıf için en az 50 adet pikselin seçilmesi gerekmektedir. Eğer çalışma alanı çok büyük ise (400.000 ha'dan fazla) veya çok fazla sınıf sayısı bulunuyorsa (12'den fazla) her sınıfa ait test alanı için gereken en az piksel sayısı 100 piksel olmalıdır. Aynı zamanda arazi örtüsü sınıflarının çalışma alanındaki değişkenliğinin az veya çok oluşuna göre de kullanılacak test piksel sayısı dengelenebilir **(Jensen, 1986)**.

Sınıflandırma doğruluğunun belirlenmesinde, en yaygın yöntem olan hata matrisinden yararlanılmıştır **(Congalton, 1991)**. Hata matrisi, sınıflandırma sonuçları ile referans bilgi arasında grup grup karşılaştırma şeklinde olup sınıflandırma doğruluk tablosu da denilmektedir (Tablo 3.16). Hata matrisi iki problemi barındırmaktadır. İlki

sınıflandırma doğruluğu seçilen eğitim alanlarına bağlıdır. İkincisi bulunan doğruluk değeri eğitim alanları dışındaki veriyi kapsamayabilmektedir. Hata matrisinde sınıflandırma sonuçlarının değerlendirilmesi genel doğruluk veya her sınıfa ait doğruluk olarak yapılabilmektedir. Tabloda iş ve ihmal hatalarının sebep olduğu doğruluk her sınıf için belirlendiği için görüntü sınıflandırmada kullanılan etkili bir yöntemdir. Literatürde sınıflandırma doğruluğunun hangi ölçüde olması gerektiği konusunda birçok görüş bulunmaktadır. **Anderson ve diğ. (1976) ve Milazzo (1980)**'ya göre genel sınıflandırma doğruluğunun en az % 85 olması gerektiği ve sınıflandırmada kullanılan her grup için yaklaşık aynı doğruluğun sağlanması gerektiği belirtilmiştir.

Doğruluk tablosunda diyagonal hücreler haricinde bulunan noktalar sınıflandırmadaki hatalı verileri göstermektedir. Doğruluk tablosu sınıflandırma doğruluğunun hesaplanmasında birçok çalışmada farklı doğruluk indekslerinin hesaplanmasında kullanılmıştır **(Hellden, 1980; Cohen, 1960; Ma ve Redmond, 1995)**.

Tablo 3.16: Sınıflandırma Doğruluğu Tablo Örneği

		Referans Veri					
	Sınıf	**1**	**2**	**3**		**j**	**Toplam**
Sınıflandırılmış Veri	**1**	$\mathbf{X_{11}}$	X_{12}	X_{13}		X_{1j}	X_{1+}
	2	X_{21}	$\mathbf{X_{22}}$	X_{23}		X_{2j}	X_{2+}
	3	X_{31}	X_{32}	$\mathbf{X_{33}}$		X_{3j}	X_{3+}
	i	X_{i1}	X_{i2}	X_{i3}		$\mathbf{X_{ij}=X_{ii}}$	X_{i+}
	Toplam	X_{+1}	X_{+2}	X_{+3}		X_{+j}	N

N:Toplam nokta sayısı, i = j:Toplam sınıf sayısı, X_{ii} :Diagonal hücrede bulunan doğru sınıflandırılmış piksel sayısı

Sınıflandırma genel doğruluğu diyagonal hücrelerde bulunan doğru sınıflandırılmış piksel sayılarının toplamının, doğruluk tablosunda değerlendirmeye katılan toplam piksel sayısına oranıdır. Her kategori için iki farklı doğruluk elde edilmektedir. Bir sınıf için kesin doğru olan piksellerin o sınıfa ait referans olarak seçilen toplam piksel sayısı (sütun toplamına) oranına ihmal hatası veya üretici doğruluğu, o sınıfa ait sınıflandırılmış toplam (satır toplamına) piksel sayısı oranına iş hatası veya kullanıcı doğruluğu denilmektedir **(Story ve Congalton, 1986)**. Yapılan çalışmada

sınıflandırılmış görüntü üzerinden bir takım projeler ve sonuçlar üretileceği için kullanıcı doğruluğunun dikkate alınmasının daha doğru olacağına karar verilmiştir.

Genel Doğruluk = $\Sigma X_{ii} / N$ **(3.30)**

Üretici doğruluğu = $\Sigma X_{ii} / X_{+j}$ **(3.31)**

Kullanıcı doğruluğu = $\Sigma X_{ii} / X_{i+}$ **(3.32)**

Sınıflandırılmış görüntülerin doğruluğunun hesaplanmasında ayrıca istatistiksel olarak birçok Ayrık Çok Değişkenli Analiz teknikleri kullanılmaktadır **(Congalton ve Mead, 1983; Campbell, 1987)**. Hata matrisindeki diyagonal hücrelerde bulunan kesin doğru değerler haricindeki hata bilgilerini de değerlendirmeye alan normalize edilmiş genel doğruluk sınıflandırma hassasiyetini daha iyi ifade etmektedir **(Congalton, 1991)**. Ayrıca aynı çalışma alanı için farklı sınıflandırma algoritmaları ve test alanları alınarak oluşturulan hata matrisinden elde edilecek sınıflandırma doğruluklarının karşılaştırılması, normalize edilmiş genel doğruluk ile mümkün olacaktır **(Jensen, 1996)**. Çalışmada **Cohen (1960)** tarafından geliştirilen ve Kappa (KHAT) olarak adlandırılan ayrık çoklu değişken tekniği kullanılmıştır.

$KHAT=(N*\Sigma X_{ii}-\Sigma(X_{+i}*X_{j+}))/(N^2-\Sigma(X_{+i}*X_{j+}))$ **(3.33)**

Her sınıf için kappa değeri (Ki(hat) ayrı olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$Ki(hat)=(N*X_{ii}-(X_{+i}*X_{j+}))/(N*X_{+i}-(X_{+i}*X_{j+}))$ **(3.34)**

Ayrıca birbirinden bağımsız iki farklı kappa değerini karşılaştırmak için **Cohen (1960)** tarafından aşağıdaki test önerilmiştir. Eğer Standart normal sapma (Z) değeri 1.96'dan büyük ise iki sınıflandırma arasındaki farklılık % 5'den azdır. Eğer 1.64'den büyük ise % 10'dan azdır.

Z= (KHAT1– KHAT2)/SQRT (Var(KHAT1)+ Var(KHAT2)) **(3.35)**

$$Var(KHAT)=\frac{1}{N}\left[\frac{\theta_1*(1-\theta_1)}{(1-\theta_2)^2}+\frac{2*(1-\theta_1)*(2*\theta_1*\theta_2-\theta_3)}{(1-\theta_2)^3}+\frac{(1-\theta_1)^2*(\theta_4-4*\theta_2^2)}{(1-\theta_2)^4}\right] \quad \textbf{(3.36)}$$

$$\theta_1 = \sum X_{ii} / N \quad \textbf{(3.37)}$$

$$\theta_2 = \sum (X_{i+} * X_{+j}) / N^2 \quad \textbf{(3.38)}$$

$$\theta_3 = \sum (X_{ii} / N)\left[(X_{i+} / N) + (X_{+j} / N)\right] \quad \textbf{(3.39)}$$

$$\theta_4 = \sum (X_{ii} / N)\left[(X_{i+} / N) + (X_{+j} / N)\right]^2 \quad \textbf{(3.40)}$$

Foody (1992) çalışmasında genel doğruluk değerinin olması gerekenden daha az bir doğruluk gösterirken, Cohen'in Kappa değerinin olması gerekenden daha fazla bir doğruluk gösterdiğini belirtmiştir. Bu bulguları değerlendiren **Ma ve Redmond (1995)** sınıflandırma doğruluğunun ölçülmesine yönelik olarak Tau katsayısı yöntemini geliştirmişlerdir. Tau katsayısı -1 ile +1 arasında değer alır. Tau değeri 0'a yaklaştıkça doğruluk düşmekte, -1 veya +1 değerine yaklaştıkça doğruluk artmaktadır. M sınıf sayısı olmak üzere Tau denklemi aşağıdaki gibidir.

$$\text{Tau} = [(1/N) * \Sigma X_{ii} - (1/M)]/[\ 1 - (1/M)] \quad \textbf{(3.41)}$$

3.6. Yüzey Sıcaklığının Belirlenmesi

Yeryüzündeki objelerde ve çevresinde meydana gelen ısı enerji hareketlerini yorumlamak için yüzey sıcaklığının belirlenmesi önemli bir bilgidir. Yüzey sıcaklığının belirlenmesi, yerkürenin güneş ışınlarından aldığı enerji ile yeryüzünden neşredilen ısının ölçülmesi demektir. Örneğin toprak alanlarına ait yüzey sıcaklığı (YS) toprak yüzeyinden neşredilen ısı iken, orman alanları için YS bitki örtüsünden neşredilen ısıyı, bozuk orman alanları için ise hem bitki örtüsü ve hem de altındaki topraktan neşredilen ısının ortalamasıdır.

Yeryüzünden neşredilen sıcaklığın belirlenmesi subilimi, çevrebilim, meteoroloji, ormancılık, tarım gibi birçok alanda yapılan çalışmalar için önemli bir veri kaynağıdır. Özellikle son yıllarda çokça konuşulan küresel ısınma konusu için de büyük önem arz etmekte olup ve bu konuda birçok çalışmada YS değerleri kullanılmıştır **(Sinha, 1995)**. Tarım alanında da bitkilerin su ihtiyacının belirlenmesine yönelik olarak kullanılmıştır

(Sepulcre-Cantó ve diğ., 2006). Ayrıca don kuşaklarının belirlenmesinde ise YS değerleri ile çalışılmış birçok uygulama bulunmaktadır **(Tabazadeh ve diğ, 2001)**.

3.6.1. Uydu Görüntülerinden Yüzey Sıcaklığının Belirlenmesi

Global ve yöresel ölçekte yeryüzünden neşredilen ısının belirlenmesi 1980'li yıllarda kullanılmaya başlayan uzaktan algılama teknolojisinde hava ve uzay araçlarına yerleştirilen ısıl algılayıcılar ile yapılmaktadır. YS'nın belirlenmesi uzaktan algılamada yer ölçmeleri ve hava/uzay algılayıcı ölçmeleri olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Yer gözlem uyduları ile yeryüzünde bir piksele karşılık gelen alandan neşredilen ortalama ısı miktarı belirlenebilmektedir. YS'nin belirlenmesine yönelik yer ölçmeleri uygulamanın amacına ve hassasiyetine bağlı olarak ısıl radyometreler ya da kızılötesi termometreler ile yapılabilmektedir. Yer ölçmeleri ile elde edilen YS değerleri çok küçük bir alanı kapsamakta olup, genellikle atmosferik etkiye maruz kalan ısıl uydu görüntülerinin kalibrasyonu amacıyla kullanılmaktadır.

Uzaktan algılama çalışmalarında sağlık sonuçlara ulaşabilmek için, uydu görüntülerindeki ısıl banttan elde edilen radyans değerlerine atmosferik düzeltme getirilerek yeryüzünden yansıyan net radyans değerinin elde edilmesi ve sonra da yeryüzü için neşretme katsayısı düzeltmesi getirilerek sıcaklığa dönüştürülmesi gerekmektedir. YS yalnızca enlem, boylam, yükseklik, bakı ve eğim gibi değişkenlere bağlı olmayıp aynı zamanda yüzey neşretme gücüne bağlı olarak da değişmektedir. Yeryüzü kara bir cisim olmayıp, güneşten aldığı enerjinin bir kısmını direk olarak geri yansıtmaktadır. Aynı sıcaklıktaki kara cismin neşretme kapasitesi ile yeryüzünün neşretme kapasitesinin karşılaştırılması ile elde edilen sıfır ile bir değeri arasında oluşan değere neşretme gücü denilmektedir. Neşretme gücü yüksek olan cisim güneşten gelen enerjiyi daha çok tutmuş demektir. Stefan-Boltzmann teorisine göre iyi bir yutma ve neşretme özelliğine sahip olan kara obje için nesneden neşredilen toplam enerji yüzey sıcaklığının dördüncü kuvvetinin bir fonksiyonu olup, belirli bir bant aralığında yeryüzünden neşredilen ısıl radyasyonun miktarı nesnenin sıcaklığına bağlıdır. Yeryüzü bir kara obje (Black body) olarak kabul edilirse, Plank kanununa göre yeryüzü 3–10 μm dalga boyları arasında farklı miktarlarda ısı neşretmektedir. Yeryüzünün ortalama sıcaklığı 300 Kelvin olarak kabul edilirse, tüm dalga boylarında neşredilen ısı miktarı

atmosferik yutulmanın en az olduğu 8–12 µm dalga boyları arasında 10 µm civarında en yüksek seviyede ısıyı neşretmekte olup bunlara ısıl kanallar denilmektedir. Günümüzde AVHRR (4. ve 5. kanal), MODIS (31. ve 32. kanal), Landsat TM (6.kanal) ve ETM+ (6.kanal) ve Terra ASTER (10, 11, 12, 13, 14. kanal) algılayıcıları gibi farklı özelliklere sahip birçok uydu görüntüsü bulunmaktadır. Bunlardan AVHRR ve MODIS ısıl görüntülerinin geometrik çözünürlükleri 1 km olduğu için daha çok küresel ölçekli uygulamalarda, diğerleri ise sırasıyla 120, 60 ve 90 m çözünürlüğe sahip olup orman, tarım ve şehircilik gibi yüksek doğruluk isteyen uygulamalarda kullanılmaktadır.

Isıl bantlardan YS değerlerinin hesaplanmasına yönelik birçok çalışma AVHRR algılayıcı için algoritmalar geliştirilmesi ile başlamış, yüksek çözünürlüklü ısıl uydu algılayıcılarının geliştirilmesi ile bu çalışmalar yaygınlaşarak çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Literatürde en yaygın olarak kullanılan üç farklı yöntem bulunmaktadır. İlki, tek ısıl kanala sahip görüntüler için geliştirilen tek bant yöntemi, ikincisi birden fazla ısıl kanala sahip görüntüler için geliştirilen split-window yöntemi ve son olarak da MODIS algılayıcısı için geliştirilen gündüz/gece MODIS YS yöntemidir. Landsat 4 ve 5 uydularındaki TM algılayıcısı ile elde edilen ısıl veriden YS elde edilmesine yönelik bazı çalışmalar yapılmıştır. Tek bant yönteminde öncelikle piksel parlaklık değerleri radyans değerlerine dönüştürülür. Yüzey sıcaklıkları Landsat ETM görüntüsü gibi ısı bandına sahip uydu verilerinden yararlanılarak basitleştirilmiş Plank fonksiyonu kullanılarak belirlenebilmektedir **(Markham ve Barker, 1986)**.

$$T=(c_2\lambda^{-1})/\ln[((\varepsilon c_1\lambda^{-5})/\pi L_\lambda)+1] \quad \textbf{(3.42)}$$

T: Yüzey sıcaklık değeri (Kelvin, ^{0}K)

L: Spektral radyans (mWcm^{-2} ster^{-1} µm^{-1})

c_1:3.742e-16 Wm^2

c_2:0.0144 mK

λ: Isıl dalga boyu merkezi (m)

ε: Yayınım katsayısı

Kızılötesi uydu görüntülerinden yüzey sıcaklığını belirlemede yeryüzünden neşredilen ısı verisini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bunları kısaca şöyle özetleyebiliriz:

- Bir piksele karşılık gelen (IFOV açısının kapsadığı) alandaki farklı cisimlerin dağılımının bilinmemesi: Özellikle homojen olmayan alanlarda bu sorunla karşılaşılmaktadır. Uzaktan algılamada yer gözlem uydularının ısı bantlarının mekânsal çözünürlüğü, görünür/kızıl ötesi bantlarına göre daha düşüktür. Yani görünür/kızıl ötesi bantlardan elde edilen sınıflandırılmış görüntüler daha detaylı bilgi içermektedir. Literatürde görünür/kızıl ötesi bantlar kullanılarak veya sınıflandırılmış görüntülerin detay bilgisinden faydalanılarak ısıl görüntünün detay bilgisini zenginleştirmeye yönelik yapılmış bazı çalışmalar bulunmaktadır. Fakat yapılan bu çalışmalar daha çok topografik yapısı düz alanlar için oluşturulmuş yöntemlerdir. Çalışma alanımız ise tam tersine oldukça engebeli bir araziye sahip olduğu için bu yöntemler uygulanamamıştır. Bu çalışmada araziyi oluşturan açık alan ve orman alanlarına ait yüzey yansıma sıcaklık değerlerinin hesaplanması sırasında orijinal ısıl görüntüye ait piksel değerleri korunarak, görünür ve kızıl ötesi bantların sınıflandırılması ile elde edilen sınıflandırılmış görüntüler ısıl bandın mekânsal çözünürlüğüne örneklenerek objelere ait ısıl değerlendirmeler yapılmıştır.

- Algılayıcının konumuna ve cisme gelen güneş ışınlarının açısına bağlı olarak alınan ve neşredilen ısıl enerjideki farklılıklar: Çalışma amacı, farklı zamanlarda elde edilmiş ısıl bantların değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken bir etkendir. Her bir algılayıcının kendine özgü yörünge parametreleri ve buna bağlı görüntü çekim zamanları bulunmaktadır. Uygulamada kullanılan ısıl görüntüler aynı algılayıcıya ait olsa bile güneşin konumu her zaman farklı olmakta dolayısıyla cisme gelen güneş ışınları düz bir topografyaya sahip bir alan içinde bile farklılık göstermektedirler. Bu etkilerin en aza indirebilmesi için yapılan bu çalışmada olduğu gibi farklı zamanlarda çekilmiş uydu görüntülerine topografik düzeltme getirilerek ısıl değerlerin normalleştirilmesi gerekmektedir.

- Yeryüzündeki objelerin yapısına, yoğunluğuna ve şekline bağlı olarak ısıl enerjinin neşredilmesindeki farklılıklar: Yeryüzündeki objeler türlerine ve yüzey yapılarına göre farklı ısıl enerji neşretmektedirler. Örneğin bina ve asfalt gibi objelerin

yoğun bulunduğu şehir alanları orman alanlarına veya sulak alanlara göre daha fazla ısı neşretmektedirler. Yeryüzünden neşredilen ısıl enerji objelerin türlerine göre değiştiği gibi yoğunluklarına göre de farklılıklar göstermektedir. Örneğin, yoğun şehir alanları daha fazla ısı neşrederken, yoğun orman alanları daha az ısı neşretmektedirler.

- Aynı objenin bulunduğu alanın yükselti, bakı ve eğim gibi topografik özelliklerine göre yeryüzünden neşredilen ısı farklılık göstermektedir. Bu sebeple değerlendirmelerde bu özellikler dikkate alınarak yapılmıştır. Bunun için açık alan ve orman alanlarına ait topografik özellikler (bakı, yükselti, eğim) sınıflara ayrılarak uydu görüntüsünden elde edilen ısıl veri değerlendirilmiştir.

- Uydu görüntüsünün çekilme zamanındaki hava (bulutluluk) ve atmosferik şartlar (havanın basıncı, nemi ve gazların oranı) yerden neşredilen ısı miktarını etkilemektedir. Bulutlu veya puslu havalardaki atmosferik etkilerden dolayı yeryüzüne gelen ve yeryüzünden yansıyan güneş enerjisi az olacağı için neşredilen sıcaklık miktarı da az olacaktır.

- Toprağın içerdiği nem miktarı yeryüzünden neşredilen ısının miktarını etkileyen diğer bir doğal faktördür. Toprak nemi mevsime ve hava şartlarına göre değişmektedir. Kış aylarında veya yağışlı bir hava durumundan birkaç gün içinde alınan uydu görüntüsünde nem faktörü etkili olacaktır. Özellikle orman alanları açık alanlara göre daha nemli olacak ve aradaki ısı farklılıkları artacaktır. Bu nedenle ısıl uydu görüntülerinin yaz mevsiminde alınması daha sağlıklı sonuçlar doğuracaktır.

- Ağaçların yüksekliğine, yaprak ve tepe yapısına bağlı olarak ormanın kapalılığının değişmesi orman alanlarından neşredilen ısı farlılıklarına sebep olmaktadır. Aynı tür ağaca ve kapalılığa sahip orman alanlarında yüksek ağaçlara sahip olan alanlarda yerdeki topraktan neşredilen ısı daha az olacağı için daha alçak boylu ağaçların bulunduğu orman alanlarından neşredilen ısı miktarı daha az olacaktır.

- Orman alanlarının kapalılığı ağaçların yaprak türüne göre değişmektedir. Geniş yapraklı ağaçlar orman kapalılığını ibrelilere göre daha iyi sağlayarak yerden neşredilen ısının yukarı çıkmasını engellemektedir. Dolayısıyla aynı bitki yoğunluğuna sahip orman alanlarının kapalılık oranları farklı olmakta dolayısıyla neşredilen ısı miktarı da farklı olmaktadır.

- Bitkilerin yapraklarında bir miktar su bulunmaktadır. Yapraklara gelen güneş ışınları ile fotosentez gerçekleşmekte ve buharlaşma meydana gelmektedir. Geniş yapraklı bitkiler iğne yapraklı bitkilere göre daha fazla su içerdiği için daha çok buharlaşma olmakta dolayısıyla gelen güneş enerjisi daha fazla kullanılmakta ve daha az ısı neşredilmektedir. Bu nedenle geniş yapraklı bitki örtüsüne sahip orman alanları iğne yapraklı orman alanlarına göre daha az ısının neşredilmesine sebep olmaktadırlar.

3.6.2. Arazide Sıcaklığın Yer Ölçmeleri ile Belirlenmesi

3.6.2.1. Toprağa Yakın Sıcaklığın Ölçülmesi

Uydu görüntülerinden elde edilen yüzey sıcaklık ve hava sıcaklık değerlerini ilişkilendirebilmek için, farklı bakı ve yükseltideki açık alanlarda yerden 1.5 m yükseklikte kuzeye yönlendirilmiş siperlere sıcaklığı 0.5 C^o ve nemi % 3 hassasiyetinde ölçebilen sayısal hafızalı sıcaklık ölçer yerleştirilmiştir. ASTER uydu görüntüsünün çekiminden bir gün önce başlayarak 15 gün süresince arazide 15 dakikalık ölçmeler ile çalışma alanına yakın olan Eskişehir ve Nallıhan meteoroloji istasyonlarına ait aynı tarihli ortalama hava sıcaklık ve nem verileri (saatlik) elde edilmiştir.

3.6.2.2. Yüzey Sıcaklığının Ölçülmesi

Uydu görüntüsü ile eş zamanlı olarak saat 10^{oo}–13^{oo} arasında araziye çıkılarak 8 – 14 µm dalga boyu aralığında ±2 °C doğrulukta çalışan kızılötesi termometre ile tarla, mera ve çıplak toprak gibi toplam yedi adet homojen büyük açık alanlarda yerden 1 m mesafede yüzeyden neşredilen sıcaklık ölçmeleri yapılmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21: Kızılötesi Termometre ile Arazide Yüzey Sıcaklığının Ölçülmesi Örneği

Kızılötesi termometre ile ölçüm sırasında bir piksele karşılık gelecek şekilde 10 m aralıklarla (9x9 karelaj) alanda yapılan yüzey sıcaklık ölçmelerinin ortalama değerleri alınmış ve bu alanların orta noktalarının koordinatları GPS ile kaydedilmiştir.

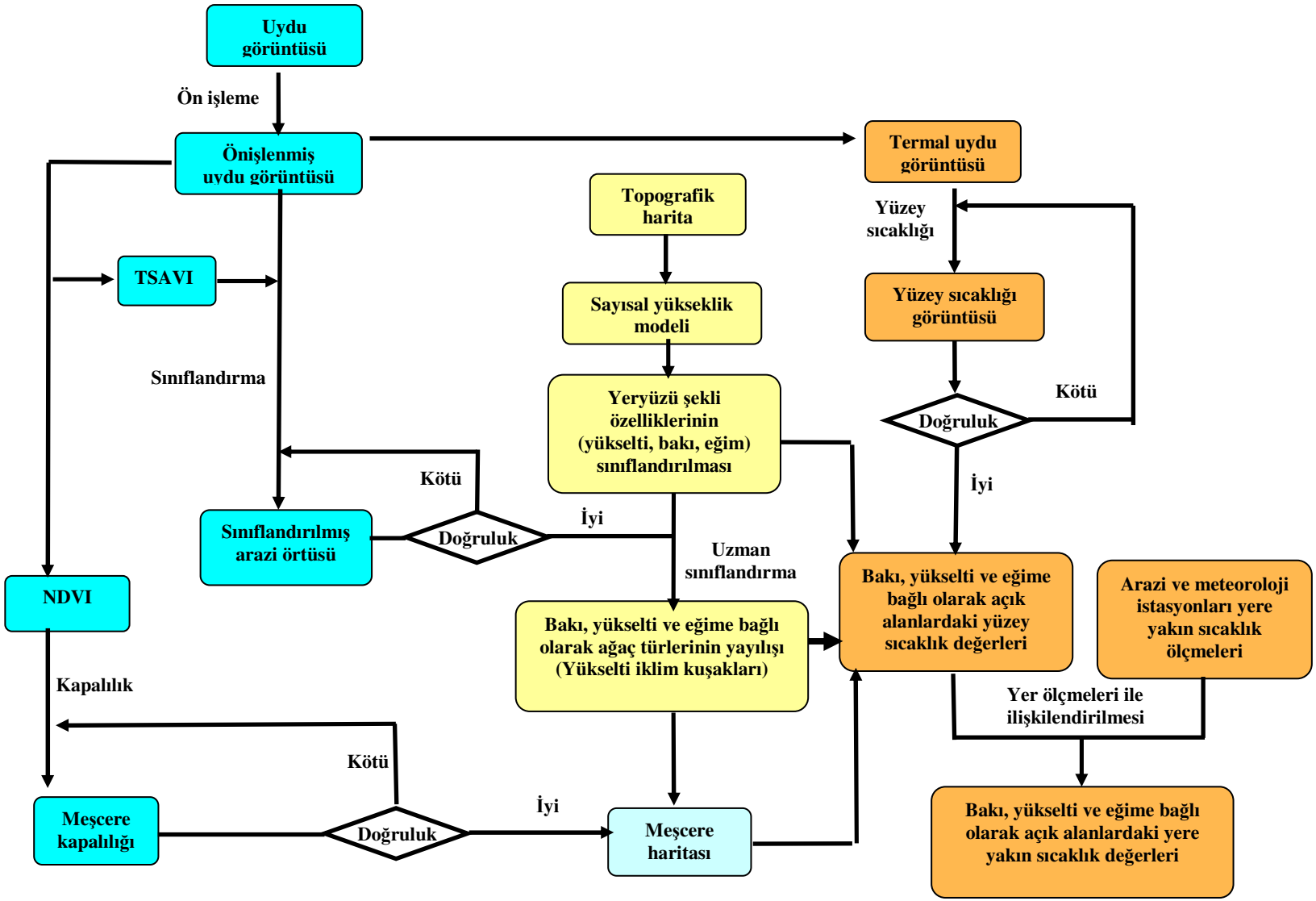
3.6.3. Uydu Görüntülerinden Belirlenen ve Arazide Ölçülen Sıcaklık Değerlerinin İlişkilendirilmesi

Bu bölümde Sündiken Dağlık Kütlesi'nde orman kuşaklarının oluşumu ile bakı ve yükseltiye bağlı olarak değişen sıcaklık değerleri arasındaki ilişkiler bir model oluşturularak belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 3.22). Bu amaçla açık alanlarda uydu verilerinden elde edilen yüzey sıcaklıkları, alçak arazideki yerleşim yerlerinde bulunan meteoroloji istasyonlarının ve dağlık arazideki yere yakın sıcaklık ölçmeleri ile birlikte test edilip bütünleştirilerek değerlendirilmiştir. Sınıflandırılmış uydu görüntüsü kullanılarak arazi özelliklerine göre (yükselti, bakı ve eğim) açık alanlara ait yüzeyden neşredilen sıcaklık değerleri hesaplanmıştır. Her 100 m'lik yükselti kuşağı için kuzey genel bakıda yalnız kuzey bakı (K) için, güney genel bakıda yalnız güney bakı (G) olmak üzere eğim grupları da dikkate alınarak yüzey sıcaklık değerleri hesaplanmıştır.

Yer ölçmelerinde iki ayrı yöntem uygulanmıştır. Birinci yöntem; alçak arazideki (yerleşim yerlerindeki) meteoroloji istasyonlarının (Eskişehir, Nallıhan, Alpu) aynı tarihli (04.07.2000) ölçmeleri ile uydu verilerini (Landsat ETM+) değerlendirmektir. İkinci yöntem; aynı tarihli (22.08.2006) yer ölçmeleri ile meteoroloji istasyonlarının (Eskişehir, Nallıhan) ölçmelerini ilişkilendirerek uydu verilerini (Terra ASTER) değerlendirmektir.

Yöntem I

Meteoroloji istasyonlarının ölçtüğü sıcaklık değerleri ile meteoroloji istasyonları çevresindeki açık alanlarda uydu görüntülerinden (Landsat ETM+) ölçülen sıcaklık değerleri arasındaki oran hesaplanmıştır. Örnek olarak Alpu meteoroloji istasyonunun 04.07.2000 günü saat 10^{30}'da ölçtüğü sıcaklık değeri 27.5 C^0'dir. Aynı gün ve saatte alınan uydu görüntüsünde Alpu çevresinde (aynı yükseltide) 78 açık alanda (pikselde) ölçülen yüzey sıcaklığı 50.3 C^0'dir (standart sapma 3.3). Bu iki sıcaklık değerinin birbirine oranı 0.547'dir.



Şekil 3.22: Uydu Görüntülerinden Yere Yakın Sıcaklığın Hesaplanmasına Yönelik Oluşturulan Modelin Akış Diyagramı

Elde edilen 0.547 oranına göre güney yamaçta her 100 m'de uydu görüntüsünden ölçülen sıcaklık değerleri yer sıcaklık değerlerine dönüştürülmüştür. Aynı oranlama Nallıhan'da 4.7.2000 günü saat 10^{30} için yapılmış ve 0.534 oranı bulunmuştur (27.5/51.5). Bu orana göre de kuzey bakıda her 100 m yükseltideki yer sıcaklıkları hesaplanmıştır. Bu yöntem 22.8.2006 günü saat 10^{50}'de alınan uydu görüntüleri için de uygulanmıştır (Şekil D.1).

Yöntem II

Yöntem I dağlık arazinin eteklerinde yer alan iki meteoroloji istasyonuna göre uygulanmış ve bir ucu açık bir hesaplama yöntemidir. Daha güvenli bir hesaplama yapabilmek için dağlık arazide kuzey ve güney bakılar da ve sırtta açık alanda sıcaklık ölçmeleri yapılmıştır.

Uydu görüntüsü (Terra ASTER) ile eş zamanlı olarak çalışma alanında farklı bakı ve yükseltide açık alanda ölçülen ve meteoroloji istasyonlarından elde edilen saat 10^{50}'ye ait hava sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Diğer yandan aynı noktalara ve yakın çevresine ait açık alandan neşredilen ortalama yüzey sıcaklık değerleri uydu görüntülerinden hesaplanmıştır. Elde edilen hava sıcaklık değerlerinin yüzeyden neşredilen (uydu görüntülerinden hesaplanan) sıcaklık değerlerine oranlanması ile noktaların bulunduğu yükseltiye ait açık alanlar için bir katsayı elde edilerek ilişkilendirilmiştir. Bu sıcaklık ölçmeleri ile uydu görüntüsünden elde edilen sıcaklık değerleri arasındaki oranlar ile her 100 m'lik kuşakta yer sıcaklığı hesaplanmıştır.

Örnek olarak; kuzey bakıda 22.8.2006 günü saat 11'de Nallıhan'da (600 m) ölçülen sıcaklık değeri 32.5 C^0, Nallıhan çevresindeki 48 açık alanda (pikselde) ölçülen dengelenmiş sıcaklık ortalaması 43.4 C^0, bu iki sıcaklık değeri arasındaki oran 0.749'dur. Daha yukarı da Kuyupınar'da (900 m) ölçülen sıcaklık değeri 31.0 C^0, çevredeki 72 alanda (pikselde) uydu görüntüsünden dengelenmiş sıcaklık ortalaması 41.9 C^0, bu iki sıcaklık değeri arasındaki oran 0.740'dır. İki ölçme istasyonu arasında oran farkı 0.009 (0.749–0.740), yükselti farkı 300 m'dir. Bu durumda her 100 m yükseltide oranın 0.003 kadar azalması gerekmektedir. Azalan oran paylarına göre, uydudan elde edilen sıcaklık değerlerini yer sıcaklığına dönüştürme oranları 600 m'de 0.749, 700 m'de 0.746, 800 m'de 0.743 ve 900 m'de 0.740 olacaktır. Bu durumda 700

m'de açık alan yüzey sıcaklığı 31.5 C^0 (uydudan ölçülen sıcaklık 42.3 x 0.746 C^0), 800 m'de açık alan yüzey sıcaklığı 31.3 C^0 (uydudan ölçülen sıcaklık 42.1x 0.743) olarak hesaplanmaktadır (Şekil D.2).

4. BULGULAR

4.1. Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Bulgular ile Arazi Özelliklerinin Belirlenmesi ve Sınıflandırılması

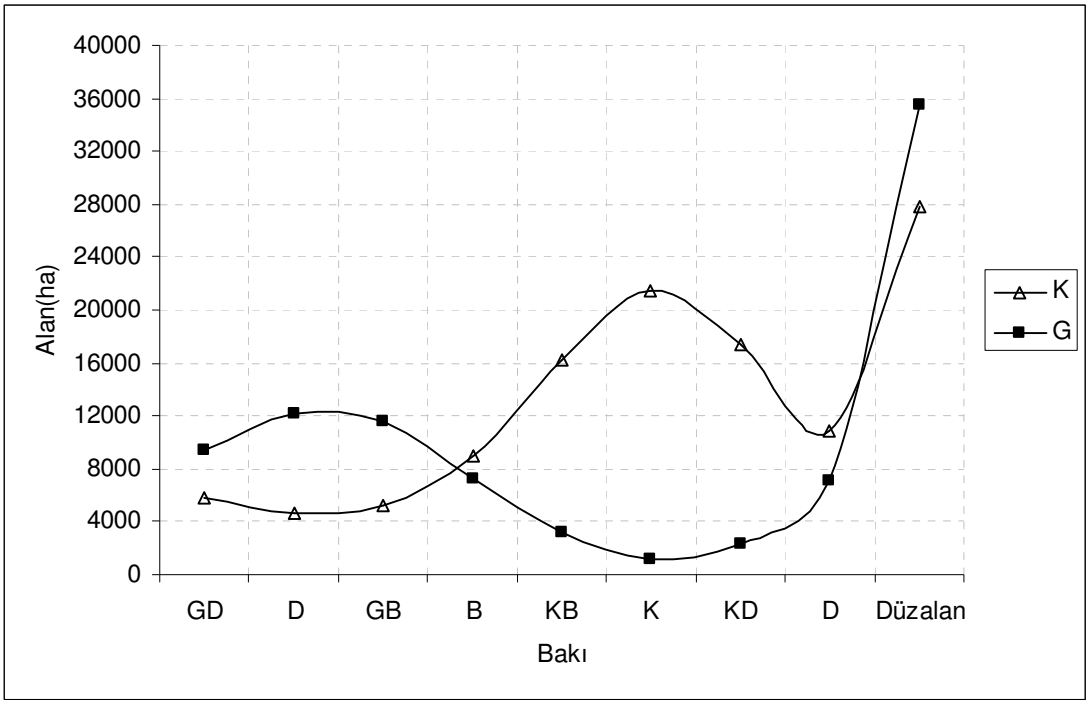
4.1.1. Arazinin; Bakı, Yükselti ve Eğim Gruplarına Göre Ayırt Edilmesi

4.1.1.1. Bakı Gruplarına Göre Elde Edilen Bulgular

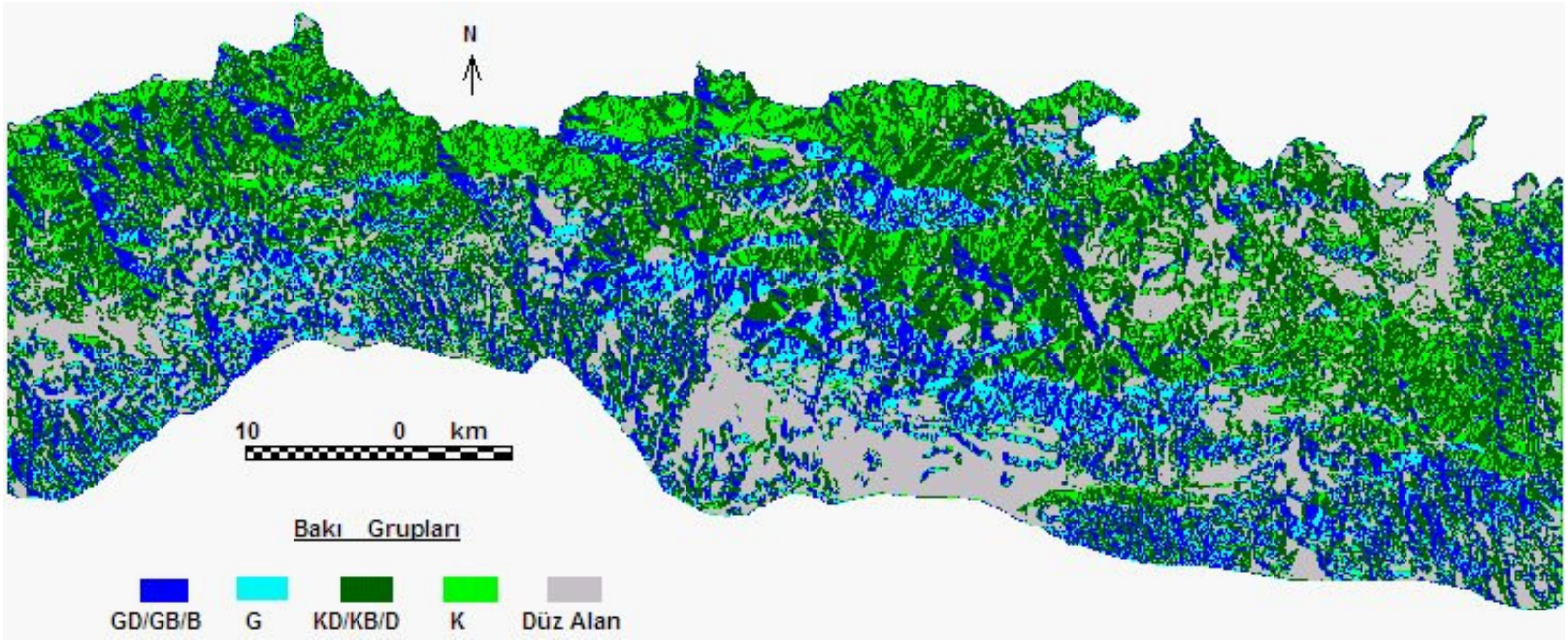
Sündiken arazisi kuzey genel bakıda Sakarya Nehri akış havzası ile güney genel bakıda Porsuk Çayı akış havzası olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Arazinin Sakarya Nehri'ne bakan kuzey bölümü kuzeybatı ve kuzeydoğu yönünde uzanan Gümele ve Doyma dereleri iki derin vadi şeklinde kütlenin kuzeyini yarmaktadır. Dolayısıyla kuzey genel bakıdaki bu derelerin vadilerinde kuzey ve güney alt bakıları oluşmuştur. Ancak dereler kuzeye doğru aktığı için bu vadilerdeki bütün vadiler kuzey genel bakı adı altında toplanmıştır (Tablo 4.1). Güney genel bakı dere vadileriyle yarılmış arazide kuzey bakılar ile güney bakılar oluşmuş, bu sebeple güney genel bakıda alt bakı gruplarına ayırt edilmiştir (Tablo 4.1). Kuzey genel bakıdaki arazi 118 325 ha ile toplam alanın % 56.9'luk kısmına sahiptir. Bu alanın 65 913 ha'ını kuzey ve kuzeye komşu bakılar (kuzeybatı, kuzey doğu ve doğu) oluşturmaktadır. Kuzey genel bakıdaki güney ve güneye komşu (güneydoğu, güneybatı ve batı) bakıların toplamı 24 663 ha'dır. Güney genel bakıdaki arazi 89 685 ha (% 43.1) olup bunun 13 665 ha'ı kuzey ve kuzeye komşu bakıları, 40 096 ha'ı ise güney ve güneye komşu bakılar bulunmaktadır. Düz alanlar kuzey genel bakıda 27 779 ha (% 23.5), güney genel bakıda 35 524 ha (% 39.6) büyüklüğündedir (Tablo 4.1). Sündiken Dağı Kütlesi'nde kuzey ve güney genel bakılardaki arazinin alan olarak ve oran olarak bakı grup dağılımı daha kolay kavranabilmesi için Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne Akış Havzası (Kuzey Genel Bakı) ile Porsuk Çayı'na Akış Havzası (Güney Genel Bakı) Arazisinin Bakıya göre Dağılımı

		Kuzey Genel Bakı			**Güney Genel Bakı**		
	Bakı	Alan (ha)	Kuzey Genel Bakıya Oranı (%)	Tüm Alana Oranı (%)	Alan (ha)	Güney Genel Bakıya Oranı (%)	Tüm Alana Oranı (%)
Kuzey Bakı Grubu	KB	16240	13.7	7.8	3170	3.5	1.5
	K	21441	18.1	10.3	1188	1.3	0.6
	KD	17383	14.7	8.4	2272	2.5	1.1
	D	10849	9.2	5.2	7035	7.8	3.4
	Toplam	**65913**	**55.7**	**31.7**	**13665**	**15.1**	**6.6**
Güney Bakı Grubu	GD	5821	4.9	2.8	9468	10.6	4.6
	G	4676	4	2.2	12108	13.5	5.8
	GB	5178	4.4	2.5	11666	13	5.6
	B	8958	7.6	4.3	7254	8.1	3.5
	Toplam	**24633**	**20.9**	**11.8**	**40496**	**45.2**	**19.5**
	Düz Alan	27779	23.5	13.4	35524	39.6	17.1
Genel toplam		**118325**	**100**	**56.9**	**89685**	**100**	**43.1**



Şekil 4.1: Sündiken Dağlık Kütlesinde Sakarya Nehrine Akış Havzası (Kuzey Genel Bakı) ile Porsuk Nehrine Akış Havzası (Güney Genel Bakı) Arazisinin Bakıya Göre Dağılımı



Şekil 4.2: Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne Akış Havzası (Kuzey Genel Bakı) ile Porsuk Çayı'na Akış Havzası (Güney Genel Bakı) Arazisinin Bakı Görüntüsü

4.1.1.2. Eğim Gruplarına göre Elde Edilen Bulgular

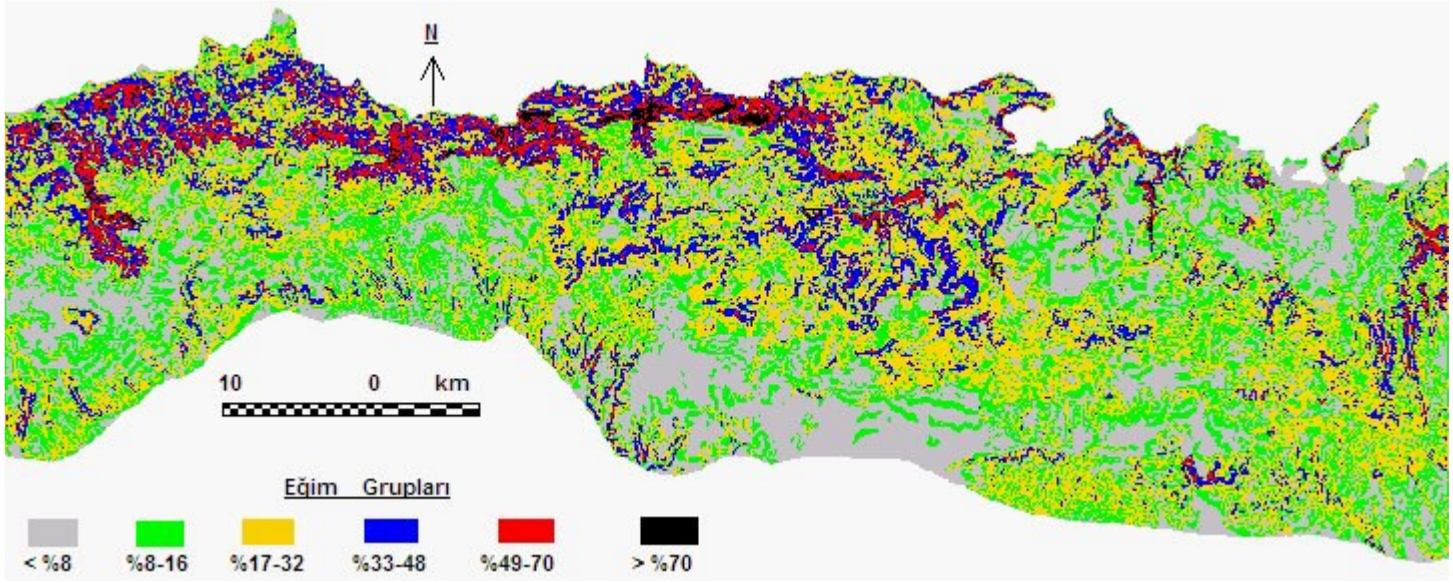
Sündiken Kütlesi'nin eğim sınıf dağılımı incelendiğinde arazinin % 30.5 'ini % 8'den daha az eğimli, % 30.6'sı ise % 17–32 arasında olduğu görülmektedir. Ancak eğimli arazi (% 17–32) tüm alana oranı incelendiğinde kuzey bakı grubunda % 18.9, güney bakı grubunda % 11.7 oranında olduğu anlaşılmaktadır. Bu oranlar arazinin kuzey bakısının güney bakıya göre daha sarp olduğunu göstermektedir (Tablo 4.2 ve Şekil A.1). Uydu görüntülerinin sayısal arazi modeli Sündiken Kütlesi'nin bu durumunu göstermektedir. Daha dik olan eğim gruplarında da % 33–48, % 49–70 gibi kuzey genel bakı güney genel bakıdan daha sarptır (Tablo 4.2 ve Şekil 4.3).

Tablo 4.2: Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne Akış Havzası (Kuzey Genel Bakı) ile Porsuk Çayı'na Akış Havzası (Güney Genel Bakı) Arazisinin Eğim Gruplarına göre Dağılımı

	Kuzey Genel Bakı			**Güney Genel Bakı**			**Toplam**	
Eğim	Alan (ha)	Kuzey Genel Bakıya Oranı (%)	Tüm Alana Oranı (%)	Alan (ha)	Güney Genel Bakıya Oranı (%)	Tüm Alana Oranı (%)	Alan (ha)	Oran (%)
<%8	27779	23.5	13.4	35524	39.6	17.1	63303	30.5
%8–16	20641	17.4	9.9	23949	26.7	11.5	44590	21.4
%17–32	39348	33.3	18.9	24264	27.1	11.7	63612	30.6
%33–48	20726	17.5	10.0	5393	6.0	2.6	26119	12.6
%49–70	8052	6.8	3.9	485	0.5	0.2	8537	4.1
>%70	1779	1.5	0.9	70	0.1	0.0	1849	0.9
Toplam	**118325**	**100.0**	**56.9**	**89685**	**100.0**	**43.1**	**208010**	**100.0**

4.1.1.3. Yükselti Gruplarına göre Elde Edilen Bulgular

Sündiken Kütlesi yükselti bakımından incelendiğinde kuzey genel bakıda yükselti 200–1700 m arasında değişirken, güney genel bakıda 800–1700 m arasında değişmektedir. Kütlenin kuzeyi 800 m yükseltisine kadar 39 619 ha iken 800–1700 m yükseltideki alan 78 706 ha büyüklüğündedir (Tablo 4.3). Güney genel bakıda ise aynı yükseltideki alan 89 685 ha'a ulaşmaktadır. Bu da Sündiken Kütlesi'nin kuzey ve güney genel bakı olarak asimetrik bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla kuzey genel bakı daha dik eğimli olup daha az iz düşüme ve buna bağlı olarak daha az alana sahiptir.



Şekil 4.3: Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne Akış Havzası (Kuzey Genel Bakı) ile Porsuk Çayı'na Akış Havzası (Güney Genel Bakı) Arazisinin Eğim Görüntüsü

Tablo 4.3: Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne Akış Havzası (Kuzey Genel Bakı) ile Porsuk Çayı'na Akış Havzası (Güney Genel Bakı) Arazisinin 100 m'lik Yükselti Kuşaklarına göre Dağılımı

Yükselti Kuşakları (m)		**Kuzey Genel Bakı**			**Güney Genel Bakı**		
Alt Sınır	Üst Sınır	Alan (ha)	Kuzey Genel Bakıya Oranı (%)	Tüm Alana Oranı (%)	Alan (ha)	Güney Genel Bakıya Oranı (%)	Tüm Alana Oranı (%)
200	300	1273	1.1	0.6	-	-	-
300	400	2315	2.0	1.1	-	-	-
400	500	5596	4.7	2.7	-	-	-
500	600	10647	9.0	5.1	-	-	-
600	700	10762	9.1	5.2	-	-	-
700	800	9026	7.6	4.3	-	-	-
800	900	7517	6.4	3.6	2309	3.3	1.1
900	1000	8523	7.2	4.1	14592	20.9	7.0
1000	1100	9853	8.3	4.7	20515	29.4	9.9
1100	1200	13016	11.0	6.3	19268	27.7	9.3
1200	1300	17319	14.6	8.3	14641	21.0	7.0
1300	1400	10493	8.9	5.0	8654	12.4	4.2
1400	1500	6165	5.2	3.0	4680	6.7	2.2
1500	1600	3713	3.1	1.8	3679	5.3	1.8
1600	1700	1854	1.6	0.9	1308	1.9	0.6
1700	1800	253	0.2	0.1	39	0.1	0.0
Toplam		**118325**	**100.0**	**56.9**	**89685**	**100.0**	**43.1**

4.1.1.4. Bakı/Yükselti/Eğim Gruplarına göre Elde Edilen Bulgular

Araştırma sahasının 100 m'lik yükselti kuşakları, bakı ve eğim gruplarına göre arazi dağılımı Tablo 4.4'de alan olarak ve Tablo 4.5'de oran olarak gösterilmiştir. Burada kuzey genel bakıda kuzey bakı grubu değerlendirilmiş, güney bakı grubu değerlendirme dışı bırakılmıştır. Aynı şekilde güney genel bakıda güney bakı grubu değerlendirilmiş, kuzey bakı grubu değerlendirme dışı bırakılmıştır. Bunun sebebi ormanı kuran ağaç ve çalı türlerinin yayılışında bakıya, eğime ve yükseltiye bağlı olarak oluşan farkların daha iyi kavranabilmesidir. Çünkü kuzey genel bakıda derin vadilerin güney bakılı yamaçları asıl kütlenin siperinde ve gölgesinde kaldığı için gerçek güney bakı niteliği göstermemektedir. Aynı şekilde güney genel bakıdaki derelerin vadilerindeki kuzey bakı grubundaki yamaçlar da Sündiken dağlık kütlesinin siperinde olup kuzey etkisini tam alamadıkları gibi, Eskişehir ovasının karasal karakterinin etkisi altında bulunmaktadır.

Tablo 4.4: Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne Akış Havzasında Kuzey Bakı Grubu ile Porsuk Çayı'na Akış Havzasında Güney Bakı Grubu Arazisinin 100 m'lik Yükselti Kuşaklarında Alt Bakılara ve Eğim Sınıflarına Alan Dağılımı

	Sakarya Nehrine Akış Havzasında Kuzey Bakı Grubu														Porsuk Çayına Akış Havzasında Güney Bakı Grubu										
Bakı Eğim	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200	1200-1300	1300-1400	1400-1500	1500-1600	1600-1700	**Toplam (ha)**	1600-1700	1500-1600	1400-1500	1300-1400	1200-1300	1100-1200	1000-1100	900-1000	**Toplam (ha)**	Bakı Eğim
KB	68	234	341	262	283	299	256	383	644	546	414	196	117	**4045**	85	176	327	608	949	1596	1903	1230	**6875**	B
K	71	148	223	214	168	152	120	171	377	420	184	77	36	**2360**	23	125	95	198	279	528	628	374	**2251**	GB
KD	148	209	314	301	289	281	328	344	469	298	129	48	20	**3177**	43	124	82	122	160	225	332	94	**1184**	G
D	238	444	632	630	676	707	689	815	895	530	384	229	119	**6987**	90	337	307	526	503	443	621	317	**3143**	GD
Toplam	**526**	**1034**	**1510**	**1406**	**1416**	**1439**	**1392**	**1712**	**2385**	**1794**	**1111**	**550**	**293**	**16568**	**242**	**762**	**811**	**1455**	**1892**	**2792**	**3484**	**2015**	**13453**	**Toplam**
>%70	37	48	33	48	57	42	35	26	14	2	0	0	0	**343**	0	0	1	3	8	12	11	0	**36**	>%70
%49-70	113	174	207	225	267	250	165	67	18	14	20	22	9	**1551**	1	1	6	16	4	32	55	56	**171**	%49-70
%33-48	188	351	415	382	406	421	392	294	169	164	281	177	66	**3704**	16	70	162	115	116	306	532	401	**1717**	%33-48
%17-32	150	339	550	482	485	468	563	865	1142	1009	619	246	116	**7034**	130	422	465	822	759	1244	1606	896	**6343**	%17-32
%8-16	38	123	304	270	202	258	238	460	1041	604	191	106	76	**3912**	95	270	177	500	1006	1197	1280	662	**5186**	%8-16
duzluk	229	492	1266	1002	742	1562	1573	3253	4419	2581	859	492	639	**19110**	557	651	1129	3016	5972	8145	9646	5522	**34639**	duzluk
Toplam	**755**	**1527**	**2776**	**2408**	**2158**	**3001**	**2966**	**4965**	**6804**	**4375**	**1970**	**1042**	**907**	**35653**	**799**	**1413**	**1940**	**4471**	**7864**	**10936**	**13130**	**7538**	**48092**	**Toplam**

Tablo 4.5: Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Sakarya Nehri'ne Akış Havzasında Kuzey Bakı Grubu ile Porsuk Çayı'na Akış Havzasında Güney Bakı Grubu Arazisinin 100 m'lik Yükselti Kuşaklarında Alt Bakılara ve Eğim Sınıflarına Yüzde Dağılımı

	Sakarya Nehrine Akış Havzasında Kuzey Bakı Grubu (%)													Porsuk Çayına Akış Havzasında Güney Bakı Grubu (%)								
	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200	1200-1300	1300-1400	1400-1500	1500-1600	1600-1700	1600-1700	1500-1600	1400-1500	1300-1400	1200-1300	1100-1200	1000-1100	900-1000	
KB	13	23	23	19	20	21	18	22	27	30	37	36	40	35	23	40	42	50	57	55	61	B
K	13	14	15	15	12	11	9	10	16	23	17	14	12	10	16	12	14	15	19	18	19	GB
KD	28	20	21	21	20	20	24	20	20	17	12	9	7	18	16	10	8	8	8	10	5	G
D	45	43	42	45	48	49	49	48	38	30	35	42	41	37	44	38	36	27	16	18	16	GD
Toplam	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
>%70	5	3	1	2	3	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	>%70
%49-70	15	11	7	9	12	8	6	1	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	%49-70
%33-48	25	23	15	16	19	14	13	6	2	4	14	17	7	2	5	8	3	1	3	4	5	%33-48
%17-32	20	22	20	20	22	16	19	17	17	23	31	24	13	16	30	24	18	10	11	12	12	%17-32
%8-16	5	8	11	11	9	9	8	9	15	14	10	10	8	12	19	9	11	13	11	10	9	%8-16
duzluk	30	32	46	42	34	52	53	66	65	59	44	47	70	70	46	58	67	76	74	73	73	duzluk
Toplam	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	Toplam

4.1.2. Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Orman Alanlarının Kapalılık Değerlerine ait Bulgular

Çalışma alanı için bitki örtüsünün kapalılık haritasının oluşturulmasında arazi örtüsünde yer alan orman alanlarına ait her sınıf için ayrı ayrı $NDVI_{min}$ ve $NDVI_{max}$ değerleri arazide elde edilen örnek alanlara ait kapalılık değerleri kullanılarak ampirik olarak elde edilmiştir (Tablo 4.6).

Bu tablo incelendiğinde $NDVI_{max}$ ve $NDVI_{min}$ değerleri orman türlerine (bozuk, ibreli, yapraklı ve karışık orman alanları) göre değişmekte olduğu görülmektedir. Yapraklı türler (Meşe ormanı) için tam kapalı ormanı ifade eden $NDVI_{max}$ değerleri ibreli türlere (Çam ormanı) göre daha yüksek olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni yapraklı ormanların yapısı itibariyle NDVI bitki indekslerinin oluşturulmasında kullanılan kızıl ötesi bant değerleri ibrelilere göre daha yüksek iken, kırmızı bantta tam tersine daha düşüktür. Meşe ağacı geniş yapraklı bir ağaç türü olması itibariyle yaprakların kapladığı yüzey alanı daha büyük olup ibrelilere göre klorofile duyarlı olan yakın kızıl ötesi bantta daha çok yansımaya sebep olmakta, kırmızı bantta ise yapraklarda bulunan su yutulmaya sebep olmakta ve yansıma daha düşük olmaktadır. Dolayısıyla elde edilen $NDVI_{max}$ ve $NDVI_{min}$ değerleri orman türlerinin bu biyofiziksel davranışını doğrulamaktadır. Dolayısıyla her orman türü için farklı kapalılık haritaları oluşturulması elde edilen kapalılık değerlerinin daha doğru olarak ölçülmesini sağlamıştır. Oluşturulan kapalılık görüntüsü arazide elde edilen yer ölçmeleri ve meşcere haritaları ile karşılaştırılmış ve sonuç olarak % 90 doğruluk elde edilmiştir (Tablo 4.7).

Tablo 4.6: Orman Alanlarına ait Her Sınıf için Belirlenen $NDVI_{min}$ ve $NDVI_{max}$ Değerleri

Uydu Görüntüsü	Sınıf	Bozuk Orman	İbreli Orman	Yapraklı Orman	İbreli ve Yapraklı Karışık Orman
Landsat ETM+	$NDVI_{min}$	0.100	0.100	0.100	0.100
	$NDVI_{max}$	0.920	0.800	1.000	0.920
Terra ASTER	$NDVI_{min}$	0.100	0.100	0.100	0.100
	$NDVI_{max}$	0.850	0.580	0.800	0.700

Tablo 4.7: Landsat–7 ETM+ Uydu Görüntüsünden Oluşturulan Orman Kapalılık Görüntüsüne ait Doğruluk Tablosu

Nokta No	Arazi Sınıfı	Kapalılık		D/H	Nokta No	Arazi Sınıfı	Kapalılık		D/H
		Yer Ölçmesi	Uydu Görüntüsü	+/–			Yer Ölçmesi	Uydu Görüntüsü	+/–
1	İbreli orman	3	45	+	35	İbreli orman	5	100	+
2	İbreli orman	4	75	+	36	İbreli orman	5	86	+
3	İbreli orman	5	100	+	37	İbreli orman	5	99	+
4	İbreli orman	5	100	+	38	İbreli orman	5	92	+
5	İbreli orman	5	100	+	39	İbreli orman	5	89	+
6	İbreli orman	5	100	+	40	İbreli orman	5	98	+
7	İbreli orman	5	85	+	41	İbreli orman	5	95	+
8	İbreli orman	5	86	+	42	İbreli orman	5	81	+
9	İbreli orman	3	35	–	43	Orman toprağı	0	0	+
10	İbreli orman	5	95	+	44	İbreli orman	5	93	+
11	İbreli orman	5	82	+	45	İbreli orman	5	83	+
12	Açık alan	0	0	+	46	İbreli orman	5	93	+
13	Orman toprağı	0	0	+	47	İbreli orman	5	87	+
14	İbreli orman	3	55	+	48	İbreli orman	5	91	+
15	İbreli orman	3	53	+	49	İbreli orman	5	96	+
16	Bozuk orman	1	10	+	50	İbreli orman	5	91	+
17	Bozuk orman	2	33	+	51	İbreli orman	5	100	+
18	İbreli orman	4	73	+	52	İbreli orman	5	90	+
19	İbreli orman	4	80	+	53	İbreli orman	5	82	+
20	İbreli orman	4	69	+	54	İbreli orman	5	84	+
21	İbreli orman	5	100	+	55	İbreli orman	5	100	+
22	İbreli orman	5	100	+	56	İbreli orman	5	75	–
23	İbreli orman	5	89	+	57	İbreli orman	5	85	+
24	İbreli orman	4	86	–	58	İbreli orman	5	77	–
25	İbreli orman	4	73	+	59	Bozuk orman	1	15	+
26	İbreli orman	4	68	+	60	İbreli orman	4	67	+
27	İbreli orman	3	37	–	61	İbreli orman	5	98	+
28	İbreli orman	3	56	+	62	İbreli orman	5	78	–
29	İbreli orman	3	52	+	63	İbreli orman	2	24	+
30	İbreli orman	1	10	+	64	Bozuk orman	0	0	+
31	Bozuk orman	2	22	+	65	İbreli orman	4	66	+
32	Bozuk orman	2	10	–	66	İbreli orman	4	69	+
33	Bozuk orman	5	90	+	67	İbreli orman	5	91	+
34	İbreli orman	5	92	+	68	İbreli orman	4	71	+
Doğru nokta sayısı (+)			**61**		**Hatalı nokta sayısı (–)**			**7**	
Genel Doğruluk = 61/68=% 90									

4.1.3. Uydu Görüntülerinden Meşcere Tiplerinin Ayırt Edilmesine ait Elde Edilen Bulgular

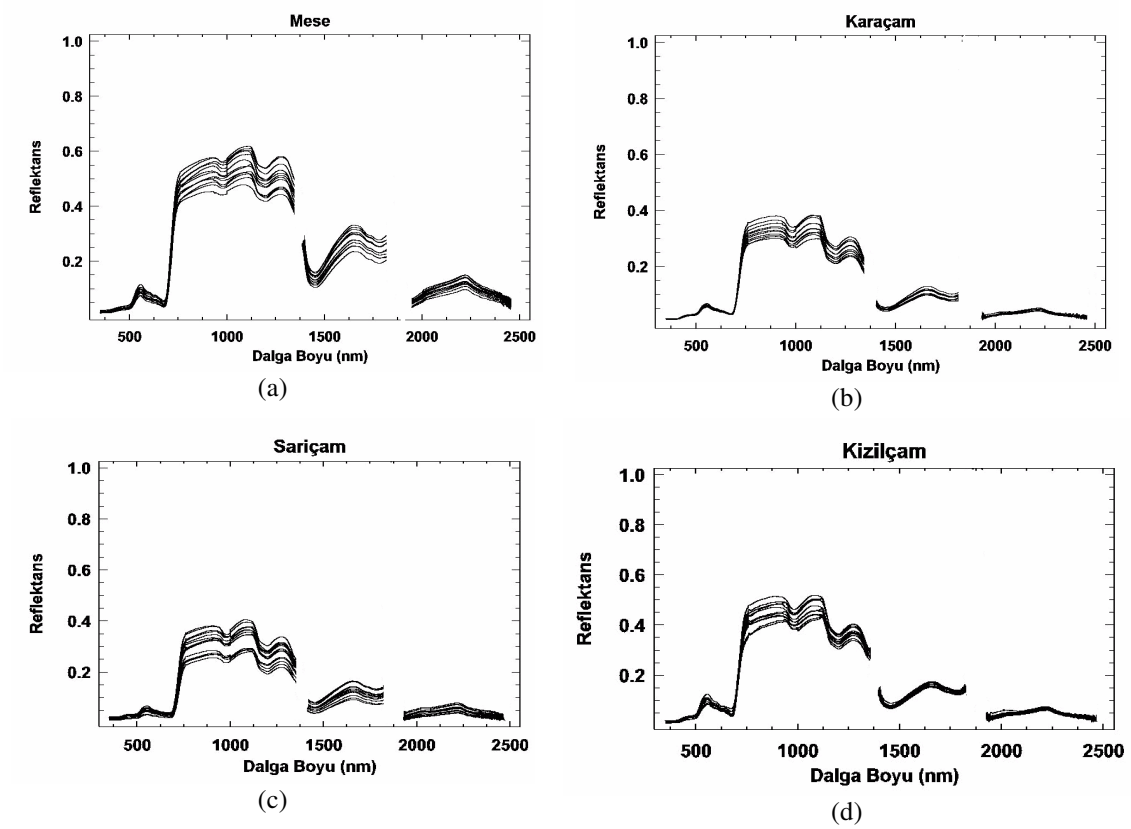
4.1.3.1. Spektroradyometre Ölçmeleri ile Elde Edilen Bulgular

Arazide örnek alanlara (Meşe, Karaçam, Sarıçam, Kızılçam, su, anız tarlası ve mera) ait elde edilen spektral ölçümlerin değerlendirilmesi iki amaca yönelik yapılmıştır. İlki, aynı noktalara ait Hyperion görüntüsünden elde edilen spektral verilerle karşılaştırılması, ikincisi Meşe ve Çam (Karaçam, Sarıçam, Kızılçam) orman türlerinin spektral karakteristik yapısının kendi içinde ayırt edilebilirliğinin araştırılmasıdır.

Örnek alanlara ait Hyperion görüntüsünden ve spektroradyometre ölçmelerinden elde edilen spektral eğriler karşılaştırıldığında veriler arasında iyi bir uyum olduğu görülmekte olup, elde edilen bu sonuç uydu görüntüsüne getirilen atmosferik düzeltmenin ve arazide yapılan spektral ölçmelerin doğru olduğunu göstermektedir (Şekil A.13 ve Şekil A.15). Atmosferik yutulma ve kalibrasyon sebebiyle Hyperion verisi tüm spektral bantları içermemektedir. Aynı şekilde atmosferik yutulma etkisinin spektroradyometre ile elde edilen yer ölçmelerine ait spektrumların 1400 nm ve 1900 nm dalga boyu bölgelerinde gürültü oluşmasına neden olduğu görülmektedir. Örnek alanlara ait bir piksele karşılık gelen spektrumun oluşturulması sırasında tüm ölçmelerin ortalaması alındığı için 1400 nm dalga boyu civarında oluşan atmosferik etkinin kısmen giderildiği, fakat çok sert piklere sahip olan 1900 nm dalga boyu bölgesindeki gürültü etkisinin devam ettiği görülmektedir (Şekil 4.4).

Cisimlerin spektral imzalarında yapılarında bulunan elementler ve bileşikler sebebiyle farklı dalga boylarında bir takım yansıma ve yutulmaya bağlı olarak oluşan dip ve pik hareketlerinden faydalanılarak nesneler arasındaki farklılıklar ve bunların spektral kimlikleri belirlenebilmektedir. Aynı türdeki cisimler benzer spektral imza taşımaktadırlar. Böyle durumlarda yutulma bölgelerinde oluşan piklerin dalga boylarına, derinliklerine, genişliklerine bakılarak benzer nesneler farklı spektral davranışlarına göre ayırt edilebilmektedir. Çalışmada Sündiken Kütlesi'nde yükseltiye bağlı olarak oluşan meşcere tiplerinin (Meşe, Karaçam, Sarıçam ve Kızılçam) ayırt edilebilirlikleri arazide spektroradyometre ile ölçülen spektral veriler ile incelenmiştir. Çalışmada Çam ve Meşe türlerine ait spektral eğrilerde olduğu gibi (Şekil 4.4) bitkilerin spektral eğrilerine

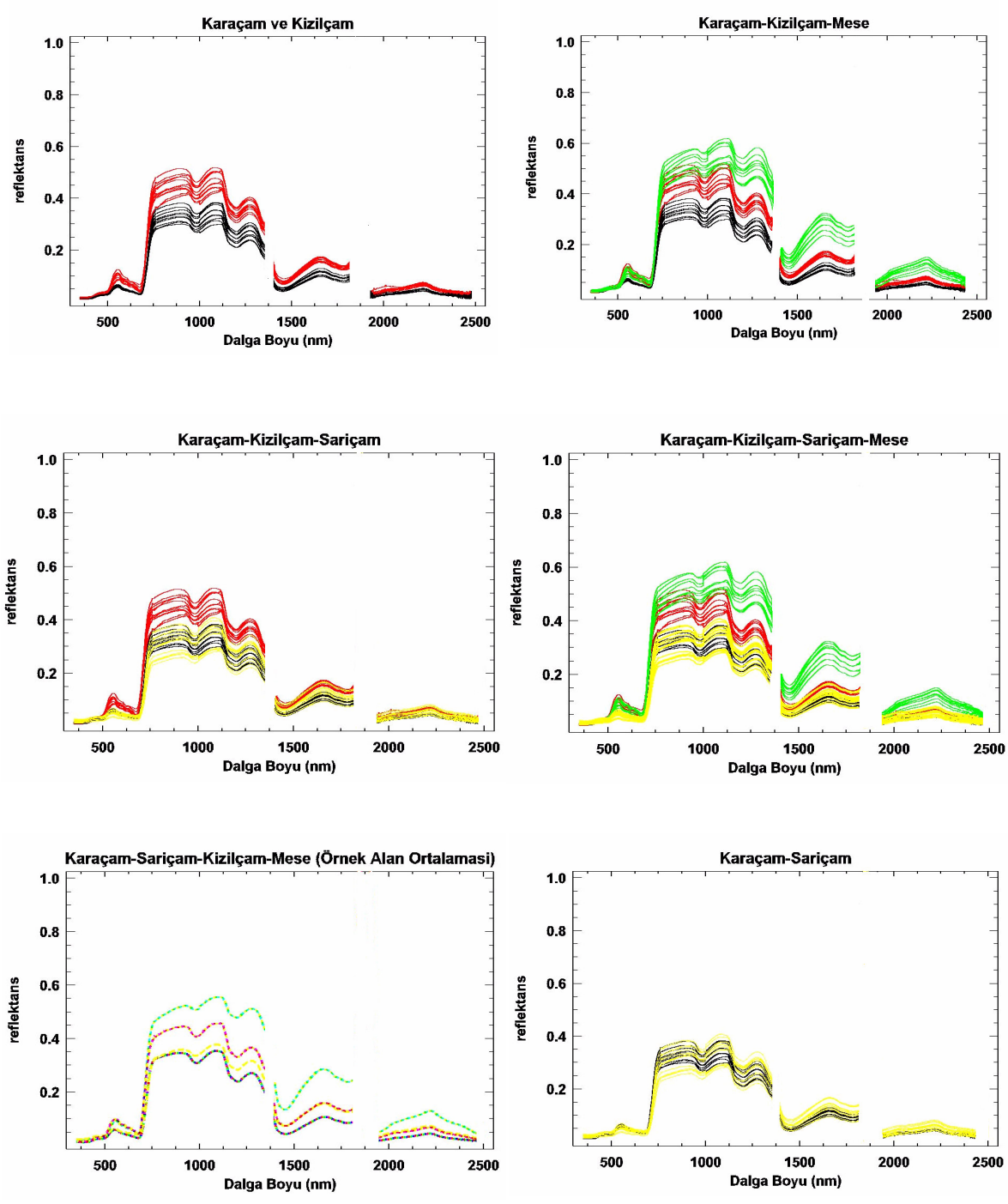
baktığımızda genel olarak 970 nm, 1200 nm, 1400nm ve 1940 nm dalga boyu merkezli bölgelerde bitkilerin yapraklarında bulunan sudan ve karbondioksitten kaynaklanan yutulmaların sebep olduğu dip hareketleri görülmektedir (Curan, 1992).



Şekil 4.4: Arazide Spektroradyometre Ölçmelerinden Meşe (a), Karaçam (b), Sarıçam (c) ve Kızılçam (d) Orman Türlerine ait Elde Edilen Spektral Eğriler

Çalışmada orman türlerine ait elde edilen spektral eğrilere baktığımızda 500–600 nm yeşil bant ve 600–700 nm kırmızı bant aralığında oluşan pik ve dip hareketlerinde Karaçam ile Sarıçam, Kızılçam ile Meşe türlerinin birbirine benzer oldukları görülmektedir. Fakat yakın kızılötesi spektral bölgesi olan 700–1200 nm dalga boyu aralığını incelediğimizde Karaçam ile Sarıçam türleri 0.25 ile 0.35 yansıma değerleri arasında birbirine benzer spektral davranışa sahip iken Kızılçam 0.35 ile 0.50 ve Meşe ise 0.50 ile 0.60 arasında yansıma değerleri sahip oldukları görülmektedir (Şekil 4.5). Dolayısıyla geniş bantta sahip uydu verilerinden de bilindiği gibi yakın kızılötesi dalga boyunda yapraklı orman türü olan Meşe'nin ibreli orman türü olan Karaçam, Sarıçam ve Kızılçam orman türlerinden daha çok yansıma verdiği görülmektedir. Fakat geniş bantlı spektral verilerden farklı olarak spektroskopi ile elde edilen hiperspektral veriye ait

spektral eğride Kızılçam orman türünün yakın kızılötesi bölgede diğer Karaçam ve Sarıçam orman türlerinden farklı olarak daha fazla yansıma verdiği görülmektedir. Dolayısıyla hiperspektral veri kullanılarak Kızılçam türünün diğer Karaçam ve Sarıçam ibrelilerinden ayırt edilebilmesi mümkündür (Şekil 4.5).



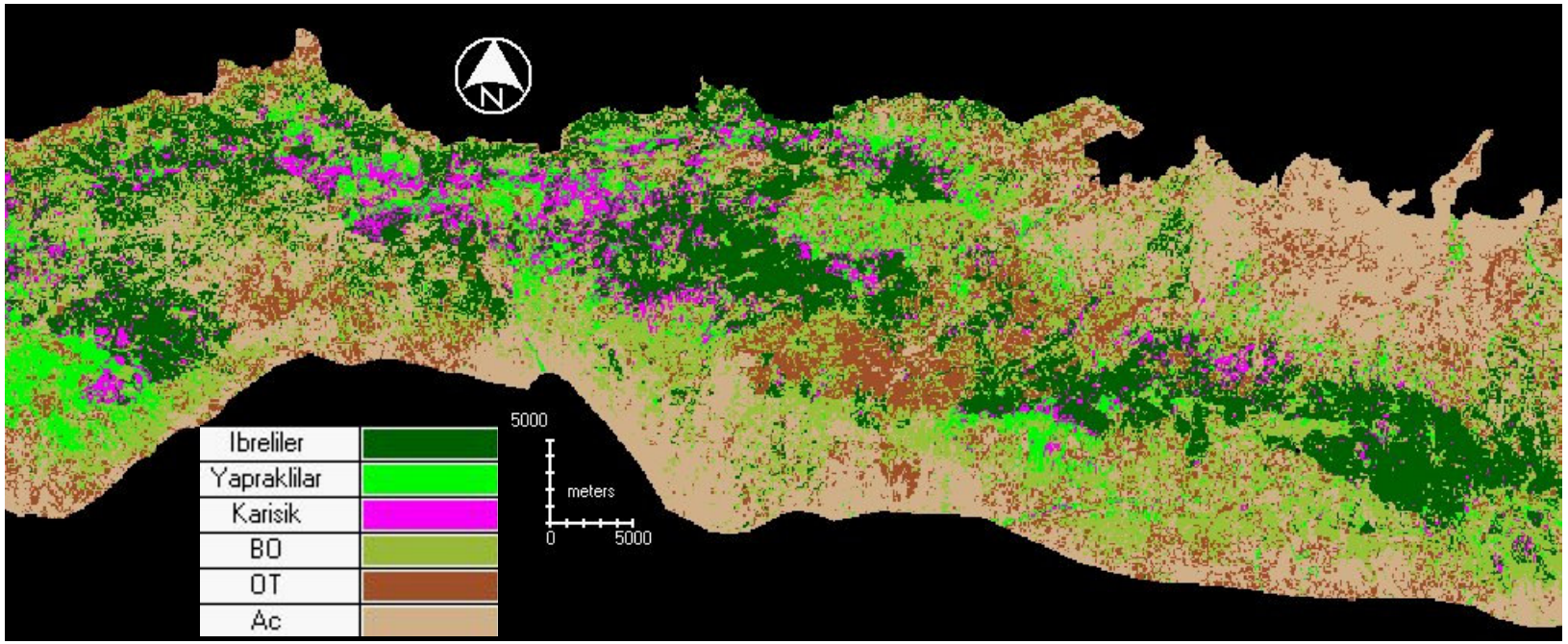
Şekil 4.5: Orman Türlerine ait Spektral Ölçmelerin Karşılaştırılması

4.1.3.2. Çok Bantlı Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılmasından Elde Edilen Bulgular

Uydu görüntülerinin ve bitki indekslerinin bulunduğu veri setine ait korelasyon matrisi incelendiğinde görünür bölgeye ait B1, B2 ve B3 bantları kendi aralarında % 97 üzerinde yüksek korelasyona sahip olduğu görülmüştür. Aynı şekilde orta kızıl ötesinde bulunan B5 ve B7 kanalları arasında % 97 oranında yüksek korelasyon bulunmaktadır. Uydu görüntüsünden oluşturulan NDVI ve TSAVI bitki indeksleri arasında % 97 oranında yüksek korelasyon bulunmaktadır (Tablo B.1). Dolayısıyla aralarında yüksek korelasyon bulunan bu kanallar birbirine çok yakın veriler içermektedir. Diğer yandan yakın kızılötesinde bulunan B4 verisi diğer tüm kanallarla düşük korelasyona sahip olup sınıflandırma veri setinde bulunması gereken en önemli veri olduğu açıkça görülmektedir.

Çalışma alanımıza ait su sınıfı bulunmadığı ve diğer görünür bantlarla yüksek korelasyona sahip olduğu için B1 verisi sınıflandırmada değerlendirme dışı bırakılmıştır. Aralarında yüksek korelasyon bulunan bitki indeksleri arasından toprak etkisini azaltan ve diğer bantlarla NDVI bitki indeksine göre daha düşük korelasyona sahip olan TSAVI verisinin sınıflandırma işleminde kullanılmasına karar verilmiştir. Korelasyon değerlerine göre yapılan bantların ön elenmesinden sonra geriye kalan yüksek korelayona sahip görünür bölgedeki B2 ile B3 ve orta kızıl ötesinde bulunan B5 ile B7 verileri arasındaki bant seçimi OIF tekniğine göre değerlendirilmiştir. Buna göre en iyi (yüksek) OIF değerine sahip B3-B4-B7 bantları seçilmiş ve dolayısıyla sınıflandırma için B3-B4-B7-TSAVI veri seti kullanılmasına karar verilmiştir (Tablo B.2 ve Tablo B.3).

Sınıflandırmada kullanılacak eğitim sınıflarının ayırt edilebilirliği Transformed Divergence (TD) Yöntemine göre incelenmiştir (Tablo B.4). Hazırlanan uydu veri setine aynı uygun eğitim alanları kullanılarak EBO, YSA ve nesne tabanlı sınıflandırma algoritmaları uygulanmıştır. Elde edilen sınıflandırılmış görüntülerin doğruluğu aynı test alanları kullanılarak yapılmıştır (Tablo B.5, Tablo B.6 ve Tablo B.7). Buna göre en iyi sınıflandırma doğruluğunu nesne tabanlı algoritma ile elde edilen sınıflandırılmış görüntü sağlamıştır (Tablo 4.8 ve Şekil 4.6).



Şekil 4.6: Sınıflandırılmış (Nesne Tabanlı) Landsat–7 ETM+ görüntüsü

Tablo 4.8: Landsat–7 ETM+ Uydu görüntüsüne Uygulanan Sınıflandırma Sonuçları

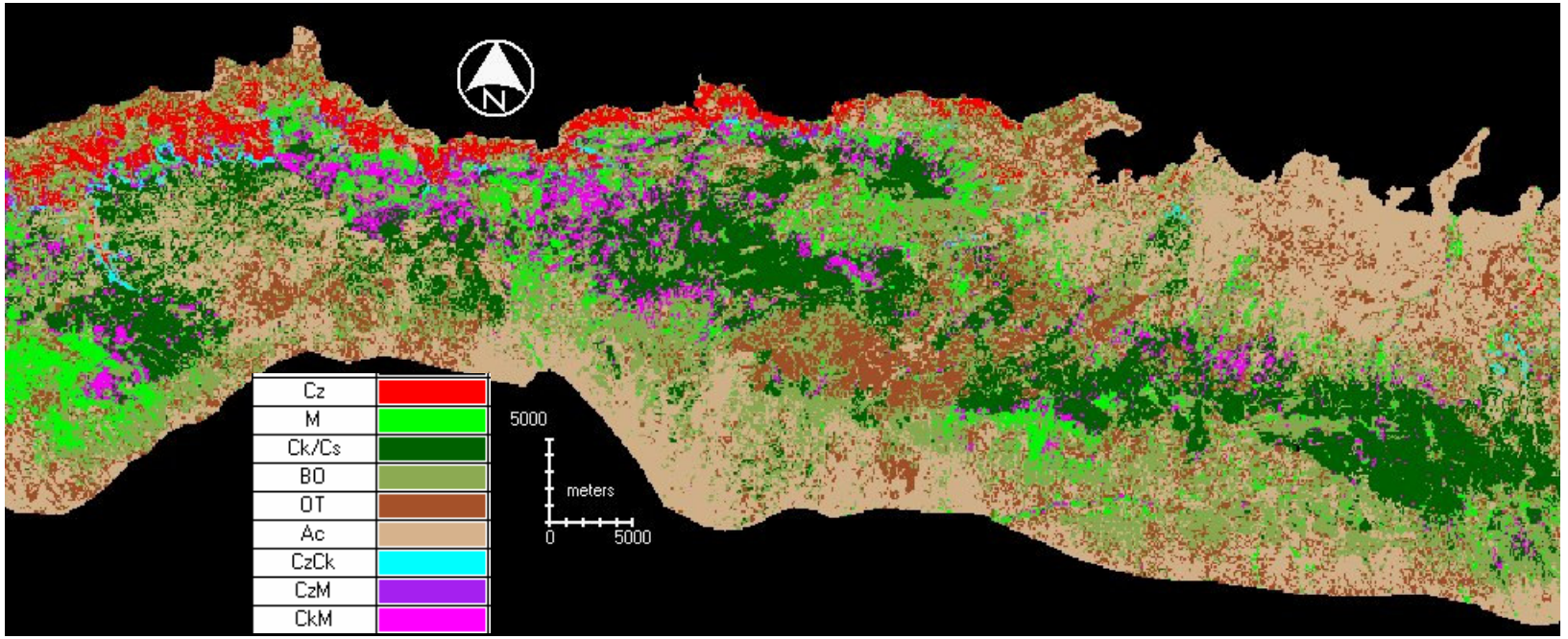
Sınıflandırma algoritması	Genel Doğruluk (%)	Kappa Değeri (%)
EBO	97	96
YSA	94	92
En Yakın Bulanık Kural	98	97

Sınıflandırmanın iyileştirilmesi

Meşcere tipleri mevcut çok bantlı uydu görüntüleri ile ancak ibreli, yapraklı, karışık ve bozuk orman olarak sınıflandırılabilmiştir. Fakat yapılan arazi çalışmalarına göre ibreli orman türlerinde üç hakim sınıf (Karaçam, Sarıçam ve Kızılçam) ve yapraklı orman türlerinde tek hakim sınıf (Meşe) bulunmaktadır. Bu amaçla uydu görüntülerinin sınıflandırma işlemini iyileştirme yolları araştırılmıştır. Öncelikle bunun için arazideki meşcere tiplerinin yayılışında rol oynayan önemli faktörlerin belirlenmesine yönelik arazinin topografik (yükselti, eğim, bakı) ve jeolojik (anakaya) yapısı arazi ölçmelerinden ve literatürde yapılan diğer çalışmalardan elde edilen bilgilerle bütünleştirilerek araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda Sündiken Kütlesi'nde ağaç ve çalı türlerinin yayılışında arazinin yükselti ve bakı özelliklerinin önemli bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla 6 kategoride sınıflandırılmış uydu görüntüleri yükselti ve bakı yardımcı bilgileri kullanılarak ibreliler sınıfı kendi içinde üç alt sınıfa (Kızılçam, Kızılçam ve Karaçam, Karaçam veya Sarıçam), ibreli ve yapraklı karışık orman sınıfı ise kendi içinde 2 alt sınıfa (Kızılçam ve Meşe, Karaçam ve Meşe) ayrılarak toplamda 9 sınıf elde edilerek iyileştirilmiştir (Şekil 4.7).

4.1.3.3. Hiperspektral Uydu Görüntülerinin Sınıflandırılmasından Elde Edilen Bulgular

Arazi örtüsünün sınıflandırılma doğruluğu uydunun spektral, radyometrik ve geometrik çözünürlüğüne bağlı olarak değişmektedir. Hiperspektral uydu görüntüleri çok bantlı görüntülere göre çok daha hassas spektral (Hyperion için 10 nm) ve radyometrik çözünürlüğe sahiptir. Bu amaçla Sündiken Kütlesi'ne ait çok bantlı uydu görüntüleri ile tam olarak ayırt edilemeyen meşcere tipleri hiperspektral uydu görüntüsü (Hyperion) kullanılarak ayırt edilmeye çalışılmıştır.



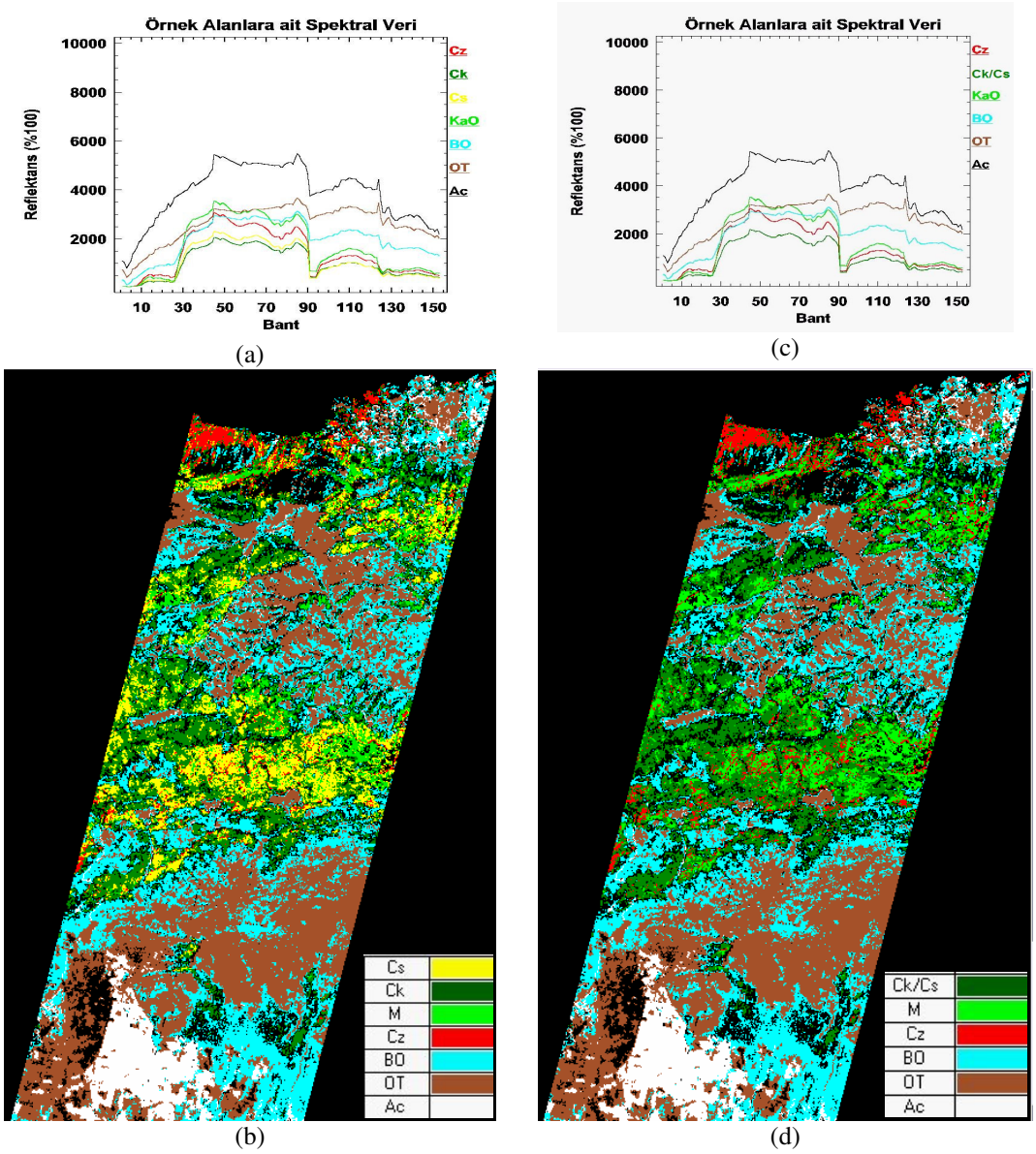
Şekil 4.7: İyileştirilmiş Landsat–7 ETM+ Sınıflandırılmış Görüntüsü

Arazi örtüsünün sınıflandırılmasında hiperspektral uydu görüntülerinin avantajları yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Hyperion görüntüsünün 242 bant olan spektral veri zenginliğinin gürültü ve atmosferik koşullardan dolayı 150 civarında bant sayısına düşmesi, aynı zamanda spektral çözünürlüğü yüksek olmasına rağmen geometrik çözünürlüğünün (30 m) düşük olması ve büyük alanlara ait uzaktan algılama çalışmalarında şerit genişliğinin (7.5 km) çok dar olması en büyük dezavantajlarıdır. Hiperspektral görüntülerin yüzlerce bant sayısına sahip olması kullanılacak sınıflandırma yöntemlerinde de farklı uygulamaların yapılmasına gerek duyulmaktadır. Sınıflandırmada bant sayısının çok olması avantaj olabileceği gibi arazi sınıflandırması için seçilecek eğitim alanlarının da daha fazlasına gerek duyulmaktadır. Bu dezavantaj da çok sınırlı bir şerit genişliğine sahip olan Hyperion görüntüsü için aşılması gereken önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Tüm bu avantajlar ve dezavantajlar değerlendirilerek Hyperion uydu görüntüsünün sınıflandırılmasında iki farklı yöntem uygulanmıştır. Bunlardan ilki hiperspektral görüntüye ait tüm bilgiyi orijinal olarak kullanarak spektrum tabanlı çalışan SAM (Spectral Angle Method) algoritması ile nesne tabanlı çalışan bulanık kural sınıflandırma yöntemidir.

Hyperion Görüntüsünün SAM Algoritması ile Sınıflandırılması

Hyperion görüntüsünün kapladığı alana karşılık gelen Sündiken kütlesinin Çatacık ve Kızıltepe mevkiine ait arazi örtüsü olarak Kızılçam (Çz), Karaçam (Çk), Sarıçam (Çs), karışık orman (KaO), bozuk orman (BO), orman toprağı (OT) ve açık alan (Aç) olmak üzere toplam 7 sınıf belirlenmiştir. Sınıflandırma işlemi için öncelikle yer ölçmelerinden faydalanılarak görüntü üzerinde her sınıf için (en az 200 piksel olacak şekilde) eğitim alanları belirlenmiştir. SAM sınıflandırma algoritması spektrum bilgisine dayalı bir sınıflandırma algoritması olduğu için belirlenen sınıflara ait referans spektrum elde edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple belirlenen eğitim alanlarından her sınıfa ait ortalama referans spektral eğrisi oluşturularak aday pikselin spektrumu ile referans spektrum arasındaki spektral açı en az 0.10 olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Her sınıfa ait elde edilen referans spektral veriler (eğriler) incelendiğinde Sarıçam ve Karaçam sınıfları hariç diğer arazi sınıflarının ayrıt edilebilir olduğu görülmektedir (Şekil 4.8a ve Şekil 4.8c) . Daha önce spektroradyometre ölçmelerinden elde edilen sonuçlara paralel olarak Hyperion uydu görüntüsünden elde edilen referans spektral veriler Sarıçam ve Karaçam

meşcere tiplerinin spektral özelliklerinin birbirine çok yakın olduğu, dolayısıyla ayırt edilebilirliğinin çok düşük olduğu görülmektedir. Özellikle SAM algoritması ile yapılan sınıflandırılmış görüntüler görsel olarak incelendiğinde bu açıkça görülmektedir (Şekil 4.8b ve Şekil 4.8d). Bu sebeple Karaçam ve Sarıçam sınıflarına ait eğitim alanları birleştirilerek Karaçam veya Sarıçam (Çk/Çs) olarak yeni bir sınıf ve bu sınıfa ait yeni bir referans spektral veri oluşturularak arazi örtüsü toplam 6 kategoride SAM algoritması ile tekrar sınıflandırılarak % 81 genel doğruluk elde edilmiştir (Tablo B.8).

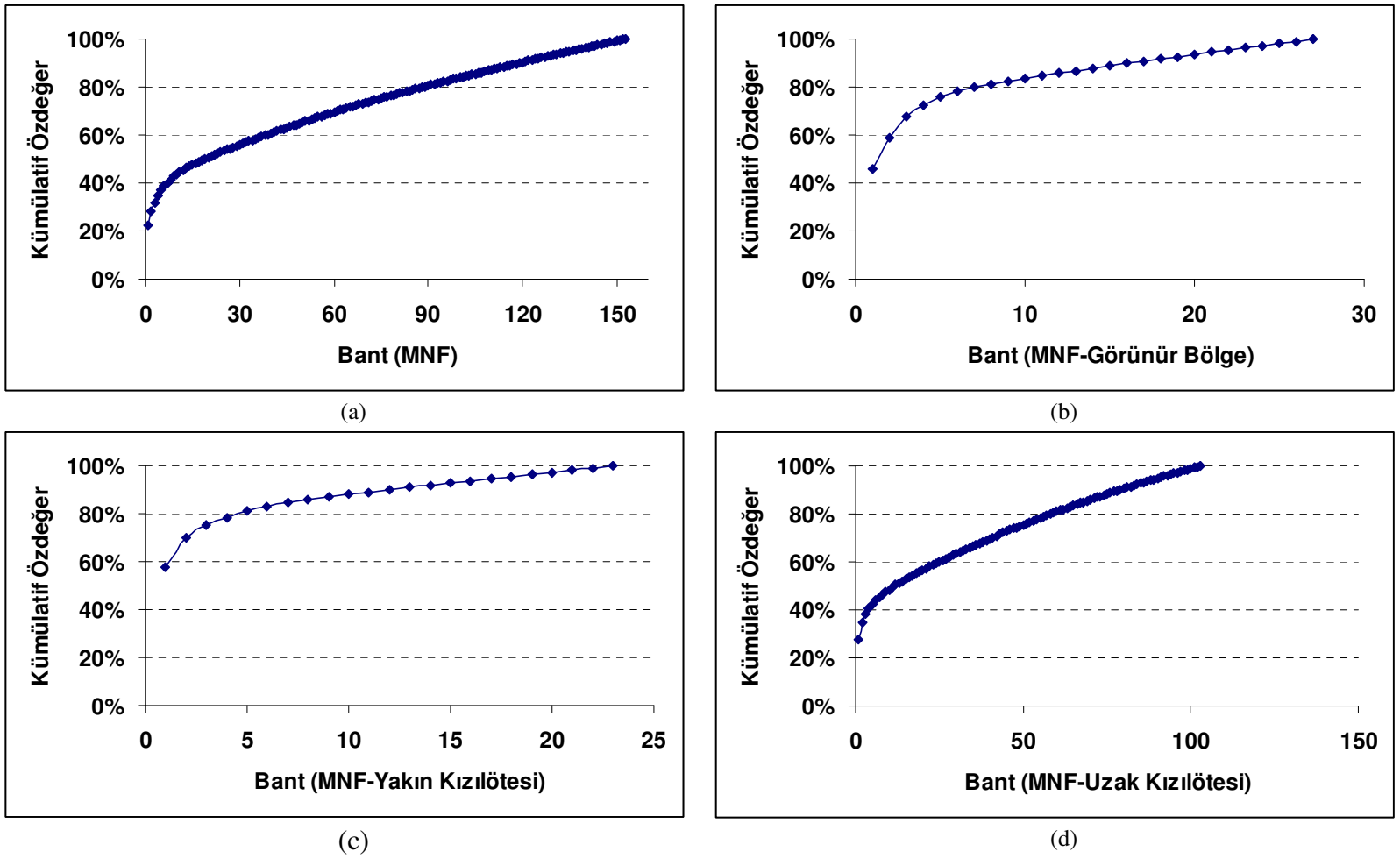


Şekil 4.8: SAM Algoritması ile 7 Sınıf ((a) ve (b)) ve 6 Sınıf ((c) ve (d)) olarak Farklı 2 Eğitim Setine göre Sınıflandırılmış Hyperion Görüntüleri

Elde edilen sınıflandırılmış görüntü görsel olarak incelendiğinde yardımcı veriler olmadan çok bantlı uydu görüntülerinin sadece spektral verileri kullanılarak ayırt edilemeyen Kızılçam meşceresinin ayırt edilebildiği görülmüştür (Şekil 4.8d). Sınıflandırılmış görüntüde siyah olarak görünen bölgeler topografik etki nedeniyle gölge etkisi oluşan alanlar olup SAM algoritmasında belirlenen piksel ile referans spektrumu arasındaki benzerliğin (spektral açının) en az 0.1 radyan olarak belirlenen eşik değerini aşamayan bölgelerdir.

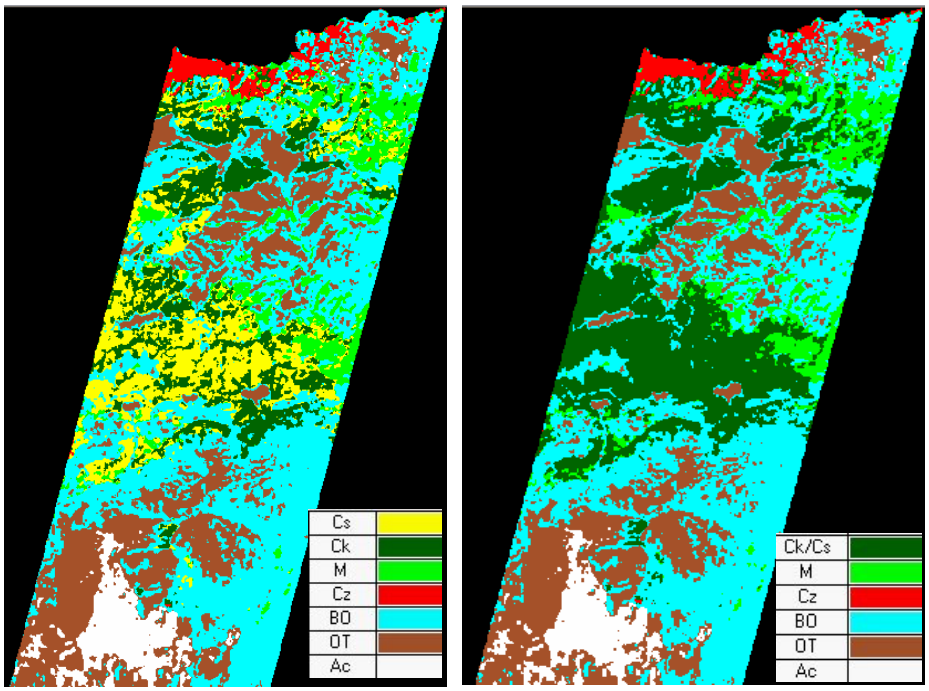
Hyperion Görüntüsünün Nesne Tabanlı Sınıflandırılması

Hiperspektral görüntülerin birbirine komşu spektral bantlara sahip olması ile birlikte görünür, kızılötesi ve uzak kızılötesi bölgede bulunan bantlar kendi içinde yüksek korelasyona sahip olup tekrarlanan aynı veriyi içermektedir. Ayrıca hiperspektral uydu görüntüsünde bant genişliklerinin çok dar olması algılama sırasında fiziksel nedenlerden dolayı oluşan verideki gürültü oranını da arttırmaktadır. Diğer yandan yüzlerce banda sahip hiperspektral görüntülerinin sınıflandırılmasında normal piksel veya nesne tabanlı sınıflandırma algoritmalarının kullanılabilmesi için bant sayısı ile doğru orantılı olarak çok daha fazla eğitim alanlarının belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat çok dar şerit genişliğine sahip Hyperion görüntüsünde bu aşılması gereken bir sorun teşkil etmektedir. Hiperspektral uydu görüntülerinin tüm bu olumsuzlukları avantaja çevirmek için MNF (Minimum Noise Fraction) yöntemi kullanılmıştır. Hyperion görüntüsünün tüm bantlarına MNF dönüşümü uygulandığında elde edilen özdeğer sonuçları çok düşük çıktığı görülmüştür (Şekil 4.9a). Bunun iki sebebi olabilir. Uydu görüntüsüne ait komşu spektral bantlar arasında korelasyon çok az olup dolayısıyla tekrarlanan verinin çok az olması veya verinin yüksek oranda gürültü içermesidir. Bunu belirlemek için Hyperion verisine ayrıca aynı spektral bölgelerden (görünür, yakın kızılötesi ve uzak kızılötesi) bulunan bantlara ayrılarak üç veri seti elde edilmiştir. Elde edilen veri setlerine ayrı ayrı MNF dönüşümü uygulandığında uzak kızılötesinin yüksek oranda gürültü içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.9d). Dolayısıyla Hyperion uydu görüntüsünün sınıflandırılmasının sadece görünür (Şekil 4.9b) ve yakın kızılötesinde (Şekil 4.9c) bulunan en yüksek öz değere (% 80'in üzerinde) sahip olan her spektral bölgeye ait ilk 7 MNF bandı alınarak toplam 14 tane MNF bandı ile yapılmasına karar verilmiştir.



Şekil 4.9: Hyperion Görüntüsünün Farklı Spektral Bölgelerine Ait Veri Setlerine Uygulanan MNF Dönüşümünün Kümülâtif Özdeğer Sonuçları

MNF dönüşümü ile hiperspektral görüntüdeki hem tekrarlanan veri problemi hem de verilerdeki gürültü probleminin sınıflandırma doğruluğu üzerindeki etkisi en aza indirilmiştir. Hyperion görüntüsüne ait 14 adet MNF veri seti olarak hazırlanarak SAM yönteminde kullanılan eğitim alanları ile 7 kategori olarak nesne tabanlı en yakın komşu bulanık kural yöntemi ile sınıflandırılmıştır (Şekil 4.10a). Sınıflandırılmış görüntüler incelendiğinde Sarıçam ile Karaçam ormanının ayırt edilemediği görülmüştür. Dolayısıyla SAM yönteminde olduğu gibi Karaçam veya Sarıçam (Çk/Çs) olarak veri seti tekrar 6 kategoride tekrar sınıflandırılarak % 98 genel doğruluk elde edilmiştir (Tablo B.9). Sınıflandırılmış görüntü görsel olarak incelendiğinde nesne tabanlı sınıflandırma yönteminin daha iyi sonuç verdiği görülmüştür (Şekil 4.10b).



(a) (b)

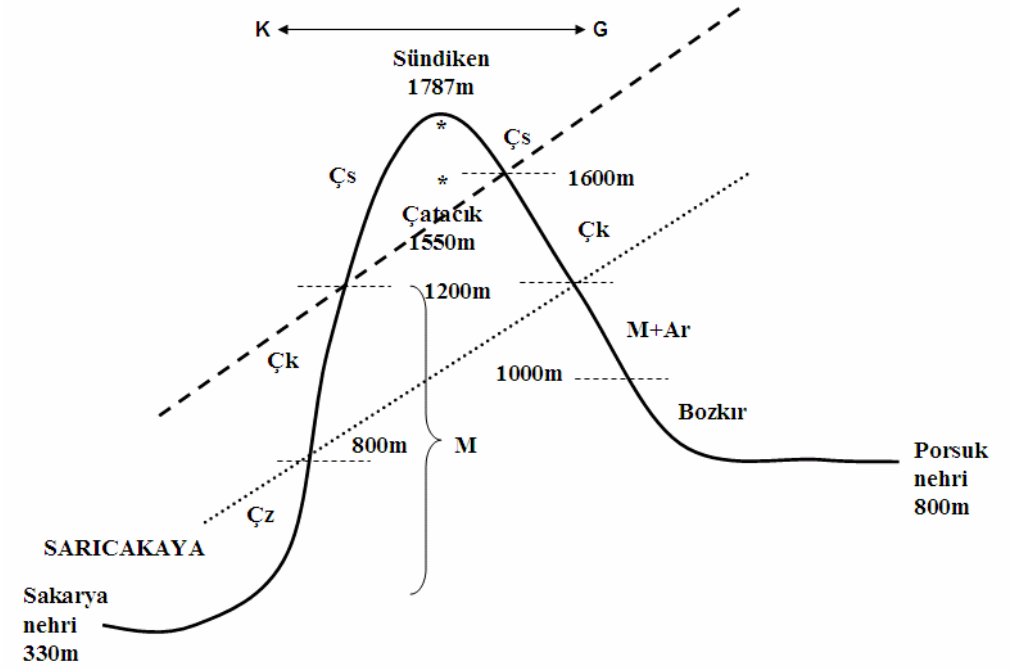
Şekil 4.10: Hyperion Görüntüsünün VNIR Bölgeye ait 14 MNF Bantlarının Nesne Sınıflandırma Algoritması ile 7 (a) ve 6 (b) Farklı Eğitim Setine göre Sınıflandırılmış Hyperion Görüntüleri

4.1.4. Ormanın Tür Birleşimine göre Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Bulgular ile Yer Ölçmelerinden Elde Edilen Bulguların Derlenmesi

4.1.4.1. Ormanın Tür Birleşiminin Genel Durumu

Sündiken Kütlesi'nde bitki örtüsü dağılımı yükselti ve bakıya göre değişmektedir. Kütlenin kuzeyinde Sakarya Nehri'ne yakın olan 800m yükseltisine kadar Kızılçam

(*Pinus brutia Ten*), 800-1200 m arasındaki yükseltide Karaçam (*Pinus nigra*) bununda yukarısında Sarıçam (*Pinus sylvestris*) orman kuşağı yer almaktadır. Kızılçam'dan Karaçam'a geçiş kuşağı 800-900m arasında, Karaçam'dan Sarıçam'a geçiş kuşağı 1200-1300 m arasında görülmektedir. Ayrıca Sakarya Nehri'nden 1200 m yükseltisine kadar da Meşe (*Quercus spp.*) kuşağı yayılış göstermektedir. Kütlenin Eskişehir Ovası'na bakan güney kesiminde ise 1000'ye kadar bozkır hakim olup, 1000-1200 m'ye kadar Meşe/Ardıç kuşağı, 1600 m'ye kadar Karaçam kuşağı ve daha yukarısında Sarıçam kuşağı yayılışı görülmektedir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Sündiken Kütlesi'nin Kuzey-Güney Yönündeki Örnek Kesitinde Yükselti/İklim Kuşaklarına göre Ağaç Türlerinin Dağılımı

4.1.4.2. Ormanın Tür Birleşiminin Yer Ölçmeleri ile Karşılaştırılması ve Elde Edilen Sonuçlar

Bu bölümde uydu görüntülerinin işlenmesi ile elde edilmiş olan sınıflandırılmış görüntülerin arazide bu çalışmada ve Nejat Çelik'in doktora tezi çalışmasında yapılan yer ölçmelerine göre nokta olarak karşılaştırılarak uydu görüntüsünden elde edilen orman tür birleşimi tematik haritasının doğruluğu belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca orman meşcere haritalarının da yer ölçmeleri ile doğruluğu kontrol edilmiştir. Koordinatları el GPS'i ile kaydedilen yer ölçmeleri noktaya ait meşcere türü ve her tür

için ayrı ayrı kapalılık değerleri içermektedir. Yer ölçmeleri koordinat bilgileri kullanılarak, uydu görüntüsünden elde edilmiş sınıflandırma ve kapalılık görüntüleri ve aynı zamanda meşcere haritaları ile çakıştırılmıştır. Haritalar üzerinde yer ölçmelerine ait noktalara karşılık gelen yerlere ait orman tür bilgileri, kapalılık değerleri ve meşcere bilgileri elde edilerek, mevcut yer ölçmeleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için 5 dereceli doğruluk sınıflandırılması kullanılmıştır. Bunlar çok kötü (0), kötü (1), normal (2), iyi (3) ve çok iyi (4) olarak derecelendirilmiştir. Genel doğruluk ölçmesinde çok kötü ve kötü doğruluk gruplarına ait noktalar uyuşumsuz noktalar olarak alınarak, geriye kalan noktalar uyuşumlu olarak kabul edilmiştir. Uyuşumlu noktaların tüm noktalara oranlanmasıyla genel doğruluk elde edilmiştir (Tablo C.1 ve Tablo C.2). Buna göre **Çelik**'in **(2006)** orman yetişme ortamlarının belirlenmesine yönelik yer ölçmelerine göre orman tür birleşimlerinin genel doğruluğu % 82 iken meşcere haritalarının doğruluğu % 78 olarak, uzaktan algılama amaçlı kendi arazi ölçmelerime göre ise % 96 ve % 88 olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.9 ve Tablo 4.10).

Tablo 4.9: Nejat Çelik'in Yer Ölçmelerine göre Sınıflandırılmış Uydu Görüntüsünün ve Meşcere Haritalarının Doğruluk Sonuçları

Doğruluk derecesi	Uydu görüntüsü	Meşcere
0	9	19
1	10	4
2	5	17
3	35	4
4	47	63
Genel doğruluk	88/107=% 82	84/107=% 78

Tablo 4.10: Yer Ölçmelerine göre Sınıflandırılmış Uydu Görüntüsünün ve Meşcere Haritalarının Doğruluk Sonuçları

Doğruluk derecesi	Uydu görüntüsü	Meşcere
0	2	10
1	2	2
2	1	16
3	8	4
4	91	72
Genel doğruluk	100/104=% 96	92/104=% 88

Her iki yer ölçmelerinde de uydu görüntülerinden elde edilen orman tür birleşimlerinin meşcere haritasına göre daha doğru olduğu görülmektedir. Bunun başlıca sebebi, meşcere haritaları hazırlanırken arazi çalışmasında her 300 m'de bir nokta atılmakta ve 300x300 m^2 alana karşılık gelmekte olup baskın olan orman türü dikkate alınmaktadır. Oysa sınıflandırmadan elde edilen orman tür birleşim bilgileri uydu görüntülerinin geometrik çözünürlüğüne bağlı olarak bir piksellik (Landsat–7 ETM+ için 30x30 m^2) alana karşılık gelmekte ve elde edilen meşcere bilgisi daha hassas olmaktadır. Her iki yer ölçmeleri arasındaki doğruluğun farklı olması yer ölçmelerinin amaca yönelik olarak yapılması ve yerlerinin buna göre belirlenmesi gerektiğini göstermektedir. Nitekim **Çelik (2006)** tarafından yapılan çalışmada, yer ölçmeleri orman türlerinin yetişme ortamının belirlenmesine yönelik yapıldığı için bazı noktaların uzaktan algılama ile kullanılması doğruluğu düşürmüştür.

4.1.4.3. Kuzey ve Güney Bakılı Yamaçlarda Yükseltiye Bağlı Olarak Bakı ve Eğime göre Ormanın Tür Birleşimine ait Elde Edilen Bulgular

Bu bölümde Landsat–7 ETM+ sınıflandırılmış görüntüsünden Sündiken Kütlesi'ndeki orman türlerinin arazi özelliklerine göre (genel bakıya, yükseltiye ve kapalılığa göre) dağılımı alansal olarak elde edilerek irdelenmiştir.

Buna göre kuzey yamaçta alçak arazide bulunan Kızılçam ormanının 400 ile 700 m arasında en yoğun olarak görülürken daha yukarılara doğru yoğunluğun azalmaya başladığı ve 800 ile 900 m arasındaki Çz/Çk geçiş kuşağından sonra yerini daha yukarılarda Karaçam'a bıraktığı görülmektedir. Diğer taraftan Kızılçam ormanlarının yayılışı kapalılık olarak incelendiğinde kuşakların çoğunlukla orta kapalı (% 40–60) olmak üzere % 20 ile % 80 arasında değiştiği görülmektedir (Tablo C.3). Kızılçam eğim bakımından özellikle orta (% 17–32) ve dik (% 33–48) eğimli alanlarda görülürken, bakı olarak en fazla kuzey bakıda bulunmaktadır (Tablo C.4).

Kuzey ve güney olmak üzere her iki yamaçta bulunan Karaçam ormanı az kapalı, biraz kapalı ve orta kapalı sıklıkta yükselti arttıkça ormanın yayılışında alansal olarak fazla bir farklılık olmadığı görülmemektedir (Tablo C.3). Fakat çok kapalı ve özellikle tam kapalı Karaçam ormanının ise yükselti arttıkça (özellikle 1200 ile 1400 m yükseltileri arasında) ormanın yayılışının alansal olarak yaklaşık 10 katına kadar çıktığı ve 1400 m'den sonra

ise Sarıçam ormanı yer almaktadır (Tablo C.3). Sarıçam ormanı yukarılara doğru meşcere alanı azalarak 2000 ha'dan 400 ha'a düştüğü görülmektedir.

Sündiken Kütlesi'nin kuzey yamaçlarının güney yamaçlara göre daha dik olması ve dolayısıyla daha az alana sahip olması gerekirken, kuzey yamaçlardaki Karaçam ve Sarıçam ormanının alansal olarak yayılışı güney yamaçlara göre her kapalılık grubu için yaklaşık olarak iki katı daha fazla olduğu görülmektedir (Tablo C.3). Bunun da en başlıca sebebi kuzey yamaçta özellikle 1200 m'den sonra topografyaya bağlı olarak oluşan derin vadilerden dolayı kuzey yamaçların daha fazla alana sahip olup Karaçam ve Sarıçam meşcere türlerinin özellikle 1200 m'den yukarıda yetişme ortamı bulmasıdır. Arazinin eğim özelliğine göre Karaçam ve Sarıçam ormanı orta eğimli (% 17–32) daha fazla, bakıya göre ise kuzey genel bakıda doğu ve güney genel bakıda batıdaki alanlarda daha az yayılış göstermiştir (Tablo C.4).

Kuzey genel bakıdaki Sakarya Nehri'ne yakın alçak yükseltilerde Kızılçam ormanı içinde seyrek olarak yayılmış olan Meşe ormanının yukarılara doğru genelde çok kapalı (% 60–80) olarak yayılışı artarak saf Meşe ve Kızılçam ile karışık (Çz/M) olarak devam etmektedir. Özellikle Çk+Çz geçiş kuşağından (800–900 m) yukarıya doğru Karaçam kuşağında 1300 m'ye kadar çok kapalı ve tam kapalı olarak saf Meşe ve Karaçam ile karışık (Çk+M) orman meşceresi olarak Sarıçam (1500 m) kuşağına kadar devam etmektedir (Tablo C.3). Güney genel bakıda ise 900–1000 m kuşağında başlayan Meşe ormanı 1100–1300 m arasında yoğunlaşmakta ve 1500–1600 m kuşağına kadar çıkmaktadır. Eğim olarak hafif (% 8–16) ve orta (% 17–32) eğime sahip alanlarda, bakı olarak ise güney ve güneybatılı bakılarda yayılış gösterdiği görülmektedir (Tablo C.4).

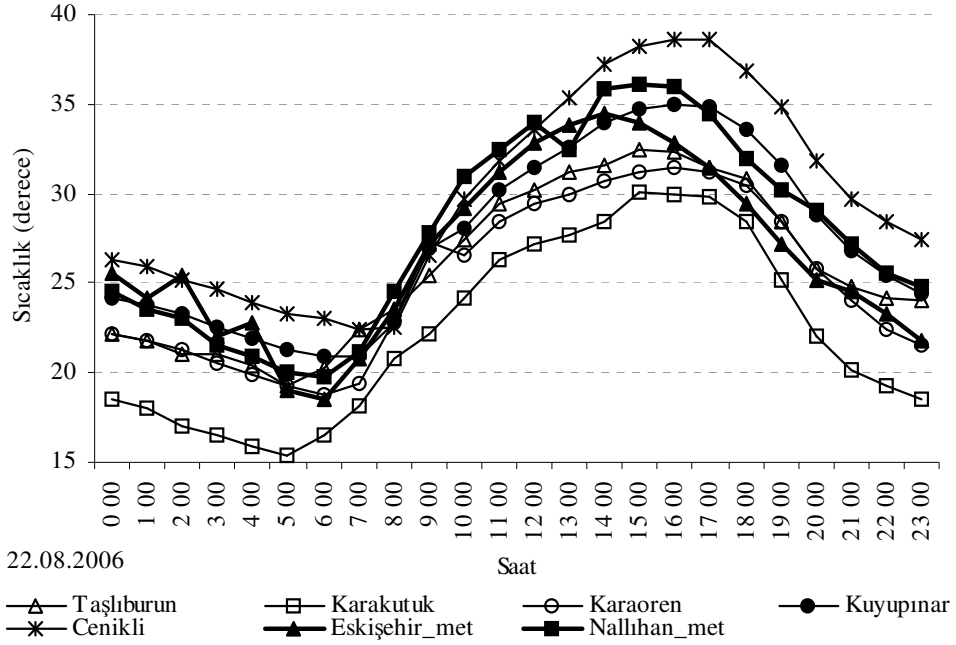
4.2. Uydu Görüntülerinden Belirlenen ve Arazide Ölçülen Sıcaklık Değerlerine ait Bulgular

4.2.1. Arazideki Hava ve Yüzey Sıcaklığı Ölçmeleri ile Elde Edilen Bulgular

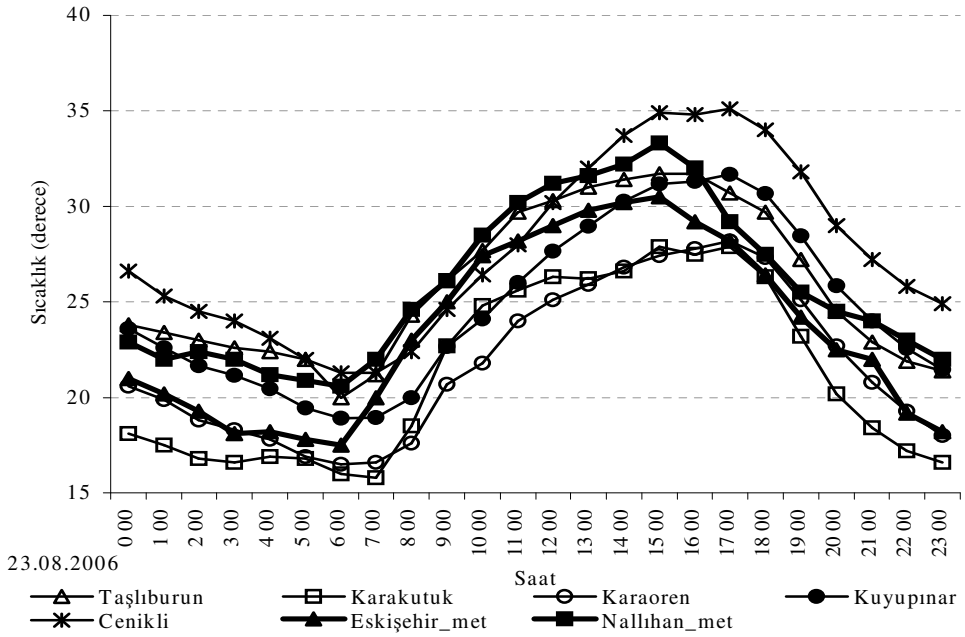
Meteoroloji istasyonlarının alçak arazideki yerleşim yerlerinde bulunuşu, dağlık arazideki iklim özelliklerine ait bilgi edinmemizi veya yorum yapmamızı zorlaştırmaktadır. Bu amaçla, arazide meteoroloji istasyonu bulunmayan farklı yükselti ve bakıdaki noktalarda uydu görüntüsünün çekiminden bir gün önce (21.08.2006)

başlayıp 15 gün süresince 15 dakika aralıklarla 24 saat boyunca hava sıcaklık ve nem ölçmeleri kaydedilmiştir. Ayrıca yakın çevredeki meteoroloji istasyonlarından (Eskişehir ve Nallıhan) elde edilen aynı tarihli sıcaklık ve nem değerleri de kullanılarak hem arazi ölçmelerinin uyumu hem de ölçme nokta sayısı arttırılmıştır. Buna göre Sündiken Kütlesi'nde güney genel bakıda Eskişehir meteoroloji istasyonu (800 m) ve Taşlıburun (1200 m) ve sırt bölgesinde Karakütük (1550 m) olmak üzere farklı yükseltilere sahip üç noktada sıcaklık ve nem ölçümü yapılmıştır. Kütlenin kuzey genel bakısında Karacaören (1250 m), Kuyupınar (900 m), Cenikli (550 m) ve Nallıhan meteoroloji istasyonu (600 m) olmak üzere farklı yükseltilerdeki noktalara ait sıcaklık ve nem bilgileri kaydedilmiştir. Böylece farklı arazi özelliklerine sahip toplam 7 noktada yapılan sıcaklık ve nem ölçmeleri ile Sündiken Kütlesi'nin topografyaya bağlı olarak en önemli ekolojik yapısını oluşturan yükselti/iklim kuşaklarının oluşumundaki bakı ve yükselti etkisi kavranmaya çalışılmıştır.

Buna göre Sündiken Kütlesinde öğleden sonra sıcaklık düşüşünün sabaha karşı saat 5^{00}-6^{00}'ya kadar sürüp tekrar artmaya başlayarak öğleyin 2^{00}-3^{00}'e kadar bu artışın devam ettiği görülmektedir. Kütlenin sırt bölgesinde bulunan ve en yüksek kota sahip Karakütük noktası yükseltiye bağlı olarak en düşük sıcaklık ve en yüksek nem değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Diğer taraftan farklı bakılara fakat aynı yükseltiye sahip Taşlıburun ve Karacaören sıcaklık ölçmelerine bakıldığında güney bakı ile kuzey bakı arasında 5 C^{0}'ye varan farklılıklar bulunmaktadır. Dolayısıyla kütlenin Sakarya Nehri'ne bakan kuzey bakılı yamaçlarındaki Karadeniz ardı iklim ile Eskişehir Ovası'na bakan güney bakılı yamaçlarındaki İç Anadolu bozkırının karasal iklim etkisi sebebiyle bölgesel iklim farklılıkları açıkça görülmektedir (Şekil 4.12a ve Şekil 4.12b). Aynı şekilde kuzey genel bakıda bulunan Kuyupınar (900 m) ölçmeleri ile güney genel bakıdaki Alpu (900 m) meteoroloji istasyonu ölçmelerinin karşılaştırılması planlanmış fakat buradaki meteoroloji istasyonunun 2002 yılı itibariyle faaliyetinin durdurulması sebebiyle gerçekleştirilememiştir. Alpu meteoroloji istasyonuna alternatif olarak yaklaşık aynı yüksekliğe sahip Eskişehir meteoroloji istasyonu ile Kuyupınar ölçmeleri karşılaştırıldığında iki nokta arasında tam olarak bakı etkisi olmaması sebebiyle daha farklı bir sıcaklık davranışı görmekteyiz.



(a)



(b)

Şekil 4.12: Dağlık Arazideki 5 Noktada ve Çevredeki 2 Meteoroloji İstasyonunda (Eskişehir ve Nallıhan) 22 Ağustos 2006 (a) ve 23 Ağustos 2006 (b) Tarihlerinde Elde Edilen Sıcaklık Ölçmeleri

Akşam saatlerinden sonra güney bakıdaki Eskişehir meteoroloji istasyonu ölçmelerinin kuzey bakıdaki Kuyupınar noktasına ait sıcaklık ölçmelerinden daha düşük olduğu ve bunun sabah saatlerine kadar sürdüğü görülmektedir. Fakat gün doğumundan öğleye kadar bu olayın tersine bir davranış sergilediği görülmektedir. Bu sonuçlardan da alçak arazide bulunan Eskişehir Ovası'nda gece ve sabah saatlerinde bozkır soğuk hava çökelmesi meydana geldiği, güneşin doğmasıyla birlikte bu etkinin azaldığı ve öğle saatlerinden itibaren güneşin etkisini kuzey bakılı yamaçlarda daha çok hissettirmeye başlamasıyla hava sıcaklığının da arttığı görülmektedir. Dolayısıyla yukarıda sıralanan bulgular dağlık arazide yükselti ve bakıya bağlı olarak iklim özellilerindeki farklılıkları ve bunun sebeplerini ortaya koymaktadır.

Ayrıca arazide kızıl ötesi termometre ile ölçülen (bir piksele karşılık gelen) yüzey sıcaklık değerleri, arazi koordinatlarından faydalanılarak aynı yere ait atmosferik düzeltme yapılmış uydu görüntüsünden elde edilen yüzey sıcaklık değerleri ile karşılaştırılmıştır (Tablo 4.11).

Tablo 4.11: Uydu Görüntüsüne ait Termal Bandın Kalibrasyonu için Yapılan Arazi Ölçümleri

Nokta No	Mevkii Özellikleri	Koordinat		Arazi Ölçümü (C^o)	Saat	Uydu Görüntüsü (C^o)
		Y (m)	X (m)			
1	Kireçli cıplak toprak	335091	4407120	40	10.20	43
2	Boş sürülü tarla	340044	4417920	**46**	**10.45**	**47**
3	Karakütük otlak	340530	4426022	**43**	**11.15**	**41**
4	Büyük haliç merası	334900	4425716	45	11.30	44
5	Karacaören taşlık mera	337629	4429831	55	12.00	45
6	Hasat harman yeri	334121	4415757	54	12.00	49
7	Kireçli çıplak toprak	351032	4410069	54	13.30	50

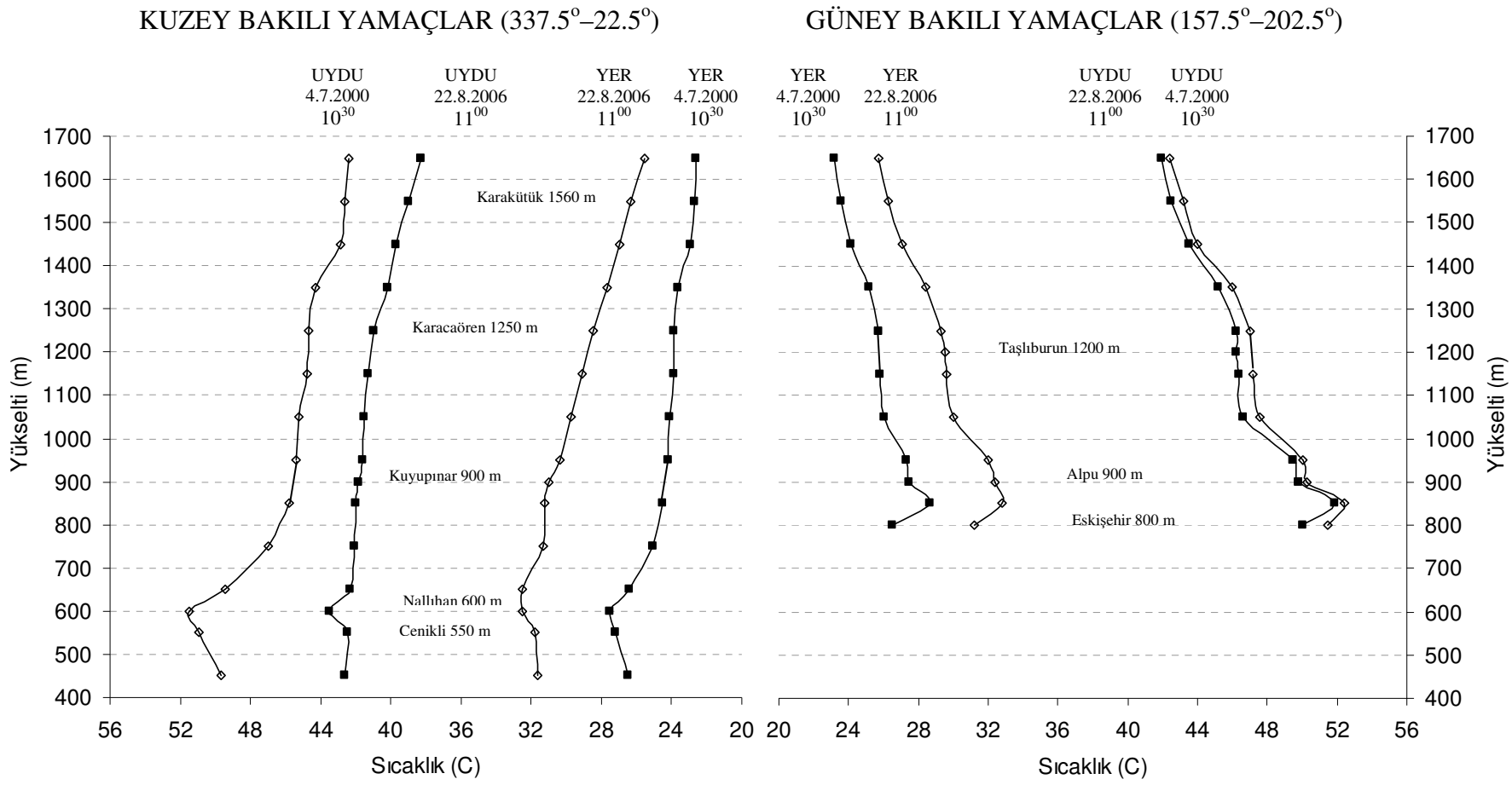
Terra ASTER algılayıcısının geçiş saati olan 11^{00}'e en yakın olan 2. ve 3. noktalara ait arazi ve aynı saatli uydu sıcaklık verilerine bakıldığında 1–2 C^o fark ile birbirine çok yakın değerler elde edildiği görülmüştür. Dolayısıyla yeryüzünden neşredilen arazi ve uydu sıcaklık değerlerinin doğru sonuçlar elde edilmesinde kullanılan yöntem ve tekniğin doğru olduğunu göstermektedir. Arazi yüzey sıcaklık ölçmelerinin saat 10^{20} ve 13^{30} arasında öğleye kadar 40 $C^{o'}$den 54 C^o olacak şekilde artarak yeryüzünün sabah saatlerinden sonra (özellikle öğle vaktine yaklaşıldığında) çok hızlı bir şekilde ısındığı gözlenmektedir. Dolayısıyla arazi ölçmelerinin uydu geçiş saatine mümkün olduğu

kadar yakın olması doğru ve sağlıklı sonuçlar elde edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Uydu ile yer ölçmeleri arasındaki yarım saatlik bir farklılık bile 5 C^o gibi önemli bir farka sebep olmaktadır.

4.2.2. Arazideki Açık Alanlara Göre Uydu Görüntülerinden Yüzey Sıcaklığının Belirlenmesine Yönelik Elde Edilen Bulgular

Bu bölümde termal uydu görüntülerinden (Landsat ETM+ ve Terra ASTER) elde edilen yeryüzünden neşredilen sıcaklık değerleri ile Sündiken kütlesindeki yükselti iklim kuşakları (dolayısıyla ağaç ve çalı türlerinin yayılışı) ilişkilendirilmeye çalışılmış ve önemli bulgular elde edilmiştir. Yöntem I'e göre yapılan hesaplamada 4.7.2000 günü saat 10^{30}'da Sündiken Dağlık Kütlesi'nde 1700 m yükselti için kuzey bakıda 22.6 C^o, güney bakıda 23.2 C^o açık alanda yere yakın sıcaklığı hesaplanmıştır (Şekil D.2). Yöntem I'e göre 22.8.2006 günü saat 11^{00}'de Sündiken Dağlık Kütlesi'nde 1700 m yükseltide açık alan için kuzey bakıda 28.7 C^o, güney bakıda 27.3 C^o yere yakın sıcaklık hesaplanmıştır (Şekil D.2 ve Şekil 4.13).

Diğer yandan yöntem II'ye göre 22.8.2006 günü saat 11'de Sündiken Dağlık Kütlesi'nde 1700 m yükseltide açık alan için kuzey bakıda 25.5 C^o, güney bakıda 25.7 C^o yere yakın sıcaklık hesaplanmıştır (Şekil D.2). Yöntem I ile yöntem II'nin 22.8.2006 günü saat 11'de Sündiken Dağlık Kütlesi'nde 1700 m yükseltide kuzey bakıdaki sıcaklık değerlerinin farkı 3.2 C^o'dir (28.7–25.5). Güney bakıdaki sıcaklık değerlerinin farkı 2.6 C^o (27.3–25.7) olarak hesaplanmaktadır (Şekil D.2). Bu farklar önemli sıcaklık değerleridir. Dolayısıyla uydu görüntülerinden elde edilen yeryüzü sıcaklıklarının (yayımlanan sıcaklık) Yöntem II ile hesaplanması daha uygun olduğu görülmüştür (Şekil 4.13). Sıcaklığın yükseltiye ve bakıya göre yöntem II ile elde edilen ve Şekil D.2'de verilen azalma payları uydu görüntülerinden elde edilen yüzey sıcaklıklarının yer ölçmeleri ile değerlendirilmesi sonucunda elde edilmiştir. Bu sıcaklık azalma paylarının 100 m'lik yükselti farklarına göre değişimi göz önüne alınarak, yükselti/iklim kuşaklarının oluşumu ile ormanları oluşturan ağaç ve çalı türlerinin yayılışı arasında daha uyumlu ilişkileri kurulması mümkün olabilecektir.



Şekil 4.13: Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Kuzey ve Güney Bakılı Yamaçlarda 4.7.2000 ve 22.8.2006 Tarihli Uydu Görüntülerinden Ölçülen Meteoroloji İstasyonları ile Arazide Ölçülen ve 100 m'lik Yükselti Kuşaklarına göre Hesaplanan Sıcaklık Değerleri

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

- ✓ Sündiken Dağ Kütlesi'ndeki ormanlar Kızılçam, Finike Ardıcı, Karaçam, Sarıçam ve Meşe türlerinden oluşmuştur. Ancak yukarıda değerlendirilen yeryüzü şekli özelliklerine bağlı olarak oluşan yükselti-iklim kuşaklarında bu ağaç türleri saf veya karışık olarak ormanlar kurmaktadırlar. Bu ağaç türlerinin bakıya ve yükselti iklim kuşaklarına göre kurduğu ormanlar Tablo C.3'de verilmiştir. Özellikle yapacak odun (bıçkılık tomruk ve diğer) üretimi bakımından Karaçam ve Sarıçam ormanlarının önemi ve verimi mevcut alanları da göz önüne alınarak değerlendirilmelidir. Öte yandan bölgenin yakacak odun ihtiyacı Meşe baltalık ormanlarında ve Çam ormanlarındaki dal ve benzeri artık materyallerin değerlendirilmesi ile sağlanmaktadır. Bu durum; ormanların tür birleşimindeki çeşitliliği bölge ve ülke ihtiyacının karşılaması için gerekli olan ürün çeşitliliğini de sağladığını göstermektedir. Dolayısıyla Sündiken Dağlık Kütlesi'nde yaptığımız çalışmada ağaç türlerinin çeşitli yetişme ortam özelliklerine göre dağılışı orman işletmeciliği bakımından önemli bilgiler sağlamıştır. Alan ölçülerinin amenajman planlarında 300x300 m^2 alındığı göz önüne alınırsa uydu görüntülerinden 30x30 m^2'lik kare şebekesine göre yapılan ölçümlerde elde edilen bulguların güvenirliği ortaya çıkmaktadır.
- ✓ Sündiken Dağlık Kütlesi'ndeki ormanın kapalılığı konusunda da uydu görüntülerinden elde edilen bulgular önemli ve güvenilir sonuçlara ulaşmamızı sağlamıştır. Böylece kapalılığını kaybetmiş (çok bozuk) orman alanları ve bunların hangi yükselti/iklim kuşağında hangi bakıda hangi eğimde ve ne kadar bulundukları sonucu elde edilmiştir. Bu sonuç çok bozuk orman alanlarının ağaçlandırılabilir veya doğal gençleştirme ile yenilenebilir veya çok dik eğimli yerlerde mutlak korumaya bırakılması yönünde verilebilecek kararlara temel oluşturmaktadır. Aynı şekilde yaşlanmış gençleştirilmesi gereken kapalılığı tam

ormanlarda da kullanılacak yöntemler için temel ve güvenilir bilgiler sağlanmıştır.

- ✓ Spektroradyometre ile farklı ağaç türlerinin yapraklı/ibreli dallarının farklı dalga boylarında yansıttığı ışınlar ölçülmüştür. Böylece dalga boylarının uydu görüntülerinin yorumlanabilmesi ve değerlendirilebilmesi mümkün olmuştur. Ancak spektroradyometre ölçümleri Karaçam ve Sarıçam dallarının ayırt edilebilmesinde kullanılabilecek yeterli sonuçlar vermemiştir. Kullanılan uydu görüntülerinden de bu ağaç türlerini birbirinden ayıracak farklar elde edilememiştir.
- ✓ Orman amenajman planlarından elde edilen bulguların çalışmamızda bir yer ölçmesi olarak kullanılması mümkün olmamıştır. Çünkü bu planlarda 300x300 m^2 alanlarda alınmış olan noktaların koordinatları ve bu noktalardaki ağaç türleri verilmemektedir. Planlarda ekli haritalarda bölme ve bölmeciklere ait hâkim ağaç türleri ile önemli miktarda karışım yapan ağaç türlerinin adları belirtilmektedir. Bu da bizim çalışmamızda kullanılabilir bir bilgi değildir.
- ✓ **Çelik (2006)** tarafından yapılan araştırmada 8 kesitte alınan noktalar çalışmamızda değerlendirilebilmiştir. Ancak bu noktaların bazılarının koordinatlarında o noktada tanımlanan nitelikte orman bulunmamaktadır. Bu uyumsuzluk uydu görüntüsü incelendiğinde ortaya çıkmış ve koordinatlarının ait olduğu noktanın en yakındaki orman alanında olduğu anlaşılmıştır. Söz konusu nokta kaymasının kullanılan alete ait koordinat parametre tanımlamalarının iyi yapılamamasına ve ormanın kapalılığına bağlı olarak aletin uydular ile yeterli temas kuramamış olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Tarafımızdan alınan kontrol noktaları ile uydu görüntülerindeki aynı koordinatlardaki ormanın yapısı birbirine uygun bulunmuştur.
- ✓ Sonuç olarak ormanın ağaç ve çalı türlerinin kapalılığına ait özelliklerinin arazide yer ölçmeleri ile belirlenmesinde koordinat tespitinin yeterli yapılması gerekmektedir. Özellikle arazi ölçmelerinde noktaların ormanı temsil eden büyük homojen alanlarda alınması ve orman kapalılık değerlerinin yüzde olarak belirlenmesi uydu görüntüleri ile çalışmanın doğruluğunu arttıracaktır. Ayrıca

arazide atılacak olan noktaların yeri GPS ile tespit edilmesi yanında ayrıca topografik haritalardan da kontrolü yapılarak çalışılmalıdır. Buna rağmen kullanılan el aletlerindeki sapmaların yakalanabilmesi için aynı koordinatlardaki uydu görüntüleri ile karşılaştırılmalarının yapılması şarttır.

- ✓ Sündiken Dağlık Kütlesi'nin kuzey ve güney bakılı yamaçları arasındaki güneş enerjisinin alınması farklı olduğu gibi yeryüzünün ısınması ve bu ısınmadan dolayı sıcaklık yayımlaması da (neşretmesi) farklıdır. Yeryüzünün ısınması bakı yanında yükseltiye de bağlı olarak değişmektedir. Bunun sebeplerinden bir tanesi de yeryüzünü etkileyen hava kütlelerinin sıcaklığıdır. Dolayısıyla yükselti/iklim kuşaklarında ormanların tür birleşimleri yükseltiye, bakıya ve eğime bağlı olarak değişen sıcaklık ilişkileri ile yakından ilgilidir. Bu konuda birçok model çalışması **Kantarcı (2005b)**'de verilmiştir. Ancak bu çalışmada uydu görüntülerinden sıcaklık bandında algılanan sıcaklık değerleri ve bunların yer yüzeyine indirgenmesi yöntemleri üzerinde çalışılmıştır. Çevredeki meteoroloji istasyonları ve arazide 7 noktada ölçtüğümüz sıcaklık değerleri ile uydu görüntülerinden tam kuzey (337.5^o–22.5^o) ve tam güney (157.5^o–202.5^o) bakılardaki açık alanlarda (100 m kuşaklara göre) elde ettiğimiz yüzey sıcaklığı değerleri ilişkilendirilmiştir. Uygulanan yöntem ile sıcaklığın doğrusal bir fonksiyon halinde değişmediği, arazinin eğimine de bağlı olan güneş enerjisi alımı ile bağıntılı bir fonksiyona bağlı olarak değiştiği sonucuna ulaşılmıştır (Tablo D.1 ve Tablo D.2).
- ✓ Yükselti-iklim kuşaklarının ve bu kuşaklarda yer alan ormanın tür birleşiminin uydu görüntüleriyle algılanmasında Sarıçam ve Karaçam ormanlarında önemli sorunlar çıkmıştır. Amaç **Çelik (2006)** tarafından yapılmış çalışmada kullanılan 8 kesitte ölçülmüş olan 105 örnek alanın noktaları arasındaki yatay sınırların uydu görüntüleri ile çizilmesidir. Ancak gerek uydu görüntülerinde gerekse spektroradyometre ölçmelerinde Sarıçam ile Karaçam ormanlarının ayırt edilmesi mümkün olmamıştır. Bu sebeple uydu görüntülerinden Karaçam ve Sarıçam kuşağının sınırlarının geçirilmesi de mümkün olamamıştır. Öte yandan uydu görüntülerinin yer ölçmeleri olmadan ağaç türlerinin belirlenmesinde kullanılması da mümkün değildir. Yukarıda yer ölçmelerinin hangi şartlarda

değerlendirilebilir olduğu konusu tartışılmıştır. Bütün bu yetersizliklere rağmen uydu görüntüleri yükselti/iklim kuşaklarının ve bu kuşaklardaki ormanların tür birleşimlerinin belirlenmesinde kısmen ve orman kapalılığının ölçülmesinde ise yeterli başarıyı sağlamıştır.

6. ÖNERİLER

- ✓ EO–1 Hyperion uydu görüntüleri ile yapılan çalışmalardan verim alınabilmesi için algılayıcıdan kaynaklanan radyometrik hataların giderilmesi gerekmektedir.
- ✓ Bitki örtüsüne ait EO–1 Hyperion uydu görüntüsü ile yapılan uygulamalarda sınıflandırma işlemlerinden daha iyi sonuçlar elde edebilmek için algılayıcı ve atmosferik etki sebebiyle gürültü içeren uzak kızıl ötesine ait spektral bantların elimine edilmesi gerekmektedir.
- ✓ Sınıflandırma işlemlerinde uydu görüntüsüne ek olarak arazi özelliklerini içeren yükseklik, bakı, eğim gibi yardımcı veriler analiz sonuçlarının doğruluğunun iyileştirilmesi için önemlidir.
- ✓ Özellikle arazide yapılan spektroradyometre ölçmelerinde sağlıklı spektral verilerin elde edilmesi için her ölçmeden sonra optimizasyon işlemi yapılması önemlidir.
- ✓ Orman kapalılık haritalarının meşcere türleri dikkate alınarak yapılması gerekmektedir.
- ✓ Termal uydu görüntüleri ile yapılan çalışmalarda daha doğru sonuçların elde edilmesi için atmosferik düzeltme getirilmesi önemlidir.
- ✓ Termal uydu görüntüsünün kalibrasyonuna yönelik yapılan arazi çalışmaları mümkün olduğu kadar uydu ile eş zamanlı (+-15 dk) olarak yapılması sonuçların doğruluğu açısından önemlidir.
- ✓ Amenajman planlarında 300 m aralıkla alınan noktaları yer ölçmesi olarak kullanıp uydu görüntülerinden meşcere haritaları yeterli bir güvenirlikle hazırlanabilir. Çünkü amenajman planlarında bir nokta 9 ha'ı temsil etmektedir. 30x30m lik piksel ile algılanan bir uydu görüntüsü 9 ha 100 noktayla okunmaktadır.

- ✓ Ancak amenajman planlamasındaki arazi çalışmalarında örnek alandaki meşcerede bulunan ağaç ve çalı türlerinin tümü türleri ve varyeteleri ile yazılmalıdır. Bu türlerin meşcereye katılma oranları da belirtilmelidir. Çünkü amenajman planlarında meşcere tanımlaması yapılırken ormanı kuran hakim ağaç türü ile karışan ağaç türü belirtilmektedir. Bu tip belirtmeler uydu görüntülerinden meşcereyi okumak ve diğer meşcerelerden farkını yakalamak için yeterli değildir.
- ✓ Orman amenajmanlarındaki yer ölçmelerinin uydu görüntülerinde kullanılabilmesi için anakaya ve orman içi açıklıklarda açıklığı örten bitki türleri ve arazi kullanımı ile (mera, erozyon alanı, bozuk-seyrek çalılık, bağ-bahçe, tarla vb.) belirlenmelidir. Anakayanın rengi (kireç taşı gibi) veya tabakaların eğimi (şistler gibi) önemli yansıma farklarına sebep olmaktadır. Bu sebeple anakayanın ne olduğunun bilinmesi gerekir.
- ✓ Yapraklı ormanlar ile ibreli ormanların tabakalı olarak karıştığı sık ormanlarda uydu görüntülerinin ağaçların yaprak döktüğü ve yapraklandığı iki ayrı mevsimde değerlendirilmesi daha uygundur. Böylece ibreli türlerin kapalılığa katılma oranı daha iyi belirlenebilir. Özellikle üst tabakada ışık ağaçların (çamların) alt ve ara tabakada gölge ağaçlarının (kayınların) veya yarı gölge ağaçların (meşelerin) bulunduğu ormanlarda farklı mevsimlerde uydu görüntüsü değerlendirilmesi gerekebilir. Bu konuda diğer bir durum ise kayın ormanının altında veya meşe ormanının altına bir gölge ağacı olan Köknar gençliğinin yerleşmesi halidir **(Kantarcı, 2005)**.
- ✓ Yukarıda belirtilen özellik ışık ağaçları arasında daha nemli veya daha kurak yetişme ortamlarında gölgeye dayanabilme kapasitelerine de bağlıdır **(Kantarcı, 2005)**. Bu durum çalışma alanımızın kuzey bakılı yamaçların Karaçam-Meşe karışık ormanlarında görülebilmektedir.
- ✓ Orman amenajman planları dışında uydu görüntülerinin farklı ormancılık amaçları veya doğal kara ekosistemlerinin araştırılmasında kullanılması halinde farklı yetişme ortamlarında ormanın tür birleşimindeki çeşitliliğin belirlenebilmesi için farklı bakılardan her 100 m yükselti kuşağında ve farklı

eğim sınıflarında ve farklı anakayaların yayıldığı alanlarda yeterli sayıda yer ölçmesi yapılması şarttır. Ayrıca farklı arazi kullanımlarında yer ölçmeleri ile belirlenmelidir. Bütün bu ölçmelerde spektroradyometre kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

Anderson, J.R., Hardy, E.E., Roach J.T. and Witmer, R.E., 1976. A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. USGS Professional Paper 964, U.S. Geological Survey, Reston, VA.

ASDI, 2007. Product (Spectroradiometers) Specifications — FieldSpec, http://www.asdi.com/products_specifications-FS3.asp, (03.06.2007).

Asrar, G., 1989. Theory and Applications of Optical Remote Sensing, J. Wiley, New York.

Baret, F., and Guyot, G., 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment, *Remote Sensing of Environment*, **35,** 161-173.

Baret, F., Guyot, G., and Major, D.J., 1989. TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation, *the 12th Canadian Symposium on Remote Sensing and IGARSS'89*, Vancouver ,Canada, 1355–1358.

Bayar, A.F., 1991. Eskişehir İklim Etüdü, Çevre Bakanlığı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

Campbell, J.B., 1987. Introduction to Remote Sensing, Guilford Press, New York.

Cairns, B., Carlson, B.E., Ying, R., Lacis, A.A., and Oinas, V., 2003. Atmospheric correction and its application to an analysis of Hyperion data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, **41**, 1232-1245.

Carlson, T.N., and Ripley, D.A., 1997. On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index, *Remote Sensing of Environment,* **62**, 241-252.

Chavez Jr., J.P., Guptill, S.C., Bowell, J.A., 1984. Image Processing Techniques for Thematic Mapper Data. *ASP Conference*, Washington, September, 728-752.

Cibula, W.G. and Nyquist, M.O., 1987. Use of topographic and climatological models in a geographic data base to improve Landsat MSS classification for olympic national park. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,* **53**, 67-75.

Civco, D.L., 1989. Topographic normalization of landsat thematic mapper digital ımagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **55,** 1303-1309.

Cohen, J., 1960. A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, **20,** 37-46.

Congalton, R.G. and Mead, R.A., 1983. A quantitative method to test for consistency and correctness in photointerpretation, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **49,** 69-74.

Congalton, R.G., 1991. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data, *Remote Sensing of Environment*, **37,** 35-46.

Crippen, Robert E., 1987, The regression intersection method of adjusting image data for band ratioing, *International Journal of Remote Sensing*, **8,** 137-155.

Curran, P.J., Dungam, B.A., Macler, S.E., Plummer, and Peterson, D.L., 1992. Reflectance spectroscopy of fresh whole leaves for the estimation of chemical concentration, *Remote Sensing of the Environment*, **39**, 153-166.

Çelik, N., 2006. Sündiken Dağları Kütlesi'nin yetişme ortamı özellikleri ve sınıflandırılması, *Doktora Tezi*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul.

Çetin, M., Kavzoglu, T. and Musaoğlu, N., 2004. Classification of Multi-Spectral, Multi-Temporal and Multi-Sensor Images Using Principle Component Analysis and Artificial Neural Networks: Beykoz Case, *ISPRS Congress*, İstanbul.

Dennison, P.E., Halligan, K.Q. and Roberts, D.A., 2004. A comparison of error metrics and constraints for multiple endmember spectral mixture analysis and spectral angle mapper, *Remote Sensing of the Environment*, **93**, 359-367.

Ekim, T., 1977. Sündiken Dağları vejetasyonunun sosyolojik ve ekolojik yönden araştırılması, *Doçentlik Tezi,* Ankara Üniversitesi Sistematik Botanik Kürsüsü, Ankara.

Ekim, T., Akman, Y., 1991. Eskişehir İli, Sündiken Dağları'ndaki orman vejetasyonunun bitki sosyolojisi bakımından araştırılması. *Doğa Türk Botanik Dergisi*, **15,** 28-40.

Erdas Field Guide, 2003. Seventh Edition V.8.7, Leica Geosystems GIS & Mapping Inc. , Atlanta, USA.

Fitzpatrick-Lins, K., 1981. Comparison of sampling procedures and data analysis for a land-use and land-cover map, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **47**, 343–351.

Flanders, D., Hall-Beyer, M., Pereverzoff, J., 2003. Preliminary evaluation of eCognition object-based software for cut block delineation and feature extraction. *Canadian Journal of Remote Sensing,* **29**, 441-452.

Foody, G.M., 1992. On the compensation for chance agreement in image classification accuracy assessment. *Photogrammetric Enginering and Remote Sensing,* **58,** 1459-1460.

Franklın, S.E. and Peddle, D.R., 1989. Spectral texture for improved class discriminationin complex terrain, *International Journal of Remote Sensing*, **10,** 1437-1443.

Franklin, S.E., Wilson, B.A., 1992. A three-stage classifier for remote sensing of mountain environments, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **58,** 449-454.

Gillespie, A. R., Matsunaga, T., Rokugawa, S., and Hook, S.J., 1998. A temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images, *IEEE Trans. Geosc. Remote Sensing,* **36,** 1113-1126.

Gong P. and Howarth P., 1992. Frequency-based contextual classification and grey-level vector reduction for landuse identification, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **58,** 423-437.

Goodenough, D.G., Dyk, A., Niemann, K.O., Pealman, J.S., Chen, H., Han, T., Murdoch, M., and West, C., 2003. Preprocessing Hyperion and ALI for forest classification, *IEEE Trans. On Geosci. Rem. Sens.*, **41,** 1321-1331.

Hellden, U., 1980. A test of Landsat-2 imagery and digital data for thematic mapping illustrated by an environmental study in northern Kenya. Sweden, Lund University, Natural Geography Institute Report No. 47.

Hill, R.A., 1999. Image segmentation for humid tropical forest classification in Landsat TM data, *International Journal of Remote Sensing*, **20,** 1039–1044.

Holben B.N. and Justice C.O., 1980. The topographic effect on spectral response from nadir-pointing sensors, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **46,** 1191-1200.

Hubbard, B.E., Crowley J.K. and Zimbelman D.R., 2003. Comparative alteration mineral mapping using visible to shortwave infrared (0.4–2.4 _m)

Hyperion, ALI, and ASTER imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **41,** 1401–1410.

Huete, A.R., 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI), *Remote Sensing of Environment*, **25**, 53-70.

Hutchinson, C.F., 1982. Techniques for combining Landsat and ancillary data for digital classification improvement, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,* **48,** 123-130.

Hyyppa, H.J. and Hyyppa, J.M., 2001. Effects of stand size on the accuracy of remote sensing-based forest inventory, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **39,** 2613–2621.

Janssen, L.L.F., Jaarsma, M.N. and van der Linden, E.T.M., 1990. Integrating topographic data with remote sensing for land-cover classification, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **56,** 1503-1506.

Jensen, J.R., 1986. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, Prentice Hall, New Jersey.

Jensen, J.R., 1996. Introductory Digital Image Processing: A remote sensing perspective, Prentice-Hall.

Jones, A.R., Settle, J.J., and Wyatt, B.K., 1988. Use of digital terrain data in the interpretation of SPOT-1 HRV multispectral imagery, *International Journal of Remote Sensing*, **9**, 669–682.

Jupp, D.L.B., 2002. Discussion around Hyperion data: background notes for the Hyperion data users, Workshop, CSIRO EOC, Canberra, Australia.

Kahle, A.B., Madura, D.P., and Soha, J.M., 1980. Middle infrared multispectral aircraft scanner data analysis for geological applications, *Applied Optics*, **19,** 2279-2290.

Kantarcı, M.D., 1978. Aladağ Kütlesi'nin (Bolu) kuzey aklanındaki Uludağ Göknarı ormanlarında yükselti - iklim kuşaklarına göre bazı ölü ve toprak özelliklerinin analitik olarak araştırılması, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, **28,** 60-116.

Kantarcı, M.D., 1979a. Kuzey Trakya Dağlık orman yetişme bölgesinin yöresel sınıflandırılması, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, **29,** 42-71.

Kantarcı, M.D., 1979b. Aladağ Kütlesi'nin (Bolu) Kuzey Aklan'ındaki Uludağ Göknarı Ormanlarında Yükselti - İklim Kuşaklarına Göre Bazı Ölü ve Toprak Özelliklerinin Analitik Olarak Araştırılması, İ.Ü. Orman Fakültesi Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.

Kantarcı, M.D., 1980a. Aladağ Kütlesinin (Bolu) Kuzey Yamacı'ndaki Uludağ Göknarı ibrelerindeki mineral madde miktarlarının yükselti - iklim kuşaklarına göre değişimi, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, **30,** 135-152.

Kantarcı, M.D., 1980b. Aladağ Kütlesinde (Bolu) Uludağ Göknarı'nın büyümesi ibrelerdeki azot miktarı arasındaki ilişkiler üzerine bir araştırma, TÜBİTAK VII. Bilim Kongresi, Ekim, Adana.

Kantarcı, M.D., 1982a. Akdeniz Bölgesi'nde Doğal Ağaç ve Çalı Türlerinin Yayılışı ile İlgili Bölgesel Yetişme Ortamı Özellikleri Arasındaki İlişkiler, İ.Ü. Orman Fakültesi Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.

Kantarcı, M.D., 1982b. Türkiye Sedirleri (Cedrus Libani A. Richard) ve doğal yayılış alanında bazı ekolojik ilişkiler, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, **32,** 113-198.

Kantarcı, M.D., 1983. Türkiye'de Arazi Yetenek Sınıfları İle Arazi Kullanımının Bölgesel Durumu, İ.Ü. Orman Fakültesi Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.

Kantarcı, M.D., 1984. Türkiye'nin Batı Akdeniz bölümündeki ağaçlandırmalarında ekolojik değerlendirmeler, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, **34,** 81-103.

Kantarcı, M.D., 1985. Akdeniz Bölgesinde yetişme ortamı bölgesel sınıflandırmasının yorumu, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, **35,** 59-82.

Kantarcı, M.D., 1988. Beydağları'ndaki Bakir Sedir ormanlarında ekolojik değerlendirmeler, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, **38,** 69-91.

Kantarcı, M.D., 1990a. Akdeniz Bölgesinin yetişme ortamı bölgesel sınıflandırması, Orman Genel Müdürlüğü Basımevi, Ankara.

Kantarcı, M.D., 1990b. Reşadiye (Datça) Yarımadasının ekolojik özellikleri, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, **40,** 55-78.

Kantarcı, M.D., 1991. Akdeniz Bölgesi'nin Yetişme Ortamı Bölgesel Sınıflandırması, T. C. Orman Bakanlığı, Ankara.

Kantarcı, M.D., 1992. Reşadiye (Datça) Yarımadası, *Datça Yarımadası Çevre Sorunları Sempozyumu,* İzmir, 6-9 Haziran, s. 20-23.

Kantarcı, M.D., 1995. Doğu Karadeniz bölümünde bölgesel ekolojik birimler, 1. *Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, Trabzon, 23-25 Ekim, s. 111-138.

Kantarcı, M.D., 1996. Trakya'nın çevre sorunlarına ekoloji açısından bakış, *Trakya'da Sanayileşme ve Çevre Sorunları Sempozyumu,* Edirne, 3-6 Ocak, s. 287-295.

Kantarcı, M.D., 1997. Biga Yarımadasındaki ekolojik faktörler ile ağaç türlerinin yayılışı arasındaki ilişkiler, *Yerleşim ve Çevre Sorunları Sempozyumu,* Çanakkale, 9-13, s. 28.

Kantarcı, M.D., 1998a. Biga Yarımadası'ndaki yükselti - iklim kuşakları ile ağaç ve çalı türlerinin yayılışı arasındaki ilişkiler, *Kasnak Meşesi ve Türkiye Florası Sempozyumu*, İstanbul, 21-23 Eylül, s. 480-498.

Kantarcı, M.D., 1998b. Bodrum Yarımadası'nın ekolojik özellikleri ve doğal dengenin korunması için öneriler, *Bodrum Yarımadası Çevre Sorunları Sempozyumu*, 15-20 Şubat, İzmir, s.265-286.

Kantarcı, M.D., 2000. Toprak İlmi, İ.Ü. Orman Fakültesi Çantay Basımevi, İstanbul.

Kantarcı, M.D., 2002. Fırtına Deresi'nde elektrik üretimi projesinin ekolojik açıdan incelenmesi, *II. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, Artvin, 15-18 Mayıs, s. 309-327.

Kantarcı, M.D., 2005a. Türkiye'nin Yetişme Ortamı Bölgesel Sınıflandırması ve Bu Birimlerdeki Orman Varlığı ile Devamlılığının Önemi, İstanbul Üniversitesi Basım ve Yayınevi Müdürlüğü, İstanbul.

Kantarcı, M.D., 2005b. Orman Ekosistemleri Bilgisi, İstanbul Üniversitesi Basım ve Yayınevi Müdürlüğü, İstanbul.

Kantarcı, M.D., 2006. Kişisel görüşme.

Kantarcı, MD., Tolunay, D., 1996. İstanbul Üniversitesi orman fakültesi eğitim ve araştırma ormanında toprak ve yetişme ortamı özelliklerinin belirlenmesi ve haritalanması, *İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu Proje Geliştirme Raporu*, 640/210994.

Kettig, R.L. and Landgrebe, D.A., 1976. Computer classification of remotely sensed multispectral ımage data by extraction and classification of homogeneous objects, *IEEE Transactions on Geoscience Electronics*, 14, 19-26.

KHGM, 2001. Eskişehir İli Arazi Varlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

NASA, 2007. Landsat 7 science data users handbook, http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_toc.html (18.06.2007)

Ma, Z., and Redmond, R.L., 1995. Tau coefficients for accuracy assessment of classification of remote sensing data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **61,** 435-439.

Major, D.J., Baret, F., and Guyot, G., 1990. A ratio vegetation index adjusted for soil brightness, *International Journal of Remote Sensing*, **11**, 727–740.

Makela, H. and Pekkarinen, A., 2001. estimation of timber volume at sample plot level by means of image segmentation and Landsat TM imagery. Remote Sensing of Environment, **77,** 66-75.

Markham, B.L. and Barker, J.L., 1986. Landsat MSS and TM post calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectance, and at-satellite temperature, *EOSAT Landsat Technical notes*, **1,** 3-8.

Mason, D.C., Corr, D.G., Cross, A., Hogg, D.C., Lawrence, D.H., Petrou, M., and Tailor, A.M., 1988. The use of digital map data in the segmentation and classification of remotely-sensed images. *International Journal of Geographical Information Systems*, **2,** 195-215.

McKeown, Jr.D.M., Harvey, W.A. and McDermott, J., 1985. rule based ınterpretation of aerial ımagery, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **7,** 570-585.

Meteoroloji, 2006**.** T.C. Cevre ve Orman Bakanlıgı Devlet Meteoroloji İsleri Genel Müdürlüğü Elektronik Bilgi İşlem Müdürlüğü verileri.

Milazzo, V.A., 1980. A review and evaluation of alternatives for updating US Geological Survey land use and land cover maps. Circular 826, US Geological Survey, Reston, VA, USA.

Moran, M.S., Jackson, R.D., Slater, P.N., and Teillet, P.M., 1992, Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output, *Remote Sensing of Environment*, **41**, 169-184.

Musaoğlu, N., 1999. Elektro-optik ve aktif mikrodalga algılayıcılardan elde edilen uydu verilerinden orman alanlarında meşcere tiplerinin ve yetişme ortamı birimlerinin belirlenme olanakları, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Musaoğlu, N., Kantarcı, M.D., Kaya, Ş., 2005. The use of different remote sensing imagery to forest lands a case study Belgrad forest, *Remote Sensing in Transition*, Milpress, Roterdam-Hollanda, s. 103-107.

OGM, 2002. Eskişehir Orman Bölge Müdürlüğü, 2002 yılı çalışma programı, Eskişehir.

Örmeci, C., 1987. Uzaktan Algılama (Temel Esaslar ve Algılama Sistemleri), İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, Cilt 1, İstanbul.

Richter, R., 2004. Atmospheric / Topographic Correction for Airborne Imagery. ATCOR-2/3 User Guide, Version 6.0, German Aerospace Center Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany.

Richter, R., 2005. Atmospheric / Topographic Correction for Airborne Imagery. ATCOR-4 User Guide, Version 4.0, German Aerospace Center Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany.

Richardson, A.J. and Wiegand, C.L., 1977. Distinguishing vegetation from soil background information', *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **43**, 1541-1552.

Saatçioğlu, **F.,** 1976. Silvikültürün Biyolojik Esasları ve prensipleri, İ.Ü. Orman Fakültesi Sermet Matbaası, İstanbul.

Sabine, C., 1999. Remote sensing strategies for mineral exploration, *Remote Sensing for the Earth Sciences–Manuel of Remote Sensing*, pp. 375–447, A. Rencz, American Society of Photogrametry and Remote Sensing/John Wiley and Sons, New York.

Sepulcre-Cantó, G., Zarco-Tejada, P.J., Jiménez-Muñoz, J.C., Sobrino, J.A. de Miguel, E., and Villalobos, F.J., 2006. Detection of water stress in an olive orchard with thermal remote sensing imagery**,** *Agricultural and Forest Meteorology,* **136,** 31-44.

Schaepman, M., 2005. Kişisel görüşme.

Shimabukuro, Y.E., Batista, G.T., Mello, E.M.K., Moreira, J.C. and Duarte, V., 1998. Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat Thematic Mapper images of the Amazon Region. International Journal of Remote Sensıng, **19,** 535-541.

Sinar, 2006. http://www.sinarinstruments.com/index.htm, (20.07.2006).

Sinha, A., 1995. Relative influence of lapse rate and water vapour on the greenhouse effect, *Journal of Geophysical Research,* **100,** 5095–5103.

Smith, J.A., Lin, T.L. and Ranson, K.J., 1980. The lambertian assumption and Landsat data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **46,** 1183-1189.

Story, M., and Congalton, R.G., 1986. Accuracy assessment: A user's perspective, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **52,** 397-399.

Tabazadeh, A., Jensen, E.J., Toon, O.B., 2001. Role of the stratospheric polar freezing belt in denitrification, *Science,* **291,** 2591-2594.

Teillet, P.M., Guindon, B. and Goodenough, D.G., 1982. On the slope-aspect correction of multispectral scanner data, *Canadian Journal of Remote Sensing*, **8,** 1537-1540.

Tuçdilek, N., 1957. İç Anadolu'nun kuzey-batı bölümünde (Eskişehir bölgesinde) bitki örtüsünün dağılışına bir bakış, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, **7,** 120-139.

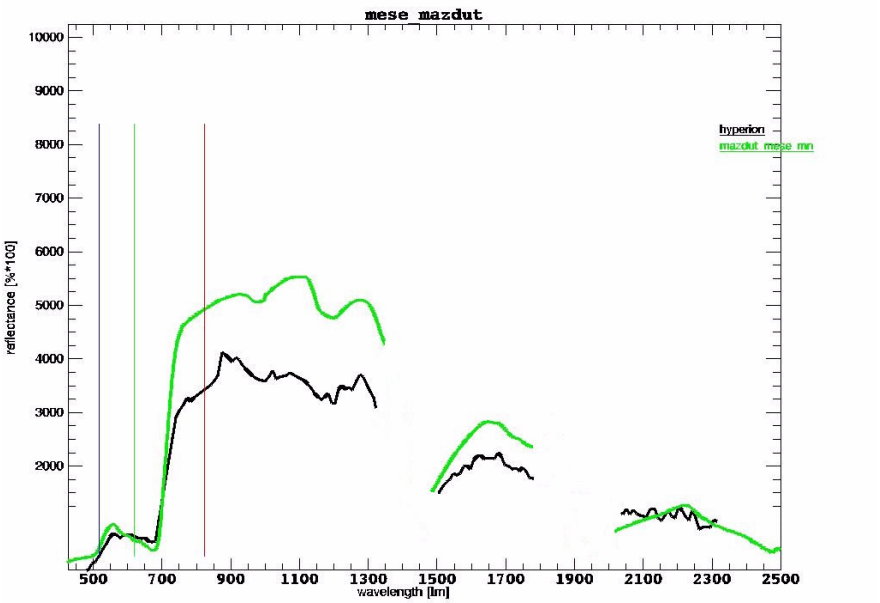
USGS, 2007. EO-1 user's guide, http://eo1.usgs.gov/userGuide/index.php, (03.06.2007).

Woodcock, C.E., and Harward, V.J., 1992. Nested-hierarchical scene models and image segmentation, *International Journal of Remote Sensing*, **13,** 3167-3187.

YSA, 2007. Yapay sinir ağları, http://www.yapay-zeka.org/files/tez/ysa1.zip, (13.06.2007).

EKLER

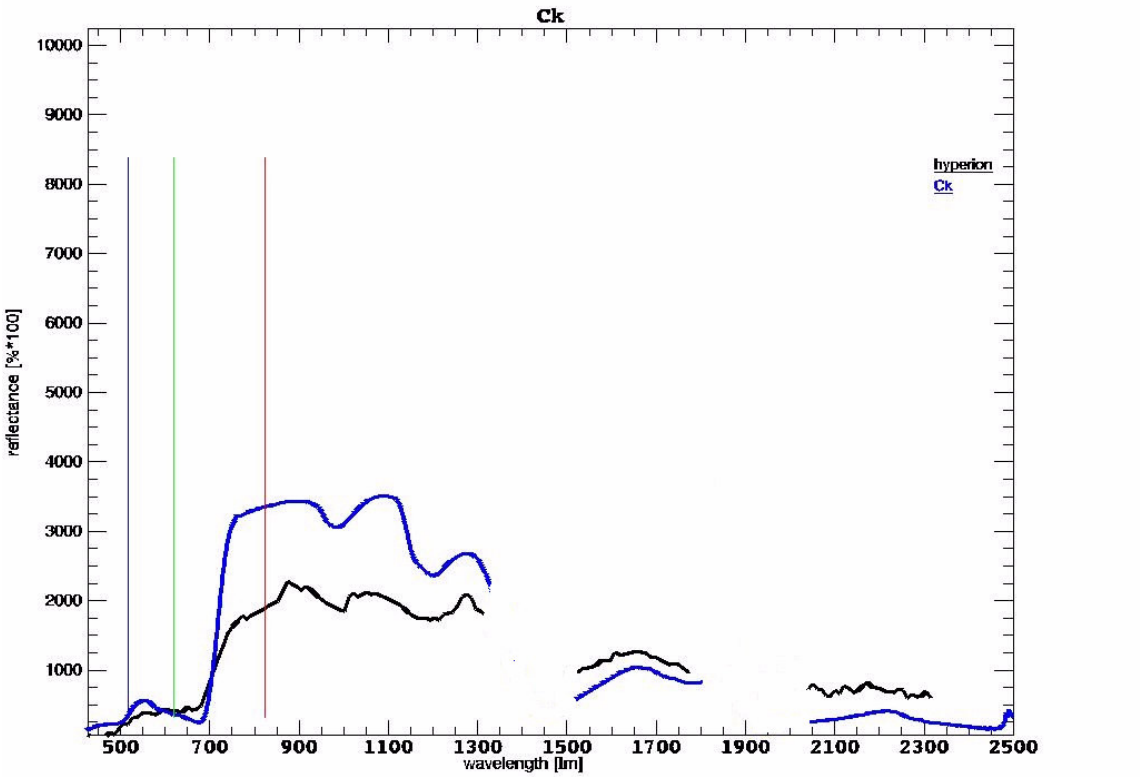
EK A



Şekil A.1: Mazdut Köyü, Meşelik (M) Alan için Hyperion (siyah) Görüntüsünden ve ASD Spektroradyometre (yeşil) ile Arazi Ölçümünden Elde Edilen Spektral Eğriler.



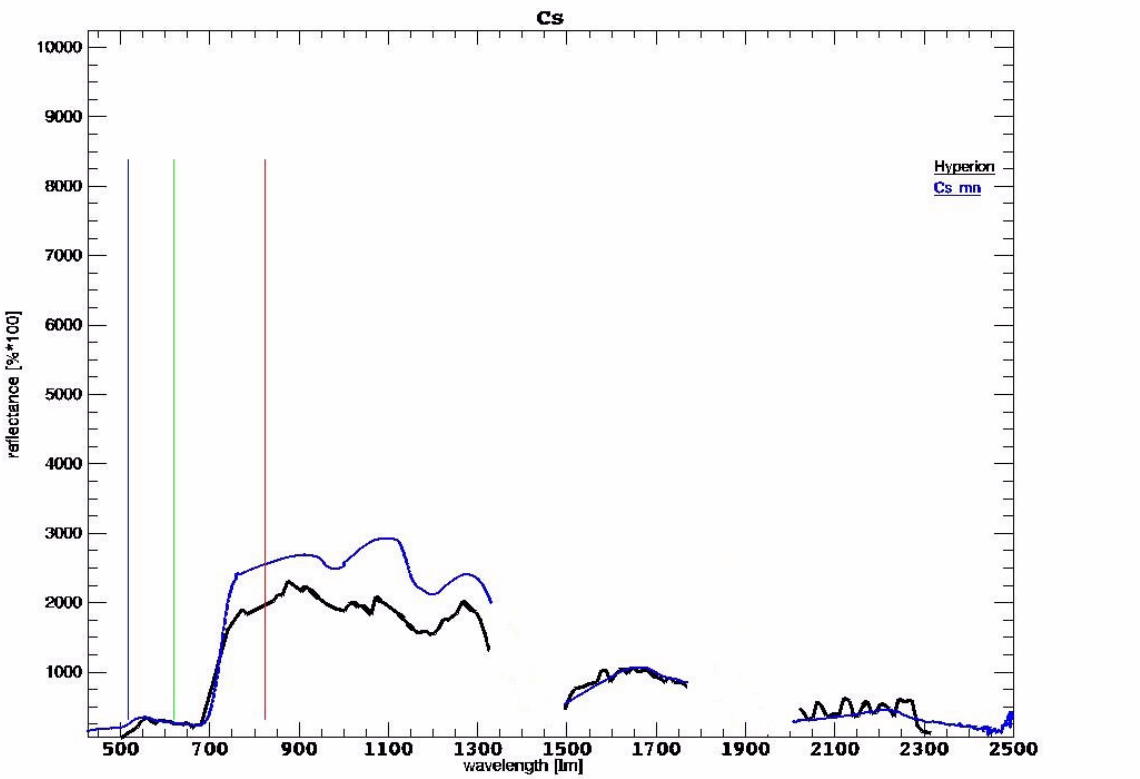
Şekil A.2: Mazdut Köyü, Meşelik Alanda ASD Spektroradyometre ile Spektral Örnek Toplanması



Şekil A.3: Karaçam (Çk) Alanı için Hyperion (siyah) Görüntüsünden ve ASD Spektroradyometre (mavi) ile Arazi Ölçümünden Elde Edilen Spektral Eğriler.



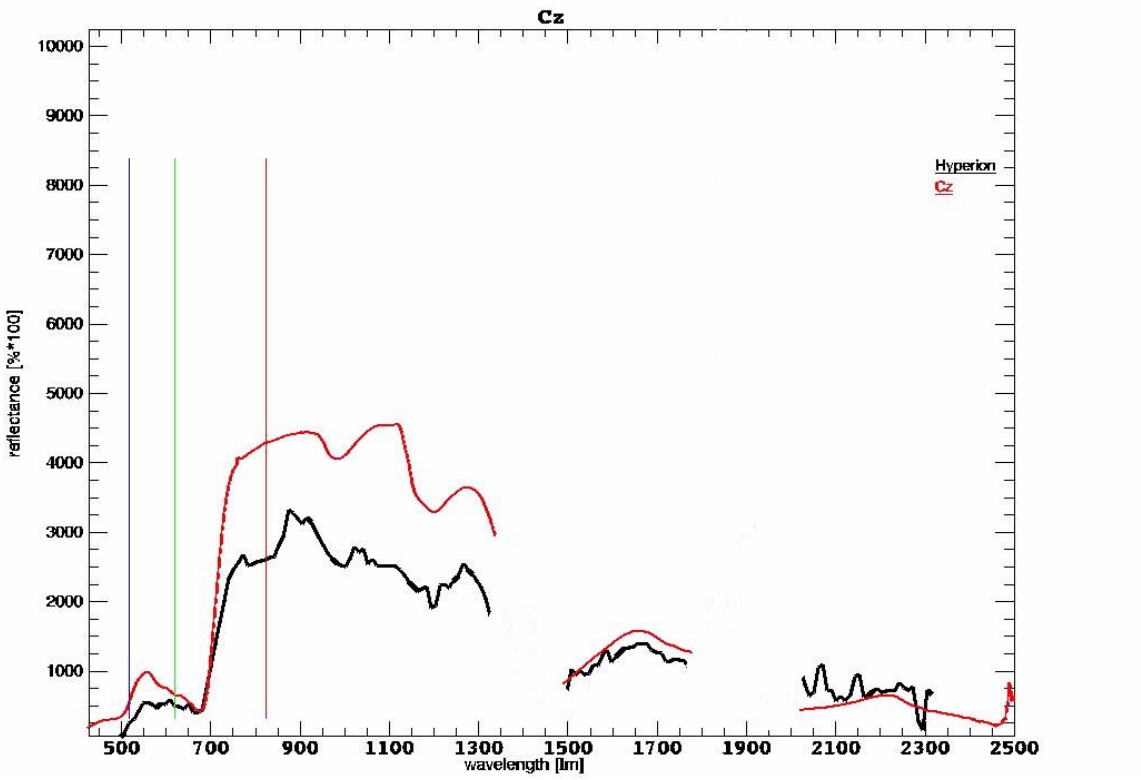
Şekil A.4: Karaçam Alanında ASD Spektroradyometre ile Spektral Örnek Toplanması



Şekil A.5: Sarıçam (Çs) Alanı için Hyperion (siyah) Görüntüsünden ve ASD Spektroradyometre (mavi) ile Arazi Ölçümünden Elde Edilen Spektral Eğriler.



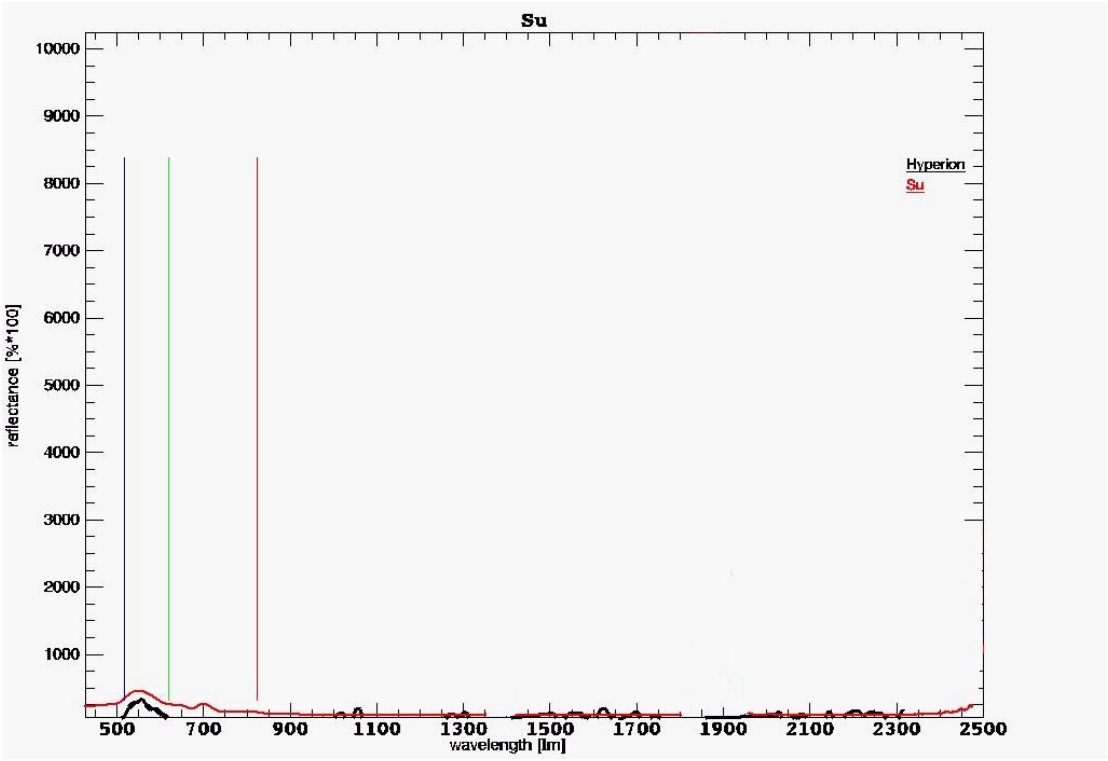
Şekil A.6: Sarıçam Alanında ASD Spektroradyometre ile Spektral Örnek Toplanması



Şekil A.7: Kızılçam (Çz) Alanı için Hyperion (siyah) Görüntüsünden ve ASD Spektroradyometre (kırmızı) ile Arazi Ölçümünden Elde Spektral Eğriler.



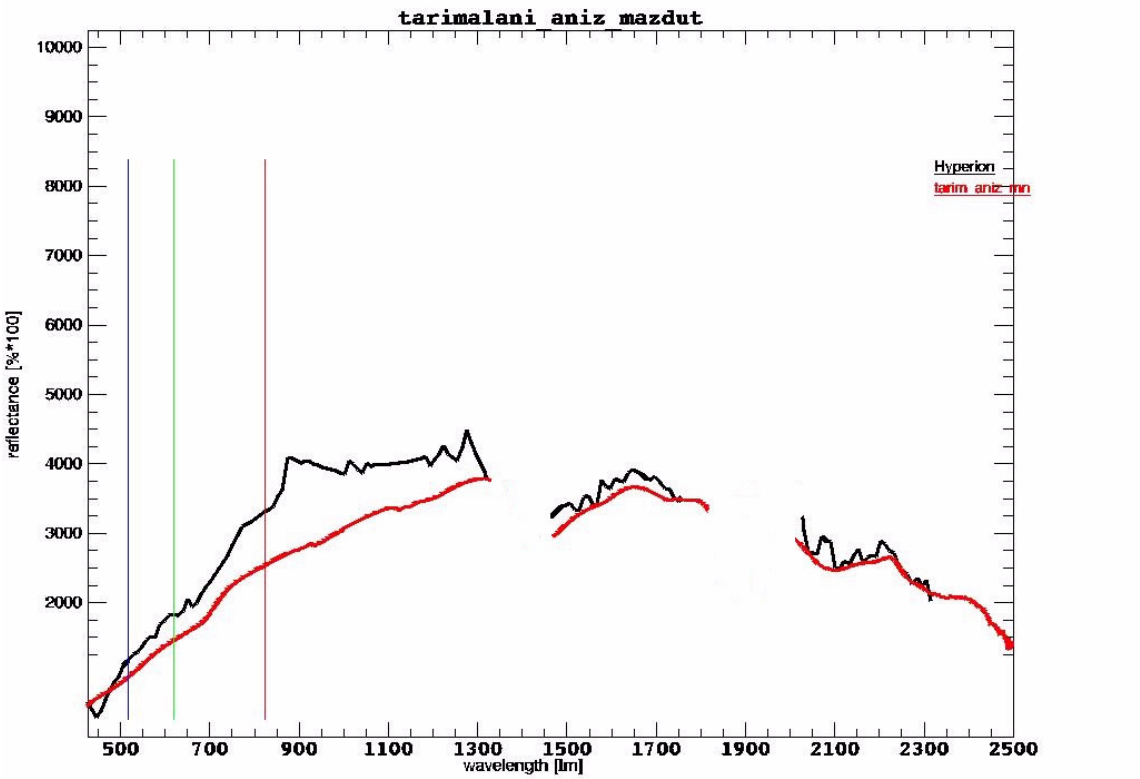
Şekil A.8: Kızılçam Alanı için ASD Spektroradyometre ile Spektral Örnek Toplanması



Şekil A.9: Süleler Köyü Açıklarında Sakarya Nehri'nde Su için Hyperion (siyah) Görüntüsünden ve ASD Spektroradyometre (kırmızı) ile Arazi Ölçümünden Elde Edilen Spektral Eğriler



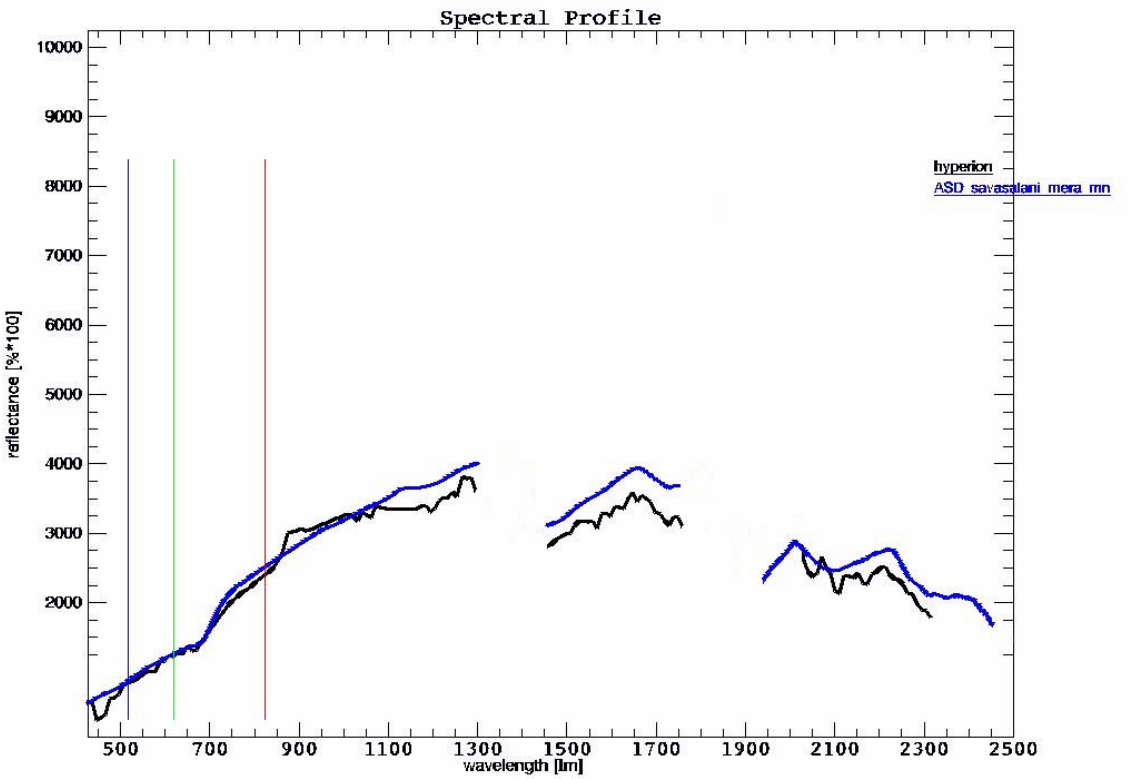
Şekil A.10: Süleler Köyü Açıklarında Sakarya Nehri'nde Su için ASD Spektroradyometre ile Spektral Örnek Alınırken



Şekil A.11: Mazdut Köyü, Tarım (Anız) Alanı için Hyperion (siyah) Görüntüsünden ve ASD Spektroradyometre (kırmızı) ile Arazi Ölçümünden Elde Edilen Spektral Eğriler



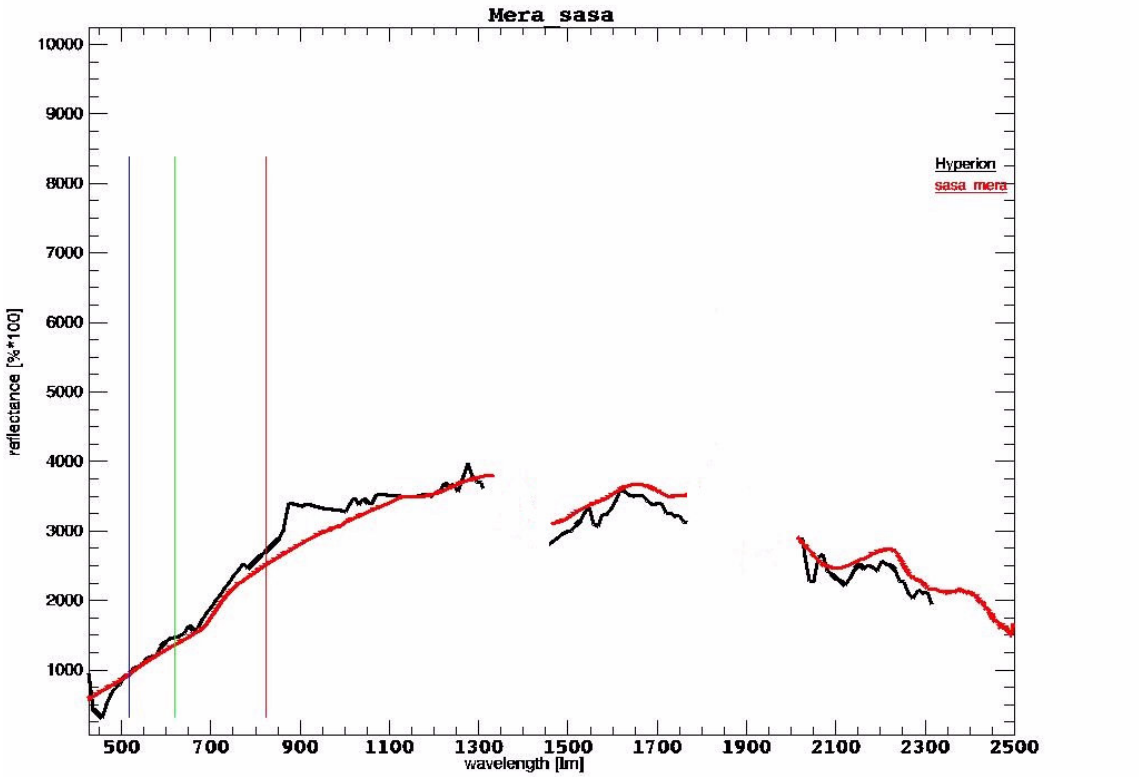
Şekil A.12: Mazdut Köyü, Tarım (Anız) Alanında ASD Spektroradyometre ile Spektral Örnek Alınırken



Şekil A.13: Savaş Alanı Mevkii, Meralık Alan için Hyperion (siyah) Görüntüsünden ve ASD Spektroradyometre (mavi) ile Arazi Ölçümünden Elde Edilen Spektral Eğriler



Şekil A.14: Savaş Alanı Mevkii, Meralık Alanda ASD Spektroradyometre ile Spektral Örnek Toplanması



Şekil A.15: Sasa Köyü Meralık Alan için Hyperion (siyah) Görüntüsünden ve ASD Spektroradyometre (kırmızı) ile Arazi Ölçümünden Elde Edilen Spektral Eğriler.



Şekil A.16: Sasa Köyü Meralık Alanda ASD Spektroradyometre ile Spektral Örnek Toplanması

EK B

Tablo B.1: Landsat–7 ETM+ Veri Setine ait Korelasyon Matrisi

	B1	B2	B3	B4	B5	B7	NDVI	TSAVI
B1	1.00							
B2	0.98	1.00						
B3	0.93	0.97	1.00					
B4	0.50	0.55	0.52	1.00				
B5	0.83	0.88	0.91	0.63	1.00			
B7	0.86	0.89	0.92	0.49	0.97	1.00		
NDVI	-0.78	-0.81	-0.88	-0.16	-0.79	-0.86	1.00	
TSAVI	-0.71	-0.73	-0.80	0.06	-0.66	-0.76	0.97	1.00

Tablo B.2: Landsat–7 ETM+ Veri Setine ait Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

BANT	B2	B3	B4	B5	B7
Ortalama	11.8	13.6	32.2	27.1	18.5
Standart Sapma	7.2	8.8	7.6	9.4	8.3

Tablo B.3: Landsat–7 ETM+ Veri Setine ait Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

Bant Kombinasyonu	OIF
3-4-5	125
3-4-7	128
2-4-5	118
2-4-7	120

Tablo B.4: Landsat–7 ETM+ (3-4-7-TSAVI) Veri Seti için Eğitim Sınıflarına ait Transformed Divergence (TD) Yöntemine göre Ayrılabilirlik Sonuçları

	Aç	BO	İbO	YapO	KaO	OT
Aç						
BO	2000					
İbO	2000	2000				
YapO	2000	1995	2000			
KaO	2000	2000	1974	1924		
OT	2000	1947	2000	2000	2000	

Tablo B.5: En Çok Olabilirlik Yöntemi ile Yapılan Sınıflandırmanın Doğruluk Matrisi

		Referans					
Sınıflandırma		**İbO**	**YapO**	**KaO**	**BO**	**OT**	**Aç**
	İbO	4825	0	2	0	1	9
	YapO	0	1725	45	5	0	0
	KaO	44	16	555	0	0	0
	BO	7	85	2	2240	36	38
	OT	0	0	0	57	2400	123
	Aç	0	0	0	42	103	10503
Genel Doğruluk= 0.97 , Kappa = 0.96							

Tablo B.6: Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Yapılan Sınıflandırmanın Doğruluk Matrisi

		Referans					
Sınıflandırma		İbO	YapO	KaO	BO	OT	Aç
	İbO	4864	0	11	0	1	84
	YapO	0	1766	129	16	0	2
	KaO	12	2	464	0	0	0
	BO	0	58	0	2269	69	39
	OT	0	0	0	53	2468	733
	Aç	0	0	0	6	2	9628
Genel Doğruluk = 0.94 , Kappa = 0.92							

Tablo B.7: Nesne Tabanlı Sınıflandırma yöntemi ile yapılan sınıflandırmanın doğruluk matrisi

		Referans					
Sınıflandırma		İbO	YapO	KaO	BO	OT	Aç
	İbO	4853	0	1	0	1	24
	YapO	0	1779	56	30	0	1
	KaO	23	2	541	0	0	0
	BO	0	47	6	2261	17	22
	OT	0	0	0	17	2388	31
	Aç	0	0	0	36	134	10595
Genel Doğruluk = 0.98 , Kappa = 0.97							

Tablo B.8: Hyperion Verisine ait SAM Yöntemi ile Yapılan Sınıflandırmanın Doğruluk Matrisi

		Referans					
Sınıflandırma		Çz	Çk/Çs	KaO	BO	OT	Aç
	Çz	217	65	3	0	0	0
	Çk/Çs	29	657	63	4	0	0
	KaO	4	257	174	0	0	0
	BO	0	0	0	262	13	0
	OT	0	0	0	58	345	0
	Aç	0	0	0	1	6	490
Genel Doğruluk = 0.81, Kappa = 0.76							

Tablo B.9: Hyperion Verisine ait Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi ile Yapılan Sınıflandırmanın Doğruluk Matrisi

		Referans					
Sınıflandırma		Çz	Çk/Çs	KaO	BO	OT	Aç
	Çz	256	2	1	1	0	0
	Çk/Çs	1	1044	3	2	0	0
	KaO	1	10	301	0	0	0
	BO	0	2	3	339	10	0
	OT	0	0	0	19	356	0
	Aç	0	0	0	0	0	490
Genel Doğruluk = 0.98, Kappa = 0.97							

EK C

Tablo C.1: Uydu Görüntüsünden Belirlenen Ormanın Tür Birleşiminin Çelik (2006) Tarafından Yapılan Yer Ölçmeleri ile Karşılaştırılması

	Yer ölçmeleri										Uydu Tespitleri			Meşcere		
Kesit No	Çz	Çk	Çs	M (Sç)	M (Mz)	M (Ty)	Ar (Ko)	Ar (Ka)	Ar (Byl)	Kapalılık	O.Türü	Kapalılık	Uyum	O.Türü	Uyum	
1/01	2					3	r			4	ÇzM	3	3	BÇz-BMbt	4	
1/02	2					3	r	3		5	ÇzM	3	4	BÇz-3	2	
1/03	r	3		4		4		2		5	ÇkM	2	4	BMBt	2	
1/04	1	2		r		2		2		3	BO	2	4	Çkc2	0	
1/05		2				2				3	Çk	2	4	Çkc2	0	
1/06		r		1		1				2	BO	1	4	Çkc2	1	
1/07		r		1	2					3	M	4	3	MBt3	4	
1/08		r		1	1					2	M	5	2	MBt3	4	
1/09				2	2					4	M	5	4	MBt3	4	
1/10		3		2	2	+		r		?	BO	1	0	BÇk-BMBt	4	*
1/11		r		3	1	1		1		4	M	3	4	BMBt-1	4	
1/12		3		2				2		4	M	2	1	Çka0	0	+
1/13		3				1		1		?	BO	1	0	Çka0	0	+
2/01	1							1		1	BO	1	4	BÇz	4	
2/02	2					3		2		2	BO	2	4	Çzcd2	4	
2/03	1	3		1		1		1		4	ÇkM	4	4	Çkbc2	2	
2/04		3		1	1					4	Çk	4	3	Çkc1	3	
2/05		2						2		2	Çk	1	4	BÇk	4	
2/06		3				2		2		4	Çk	4	3	Çkcd2	3	
2/07	1							1		1	BO	1	4	BÇk-2	0	
2/08		1						1		1	BO	1	4	BÇk	4	
2/09		2								2	Çk	2	4	BÇk	4	
2/10		2				2				3	Çk	2	4	BÇk	4	
2/11		3				1		r		?	OT	0	0	Çka0	1	+
2/12		4				1		2		?	OT	1	0	Çka0	0	+
3/01	3									3	BO	1	1	ÇzÇ2	3	
3/02	3				2	1	2	1	1	4	Çz	3	3	Çzc1	4	
3/03	3	r				1	1	2	2	3	Çz	3	4	BÇz-BMBt	4	
3/04	3	r		+	1	r	2	2	r	3	Çz	3	4	BÇz-BMBt	4	
3/05	3	1		1	1		1	1		5	BO	2	1	BÇz-BMBt	4	**
3/06		4		+						4	ÇkM	5	2	Çkc3	2	
3/07		4		1				1		5	Ck	5	3	Çkbc2	4	
3/08		4		1	1			1		5	Ck	5	3	Çkc3	4	
3/09		3						2	1	3	BO	1	1	BÇk	4	*
3/10		2			2	1		3	1	4	Çk	5	3	Çkb2	4	**
3/11		3				3		2		5	Çk	3	3	Çkc1	4	**
4/01	1				1		1		2	3	Çz	3	2	BAr	0	
4/02	2				1		1	2	1	2	BO	2	3	BAr	4	
4/03	2	r			1			1		2	Çz	3	3	BAr	0	
4/04	1	1		2	2		1	1	r	4	M	4	3	Arbc1	0	

Tablo C.1: Önceki Tablonun Devamı

	Yer ölçmeleri (Nejat)										Uydu Tespitleri			Meşcere		
Kesit No	Çz	Çk	Çs	M (Sç)	M (Mz)	M (Ty)	Ar (Ko)	Ar (Ka)	Ar (Byl)	Kapalılık	O.Türü	Kapalılık	Uyum	O.Türü	Uyum	
4/05	1	4	1	2	1			1		5	Çk	5	3	Çkc2	4	
4/06			5		1					5	Çk(Çs)	5	4	ÇsMc2	2	
4/07			4	1						4	Çk	5	4	ÇsMc2	2	
4/08			4					1		4	Çk	4	4	Çsd2	4	
4/09			4							4	Çk	4	4	Çsc3	4	
4/10			4							4	Çk	3	4	Çsc2	4	
4/11			4							4	Çk	4	4	Çsc2	4	
4/12			1							1	BO	1	4	ÇkÇsa	4	
4/13		4		1						5	ÇkM	5	3	Çkb3	3	
4/14		4		1		1	3	3		5	ÇkM	5	4	Çkb3	2	
4/15						1		2		1	BO	1	4	BÇk-BMBt	4	
5/01	4					1	r	2	2	5	BO	1	0	Çzb2	0	+
5/02	4			3	2			3		5	Çz	4	3	Çzbc1-1	4	
5/03		3	r	1	2					5	ÇkM	5	4	Çkbc3	2	
5/04		3	1	1	2			2		5	ÇkM	5	4	ÇkÇsc3	2	
5/05		1	4	1						5	Çk	5	4	ÇsÇkc3	4	
5/06			4							4	Çk	4	4	Çsa	4	
5/07			4							4	Çk	4	4	Csc3	4	
5/08			4							4	Çk	4	4	Çsa2	4	
5/09			4							4	Çk	4	4	Çsa2	4	
5/10			3							3	Çk	3	4	Çsd1	4	
5/11		3	r	1	2					5	Çk	4	3	ÇsÇkc2	4	
5/12		3		1	2	2				5	ÇkM	5	4	BÇk-BMBt	0	
5/13		3		1	3	r				5	ÇkM	4	4	Çka	2	
5/14		3		1	1	2		1		5	BO	1	0	BArÇk-OT	4	**
5/15						2		2		2	BO	1	4	BÇk-BMBt	4	
6/01	2			1	1			2		2	BO	1	1	Çzc2	4	
6/02	2			2	2			1		4	BO	1	0	Çzc1-3	0	+ +
6/03		2			1			1		3	Çk	5	3	Çkc3	4	
6/04		3			1			2		4	Çk	5	3	Çkc3	4	
6/05		3		1				2		5	Çk	5	2	Çkc3	4	
6/06		1	2		2					5	Çk	4	3	ÇsÇkc3	4	
6/07			3	1	1					5	Çk	5	3	ÇsÇkc3	4	
6/08			3		2					5	CkM	5	4	ÇkÇsd2	2	
6/09			3		r					4	Çk	5	4	ÇkÇsd2	2	
6/10		1	3		3			1		5	Çk	5	3	ÇkÇsd1	4	
6/11		2		2						4	Çk	4	3	Çkc2-T	4	
6/12				r			1	+	1	1	OT	0	3	BÇkBMBt	0	
6/13		3		r	2	3		1		5	Çk	4	3	Çkc2	4	
6/14		2		2		2		1		5	BO	2	1	BÇkBMBt	4	**
6/15		2			1	2		+		4	BO	1	3	BÇkBMBt	4	
6/16		r		+	2	2		1	1	2	BO	1	3	BÇkBMBt	4	

Tablo C.1: Önceki Tablonun Devamı

	Yer ölçmeleri (Nejat)										Uydu Tespitleri			Meşcere		
Kesit No	**Çz**	**Çk**	**Çs**	**M (Sç)**	**M (Mz)**	**M (Ty)**	**Ar (Ko)**	**Ar (Ka)**	**Ar (Byl)**	**Kapalılık**	**O.Türü**	**Kapalılık**	**Uyum**	**O.Türü**	**Uyum**	
7/01	2			1		1		3		2	BO	2	4	Çzc1	4	
7/02	3			3	1	1		r		5	Çz	3	3	Çzc2	4	
7/03	3	r				2		2		5	ÇzM	4	4	Çzc2	2	
7/04	r	3		1	1	1		1		4	BO	1	1	BMBt	4	**
7/05		4		2		1	1	1		5	Çk	5	3	BMBt	0	
7/06		3						2		5	ÇkM	4	3	Çkcd2	2	
7/07		4								4	Çk	4	4	Çkd2	4	
7/08		3							1	4	Çk	4	4	Çkd2	4	
7/09		3	r					1		3	Çk	4	4	Çkbc3	4	
7/10		3	r					1		4	Çk	4	4	Bar-T3	0	
7/11		3		3						5	ÇkM	4	4	BMBt	1	
7/12		3		2		2				5	M	4	1	Çkbc1	0	+
8/01							3	1	2	3	OT	0	0	Bar	0	+
8/02	2					4	1	3		5	BO	1	1	Çzc2	0	
8/03	2			1	3	1	1	3	1	5	BO	1	1	Çzbc2	0	
8/04	1	2				2	r	2		4	BO	1	2	BÇk2	4	
8/05	1	3				2		2	2	5	Çk	3	3	Çkc2	4	
8/06		2				1		2		4	OT	0	0	Z	4	*
8/07		2		+				+		2	ÇkM	4	3	Çkc2	3	
8/08		3		r	r	2		2		5	ÇkM	5	4	Çkbc2	2	
8/09		3	1	1	1	1		2	r	5	Çk	5	3	Çkc3	4	
8/10		3			1			1	1	5	Çk	5	3	Çkd2	4	
8/11		3						1		4	Çk	4	4	Çkd2	4	
8/12		3						3		4	Çk	3-4	3	BÇk-1	1	
8/13		3						2		4	Çk	4	3	Çkd3	4	

***:** Yer ölçmesinin koordinatı hatalı; **: Yer ölçmesinin kapalılık bilgisi hatalı; +: Ağaçlandırma sahasında bulunan genç fidanlar tespit edilemiyor; ++: Topografik etki sebebi ile Sakarya vadisinin alt yamaçlarındaki orman örtüsü tespit edilemiyor; +++: Ardıç tespit edilemiyor

Tablo C.2: Uydu Görüntüsünden Belirlenen Ormanın Tür Birleşiminin Tez Çalışması için Arazide Elde Edilen Yer Ölçmeleri ile Karşılaştırılması

	Yer ölçmeleri						Uydu Tespitleri			Meşcere		
Kesit No	Cz	Ck	Cs	M	Ar	Diğer	O.Türü	Kapalılık	Uyum	O.Türü	Uyum	
1	4						Cz	3	4	Czc2	4	
2	4						Cz	3	4	Czc2	4	
3	r						Aciklik	0	3	Z	4	
4	4				+		Cz	4	4	Czbc2	4	
5	4				+		Cz	4	4	Czc3	4	
6	4						Cz	4	4	Czc2	4	
7	4				+		Cz	4	4	Czc3	4	
8						Bozkir	aciklik	1	3	Z	4	
9		3					Ck	4	3	Ckc2	4	
10						bozkir	aciklik	0	4	Ckc2	0	*
11						fidanladen	BO	1	4	Ckbc3	0	*
12						fidanladen	BO	1	4	Ckbc3	0	*
13		4					Ck	4	4	Ckc3	4	
14						bozkir	BO	1	4	Z	2	
15		4					Ck	4	4	Ckc2-1	4	
16						aciklik	Aciklik	0	4	Z-2	4	
17		1		4			Ck	4	4	MBt-3	0	*
18				5			M	5	4	MBt-3	4	
19						OT	OT	0	4	OT	4	
20						OT	OT	0	4	OT	4	
21						bozkir	aciklik	0	4	OT	4	
22				4			M	4	4	MBt-3	4	
23		3		2			CKM	4	4	Ckbc2	2	
24		2		3			MCk	5	4	Ckbc2	2	
25				4			M	4	4	BMBt	2	
26				4			M	4	4	BMBt	2	
27						Bozkir	Aciklik	0	4	Z	4	
28				1			M	1	4	BMBt	4	
29				4			M	4	4	MBt-3	4	
30				4			M	4	4	BMbt	2	
31				2			BO	2	4	Z	4	
32				2			BO	2	4	OT	4	
33						bozkir	aciklik	0	4	Z-2	4	
34						tarla	OT	0	4	Z-2	4	
35						bozkir	aciklik	0	4	OT	4	
36		a					BO	1	0	Cka0	0	+
37		1				laden	BO	1	4	Ckbc2	0	*
38		4		+			Ck	4	4	Ckc2	4	
39				r			BO	1	4	BMBt	2	
40		a		1			BO	1	0	Cka0	0	+
41				+	+		OT	1	4	Bar-T	2	

Tablo C.2: Önceki Tablonun Devamı

	Yer ölçmeleri						Uydu Tespitleri			Meşcere		
Kesit No	**Cz**	**Ck**	**Cs**	**M**	**Ar**	**Diğer**	**O.Türü**	**Kapalılık**	**Uyum**	**O.Türü**	**Uyum**	
42					+		BO	1	4	BCk	4	
43		1					BO	1	4	BCk	4	
44		1					BO	1	4	BCk-2	4	
45		3					Ck	4	4	Ckcd2	4	
46		4					Ck	4	4	Ckbc3	4	
47	4						Cz	4	4	Czd2	4	
48	3			1			CzM	4	4	Czcd2	3	
49	1				2		BO	2	4	BCz-1	4	
50	1				2		BO	2	4	Bar	4	
51	4						Cz	4	4	Czc2	4	
52	4				+		Cz	3	3	Czc-1	3	
53	4						Cz	3	3	Czc-2	3	
54	4			+	+		Cz	4	4	BCz	1	*
55	4						Cz	4	4	Czc-2	4	
56	3	2					CzCk	5	4	MCkb3	2	
57		3		2			CkM	5	4	CkMc2	4	
58		3		2			CkM	5	4	Ckb3	3	
59		4		+			Ck	5	4	Ckbc-2	4	
60		5					Ck	5	4	Ckc3	4	
61		5					Ck	5	4	Ckc3	4	
62		4					Ck	5	4	Ckc3	4	
63						tarla	OT	0	4	Ckc3	0	*
64						tarla	aciklik	0	4	Z	4	
65						Bozkir	aciklik	0	4	Z	4	
66		5					Ck	5	4	Ckc3	4	
67				2			M	2	4	BMBt-OT	2	
68		4		+			Ck	5	4	Ckc3	4	
69		4		+			Ck	4	4	Ckbc2	4	
70		4					Ck	4	4	Ckbc2	4	
71		4		+			Ck	5	4	Ckb2	4	
72		+		2	+		BO	2	4	BMBt	4	
73				+			aciklik	0	4	Z	4	
74						tarla	aciklik	0	4	Z	4	
75				BMbt			BO	2	4	BMBt	4	
76				BMbt			BO	1	4	BMBt	4	
77		5					Ck	4	4	Çkb3	4	
78		2	3				Ck	5	4	Çsc3	4	
79			5				Ck	4	4	Çsc3	4	
80			5				Ck	5	4	Çsc3	4	
81		5					Ck	5	4	Çkc3	4	
82		3		2			CkM	5	4	Çkc2	2	
83	3						Cz	3	4	Czcd2	4	
84						tarla	OT	0	4	Z	4	
85		4					Ck	5	4	Çkc3	4	
86				4			M	3	3	BMBt	2	

Tablo C.2: Önceki Tablonun Devamı

	Yer ölçmeleri						Uydu Tespitleri			Meşcere		
Kesit No	**Cz**	**Ck**	**Cs**	**M**	**Ar**	**Diğer**	**O.Türü**	**Kapalılık**	**Uyum**	**O.Türü**	**Uyum**	
87				+	2		BO	2	4	Bar	4	
88				+	2		BO	1	3	Bar	4	
89	1			+	2		Cz	3	2	Arbc1	0	+++
90	3				+		Cz	3	4	Çzbc1	4	
91	3				+		Cz	3	4	Çzc2	4	
92	3				+		Cz	3	4	Çzc2	4	
93	3				+		Cz	3	4	Çzc2	4	
94	+				2		Cz	3	4	Çzc2	4	
95		4		+			Ck	5	4	Çkc2	4	
96		2	3				Ck	5	4	ÇsÇkc3	4	
97			4			y15	CkM	4	1	ÇsÇkc3	1	+
98			4				Ck	5	4	Çsa	2	
99			4				Ck	5	4	Çsa	2	
100			4				Ck	5	4	Çsb2	4	
101		4		1			CkM	4	4	Çka	2	
102				1	1		BO	2	4	BÇkAr-BMBt	2	
103		3		1	+		Ck	4	3	Çkc3	4	
104						bozkir	Aciklik	0	4	Z	4	

***:** Meşcere hatalı; +: Ağaçlandırma sahasında bulunan genç fidanlar tespit edilemiyor; ++: Topografik etki sebebi ile Sakarya vadisinin alt yamaçlarındaki orman örtüsü tespit edilemiyor; +++: Ardıç tespit edilemiyor

Tablo C.3: Kuzey ve Güney Bakılı Yamaçlarda Ormanın Tür Birleşimi ile Kapalılık Oranlarının Yükseltiye göre Alan (ha) Dağılımı

		Kuzey bakı grubu														Güney bakı grubu								
		Çz kuşağı				Çz+Çk geçiş kuşağı	Çk kuşağı				Çk/Çs geçiş kuşağı	Çs kuşağı						Çk+M kuşağı						M+Ar kuşağı
Ağaç türü	Kapalılık (%)	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200	1200-1300	1300-1400	1400-1500	1500-1600	1600-1700	**Toplam**	**Toplam**	1600-1700	1500-1600	1400-1500	1300-1400	1200-1300	1100-1200	1000-1100	900-1000
Cz	5-20	128	103	77	55										362									
Cz	20-40	300	260	197	118										875									
Cz	40-60	481	568	438	281										1768									
Cz	60-80	194	272	259	189										914									
Cz	80-100	27	39	58	46										171									
	Toplam	1130	1243	1030	688										4090									
Cz+Ck	5-20					48									48									
Cz+Ck	20-40					87									87									
Cz+Ck	40-60					185									185									
Cz+Ck	60-80					147									147									
Cz+Ck	80-100					58									58									
	Toplam					524									524									
Çz+M	5-20																							
Çz+M	20-40																							
Çz+M	40-60	9	34	69	90	80									282									
Çz+M	60-80	15	50	111	167	176									519									
Çz+M	80-100	7	16	29	72	128									251									
	Toplam	31	99	209	329	384									1052									

Tablo C.3: Önceki Tablonun Devamı

		Kuzey bakı grubu														Güney bakı grubu								
		Çz kuşağı				Çz+Çk geçiş kuşağı	Çk kuşağı				Çk/Çs geçiş kuşağı	Çs kuşağı						Çk+M kuşağı						M+Ar kuşağı
Ağaç türü	Kapalılık (%)	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200	1200-1300	1300-1400	1400-1500	1500-1600	1600-1700	**Toplam**	**Toplam**	1600-1700	1500-1600	1400-1500	1300-1400	1200-1300	1100-1200	1000-1100	900-1000
Ck/Cs	5-20						93	97	87	78	66	41	25	11	498		10	28	24	32	41	50	18	45
Çk/Cs	20-40						143	150	155	169	138	124	85	35	999		30	77	65	88	90	100	39	
Ck/Cs	40-60						230	270	366	419	315	316	234	100	2250		80	178	186	214	213	254	64	
Ck/Cs	60-80						183	236	464	771	701	568	366	122	3410		117	316	385	348	230	180	38	
Ck/Cs	80-100						156	295	738	1595	1768	1057	468	125	6202		157	497	684	496	233	59	9	
	Toplam						805	1047	1810	3031	2987	2106	1178	393	13359	5676	393	1097	1343	1179	808	644	168	45
Ck+M	5-20																							
Ck+M	20-40																							
Ck+M	40-60						76	77	110	118	79	46	37		542		2	16	52	62	97	45	6	
Ck+M	60-80						201	180	274	326	175	103	79	6	1344		4	37	105	134	195	90	11	
Ck+M	80-100						243	390	488	529	306	141	96	6	2198		8	27	90	104	111	49	6	
	Toplam						520	648	871	973	559	289	212	13	4085	1252	14	80	247	299	403	184	24	
M	5-20																							
M	20-40	15	15	39	73	95	119	108	118	108	50	13	21		773			24	30	95	191	208	78	17
M	40-60	11	13	60	156	222	229	177	196	227	108	53	47		1497			34	53	170	335	334	87	18
M	60-80	7	8	27	92	193	208	173	144	153	75	44	37		1161				39	92	186	122	23	6
M	80-100	6	7	22	41	97	155	174	149	136	68	39	18		911				30	45	45	11	4	
	Toplam	38	42	148	362	606	710	632	607	625	301	149	122		4342	2277		58	153	401	757	674	193	42
Açık alan		45	108	178	353	469	427	381	363	381	366	491	412	241	4214		70	171	260	639	1075	1095	1617	1771
	Genel Toplam	1244	1492	1564	1732	1983	2462	2708	3651	5010	4214	3035	1924	647	31666	15904	478	1406	2003	2519	3043	2596	2001	1858

Tablo C.4: Sündiken Dağlık Kütlesi'nde Kuzey ve Güney Bakı Gruplarında Yüz Metrelik Yükselti Kuşaklarında Farklı Eğim ve Bakı Sınıflarında Landsat–7 ETM+ Görüntüsüne göre Ormanlık Alanların (ha) Dağılımı

			Kuzey bakı grubu															Güney bakı grubu									
Ağaç türü	Kapalılık (%)	Bakı/eğim	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200	1200-1300	1300-1400	1400-1500	1500-1600	1600-1700	Toplam	Toplam	1600-1700	1500-1600	1400-1500	1300-1400	1200-1300	1100-1200	1000-1100	900-1000	
Açık alan	<5	KB	54	89	159	98	79	76	99	92	137	67	32	19	5	**1006**	**880**	12	24	43	79	123	144	224	230	B
		K	79	107	123	82	84	68	92	126	155	116	46	21	9	**1109**	**1955**	29	61	75	132	257	312	515	574	GB
		KD	68	115	100	83	99	82	93	110	97	90	45	34	14	**1030**	**2129**	22	53	70	259	380	350	479	516	G
		D	40	101	109	103	120	137	97	98	80	79	55	34	16	**1069**	**1735**	6	33	72	169	316	288	399	452	GD
		>%70	1	4	6	15	20	18	12	10	0	0	0	0	0	**87**										>%70
		%49-70	36	37	32	27	37	43	33	9	0	0	0	4	1	**259**	**125**			10	8		22	44	40	%49-70
		%33-48	82	85	69	72	88	98	71	44	26	30	36	30	12	**744**	**726**	24	57	46	27	23	107	234	209	%33-48
		%17-32	96	184	197	157	143	132	123	161	227	183	107	62	26	**1798**	**2920**	47	115	212	304	328	429	789	697	%17-32
		%8-16	26	102	187	93	93	72	141	203	216	140	35	13	5	**1326**	**2938**				307	724	533	549	826	%8-16
		Toplam	**241**	**412**	**491**	**366**	**381**	**363**	**381**	**427**	**469**	**353**	**178**	**108**	**45**	**4214**	**6698**	**70**	**171**	**260**	**639**	**1075**	**1095**	**1617**	**1771**	**Toplam**
Kızılçam (Çz)	5-20	KB	24	20	21	16	12	31								**93**										B
		K	38	25	17	12	12	20								**104**										GB
		KD	39	29	18	15	9	20								**110**										G
		D	27	28	21	12	15	22								**103**										GD
		>%70	3	5	6	6	5	10								**25**										>%70
		%49-70	24	23	17	13	15	31								**92**										%49-70
		%33-48	53	40	30	16	15	30								**154**										%33-48
		%17-32	40	28	18	15	10	17								**112**										%17-32
		%8-16	8	7	5	5	3	6								**27**										%8-16
		Toplam	**128**	**103**	**77**	**55**	**48**	**93**								**410**										**Toplam**
	20-40	KB	65	54	40	26	19	45								**203**										B
		K	109	81	57	33	23	34								**302**										GB
		KD	87	76	55	33	23	38								**274**										G
		D	40	49	45	26	22	26								**182**										GD
		>%70	5	9	8	8	8	12								**38**										>%70
		%49-70	56	58	48	30	26	46								**218**										%49-70
		%33-48	124	96	76	40	27	44								**364**										%33-48
		%17-32	100	78	55	32	20	42								**284**										%17-32
		%8-16	15	19	10	8	6									**58**										%8-16
		Toplam	**300**	**260**	**197**	**118**	**87**	**143**								**962**										**Toplam**
	40-60	KB	117	139	95	68	46	62								**466**										B
		K	207	212	159	85	57	76								**720**										GB
		KD	116	161	124	81	53	64								**536**										G
		D	41	56	60	46	28	28								**232**										GD
		>%70	6	13	13	13	16	16								**60**										>%70
		%49-70	84	123	113	66	47	64								**432**										%49-70
		%33-48	213	231	188	122	62	71								**815**										%33-48
		%17-32	150	172	109	66	50	58								**546**										%17-32
		%8-16	28	29	16	15	11	21								**99**										%8-16

Tablo C.4: Önceki Tablonun Devamı

			Kuzey bakı grubu														Güney bakı grubu									
Ağaç türü	Kapalılık (%)	Bakı/eğim	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200	1200-1300	1300-1400	1400-1500	1500-1600	1600-1700	Toplam	Toplam	1600-1700	1500-1600	1400-1500	1300-1400	1200-1300	1100-1200	1000-1100	900-1000	
Kızılçam (Çz)	60-80	KB	51	79	68	52	43	49								**294**										B
		K	85	109	100	70	52	69								**415**										GB
		KD	44	67	68	49	40	50								**268**										G
		D	14	18	23	18	11	15								**84**										GD
		>%70	2	4	6	9	8	10								**29**										>%70
		%49-70	26	60	59	47	33	45								**225**										%49-70
		%33-48	91	109	106	73	56	65								**434**										%33-48
		%17-32	63	86	75	53	43	49								**320**										%17-32
		%8-16	12	13	12	7	7	14								**51**										%8-16
		Toplam	**194**	**272**	**259**	**189**	**147**	**183**								**1060**										**Toplam**
	80-100	KB	8	14	19	15	19	46								**74**										B
		K	9	14	21	17	24	68								**86**										GB
		KD	7	9	14	10	13	32								**52**										G
		D	3	3	5	5	3	10								**18**										GD
		>%70	0	1	1	3	4	9								**10**										>%70
		%49-70	3	6	7	9	9	25								**34**										%49-70
		%33-48	10	15	23	16	20	56								**85**										%33-48
		%17-32	11	14	24	16	21	66								**86**										%17-32
		%8-16	2	3	4	3	3									**15**										%8-16
		Toplam	**27**	**39**	**58**	**46**	**58**	**156**								**230**										**Toplam**
Karaçam ve Sarıçam (Çk/Çs)		**Genel toplam**	**1130**	**1243**	**1030**	**688**	**524**	**805**								**4615**										**Genel toplam**
	5-20	**KB**							29	22	20	12	6	3	2	**95**	**35**	2	6	3	7	8	5	3	1	**B**
		K							24	31	25	17	10	6	2	**114**	**52**	3	6	6	6	10	13	6	1	**GB**
		KD							24	18	17	20	11	7	4	**101**	**66**	3	10	7	8	14	17	5	1	**G**
		D							20	15	16	17	14	9	3	**95**	**55**	2	6	7	11	9	15	4	1	**GD**
		>%70							10	5	3					**18**										**>%70**
		%49-70							26	6	2					**34**										**%49-70**
		%33-48							28	13	7	11	15	8	2	**84**	**14**					4	7	3		**%33-48**
		%17-32							24	41	39	37	19	13	9	**182**	**113**	6	20	14	20	17	16	15	6	**%17-32**
		%8-16							9	22	28	17	6	4		**86**	**86**	4	9	10	12	19	27		4	**%8-16**
		Toplam							**97**	**87**	**78**	**66**	**41**	**25**	**11**	**405**	**204**	**10**	**28**	**24**	**32**	**41**	**50**	**18**		**Toplam**
	20-40	KB							43	48	47	31	25	16	5	**215**	**92**	7	16	10	17	16	16	10		B
		K							41	46	54	39	29	22	10	**241**	**123**	8	18	15	23	23	25	12		GB
		KD							37	35	35	37	36	26	12	**216**	**141**	9	22	23	23	25	34	6		G
		D							28	26	34	31	34	22	9	**184**	**133**	6	21	18	26	26	26	11		GD
		>%70							12	6						**18**										>%70
		%49-70							28	8	6					**43**										%49-70
		%33-48							39	25	15	30	49	27		**185**	**41**		8	7	6	9	8	3		%33-48
		%17-32							47	73	83	78	57	47	29	**414**	**231**	30	43	36	49	35	23	14		%17-32
		%8-16							23	43	66	30	17	11	6	**197**	**217**		26	22	33	46	68	22		%8-16
		Toplam							**150**	**155**	**169**	**138**	**124**	**85**	**35**	**856**	**489**	**30**	**77**	**65**	**88**	**90**	**100**	**39**		**Toplam**

Tablo C.4: Önceki Tablonun Devamı

Ağaç türü	Kapalılık (%)	Bakı/eğim	Kuzey bakı grubu														Güney bakı grubu								
			400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200	1200-1300	1300-1400	1400-1500	1500-1600	1600-1700	Toplam	Toplam	1600-1700	1500-1600	1400-1500	1300-1400	1200-1300	1100-1200	1000-1100	900-1000	
	40-60	KB							78	116	107	67	70	50	21	**509**	**206**	16	38	21	37	40	33	21		B
		K							92	100	114	93	95	68	25	**587**	**290**	22	36	43	60	51	60	16		GB
		KD							61	85	113	92	93	66	33	**543**	**376**	26	59	72	55	63	91	11		G
		D							39	65	84	63	58	51	21	**381**	**318**	17	45	50	61	58	70	17		GD
		>%70							17	10						**27**										>%70
		%49-70							44	17	12	5				**78**										%49-70
		%33-48							70	55	34	61	119	73	18	**429**	**104**	5	20	30	17	12	15	4		%33-48
		%17-32							96	169	208	175	158	128	62	**995**	**527**	46	114	105	122	75	47	19		%17-32
		%8-16							42	115	166	73	40	33	20	**490**	**558**	28	44	51	75	126	192	41		%8-16
		Toplam							**270**	**366**	**419**	**315**	**316**	**234**	**100**	**2020**	**1189**	**80**	**178**	**186**	**214**	**213**	**254**	**64**		**Toplam**
	60-80	KB							73	135	192	157	127	93	36	**812**	**249**	17	42	40	67	51	21	10		B
		K							82	127	207	215	186	114	28	**959**	**415**	34	75	93	96	58	48	11		GB
		KD							55	120	218	213	169	100	36	**912**	**559**	44	125	154	89	72	68	7		G
		D							27	82	154	115	86	59	21	**544**	**392**	22	74	99	96	49	44	9		GD
		>%70							13	15	7	2	1			**38**										>%70
		%49-70							38	19	8	10	19			**94**										%49-70
		%33-48							62	70	61	121	182	102		**599**	**151**	10	35	59	28	11	6	2		%33-48
		%17-32							91	234	395	408	295	216	97	**1738**	**824**	78	204	234	190	73	33	12		%17-32
		%8-16							31	126	299	159	71	48	25	**758**	**640**	29	78	92	130	146	141	24		%8-16
		Toplam							**236**	**464**	**771**	**701**	**568**	**366**	**122**	**3228**	**1615**	**117**	**316**	**385**	**348**	**230**	**180**	**38**		**Toplam**
	80-100	KB							88	203	395	476	278	147	34	**1621**	**405**	24	52	113	135	66	13	2		B
		K							118	247	545	623	375	137	41	**2087**	**638**	40	132	231	148	69	16	2		GB
		KD							61	192	436	473	278	125	32	**1596**	**673**	63	205	208	114	65	16	2		G
		D							29	95	218	196	127	59	17	**742**	**417**	31	107	132	98	33	14	3		GD
		>%70							14	18	15	8				**55**										>%70
		%49-70							26	31	28	36	30			**151**										%49-70
		%33-48							87	138	184	272	302	131	37	**1151**	**173**		59	68	37	9				%33-48
		%17-32							135	372	874	1088	580	280	71	**3400**	**1267**	127	334	421	282	81	20	3		%17-32
		%8-16							34	179	494	364	144	57	18	**1290**	**693**	29	103	194	178	143	39	6		%8-16
		Toplam							**295**	**738**	**1595**	**1768**	**1057**	**468**	**125**	**6046**	**2134**	**157**	**497**	**684**	**496**	**233**	**59**	**9**		**Toplam**
		Genel toplam							**1047**	**1810**	**3031**	**2987**	**2106**	**1178**	**393**	**12554**	**5631**	**393**	**1097**	**1343**	**1179**	**808**	**644**	**168**		**Genel toplam**

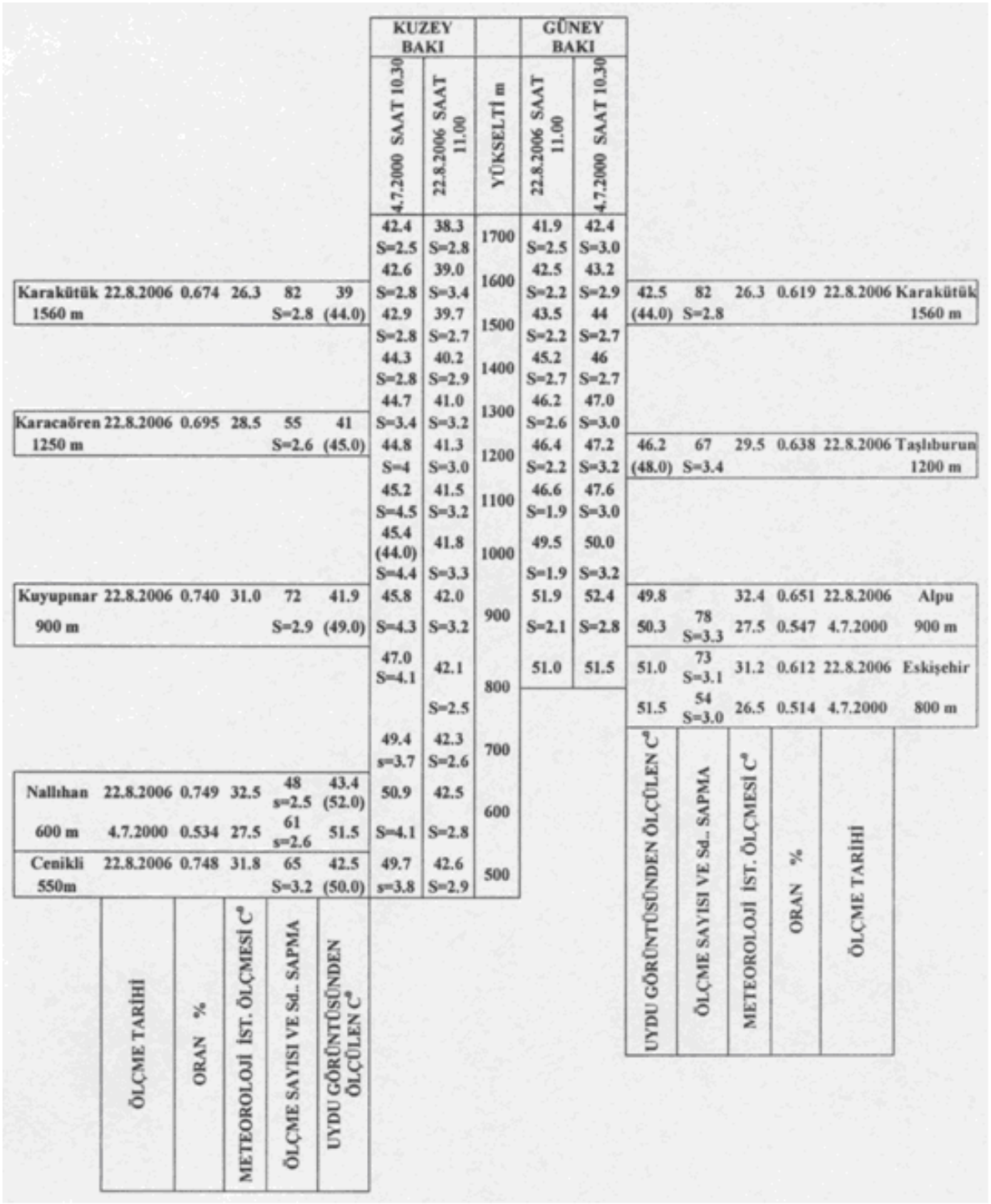
Tablo C.4: Önceki Tablonun Devamı

			Kuzey bakı grubu														Güney bakı grubu								
Ağaç türü	Kapalılık (%)	Bakı/eğim	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200	1200-1300	1300-1400	1400-1500	1500-1600	1600-1700	Toplam	Toplam	1600-1700	1500-1600	1400-1500	1300-1400	1200-1300	1100-1200	1000-1100	900-1000	
Meşe	20-40	KB	2	3	13	21	21	24	15	13	23	16	3	5		**159**	**137**		2	3	15	34	50	28	3	B
		K	8	6	14	28	45	49	41	40	37	16	5	6		**297**	**207**		6	10	32	67	72	15	6	GB
		KD	5	5	8	17	21	36	39	40	31	11	2	6		**221**	**179**		6	13	34	57	47	17	4	G
		D		1	5	7	7	10	12	24	17	7	2	4		**96**	**120**		11	3	14	33	38	17	4	GD
		>%70														**0**										>%70
		%49-70	1	0	3	4	9	12	6	5	2	0	0	1		**44**										%49-70
		%33-48	2	1	8	22	33	32	27	19	9	5	3	5		**165**	**32**			2	10	5	7	6	0	%33-48
		%17-32	9	8	20	36	39	57	57	52	54	27	6	11		**377**	**276**		11	20	59	80	66	35	5	%17-32
		%8-16	2	6	8	10	14	16	16	40	44	18	4	3		**182**	**333**		13	8	25	106	134	36	11	%8-16
		Toplam	**15**	**15**	**39**	**73**	**95**	**119**	**108**	**118**	**108**	**50**	**13**	**21**		**773**	**643**		**24**	**30**	**95**	**191**	**208**	**78**	**17**	**Toplam**
	40-60	KB	11	14	29	48	24	26	42	49	34	16	2	2		**299**	**196**		4	6	19	64	78	23	3	B
		K	13	20	36	71	70	65	102	113	71	23	6	5		**595**	**307**		4	15	59	104	100	18	6	GB
		KD	13	12	31	63	65	60	65	48	40	14	4	3		**417**	**317**		14	22	66	106	83	22	4	G
		D	9	6	11	45	37	25	19	12	11	7	1	1		**186**	**211**		11	9	26	61	73	25	5	GD
		>%70				1	3	6	5	4	1					**21**										>%70
		%49-70	1	0	6	24	39	42	20	23	6	1	4	2		**169**										%49-70
		%33-48	2	2	17	60	86	71	48	32	24	16	13	10		**382**	**60**		1	7	31	6	10	6		%33-48
		%17-32	6	7	29	62	79	87	83	92	115	59	28	26		**674**	**425**		20	36	111	113	98	40	7	%17-32
		%8-16	1	3	9	8	15	22	20	45	80	33	7	8		**252**	**543**		13	10	28	215	225	42	11	%8-16
		Toplam	**47**	**53**	**108**	**227**	**196**	**177**	**229**	**222**	**156**	**60**	**13**	**11**		**1497**	**1031**		**34**	**53**	**170**	**335**	**334**	**87**	**18**	**Toplam**
	60-80	KB	1	1	6	16	36	40	27	18	28	14	10	8		**205**	**973**			32	117	476	297	40	11	B
		K	3	4	10	45	102	99	81	64	63	31	18	13		**532**	**1780**		8	188	369	697	409	78	31	GB
		KD	2	2	6	25	48	55	50	45	41	24	10	12		**320**	**1867**		106	172	389	692	406	84	18	G
		D	1	1	4	6	7	14	15	18	22	7	6	4		**103**	**1288**		22	90	261	427	384	85	19	GD
		>%70				1	4	7	8	10	2					**30**										>%70
		%49-70	1	1	4	25	54	50	45	36	18	2	4	3		**243**										%49-70
		%33-48	2	2	9	37	78	71	56	36	28	21	9	11		**360**	**37**		1	8	23	1	3	1	0	%33-48
		%17-32	3	4	9	25	47	68	53	44	64	38	25	19		**401**	**186**		9	28	57	40	40	10	3	%17-32
		%8-16	1	2	4	4	10	12	11	18	41	14	5	4		**126**	**254**		2	3	13	143	77	12	4	%8-16
		Toplam	**7**	**8**	**27**	**92**	**193**	**208**	**173**	**144**	**153**	**75**	**44**	**37**		**1161**	**5908**		**136**	**482**	**1136**	**2292**	**1496**	**287**	**79**	**Toplam**
	80-100	KB	1	1	5	8	18	29	20	16	23	7	2	3		**134**	**18**			1	4	10	2	1		B
		K	2	2	9	15	49	71	90	66	57	34	21	6		**423**	**44**			13	14	13	3	2		GB
		KD	2	2	4	13	25	44	48	48	34	22	10	6		**260**	**40**			8	18	10	3	1		G
		D	1	1	3	5	5	11	15	18	23	6	6	2		**94**	**32**			7	9	13	2	1		GD
		>%70					0	1	3	6	6	2				**19**	**7**				5	1	1			>%70
		%49-70		0	0	1	8	20	28	39	45	17	6	2		**168**	**24**				24					%49-70
		%33-48		0	3	6	14	41	54	69	48	34	24	14		**315**	**20**			4	15		1	0		%33-48
		%17-32		4	3	11	15	26	59	51	38	52	29	20		**316**	**66**		1	24	0	16	17	6	2	%17-32
		%8-16		1	1	3	4	8	10	9	12	30	10	3		**93**	**102**		0	2	0	67	26	5	2	%8-16
		Toplam	**6**	**7**	**22**	**41**	**97**	**155**	**174**	**149**	**136**	**68**	**39**	**18**		**911**	**135**		**0**	**30**	**45**	**45**	**11**	**4**	**0**	**Toplam**
		Genel toplam	**74**	**82**	**195**	**433**	**581**	**658**	**684**	**632**	**554**	**254**	**109**	**86**		**4342**	**7717**		**194**	**596**	**1445**	**2863**	**2048**	**456**	**114**	**Genel toplam**

Tablo C.4: Önceki Tablonun Devamı

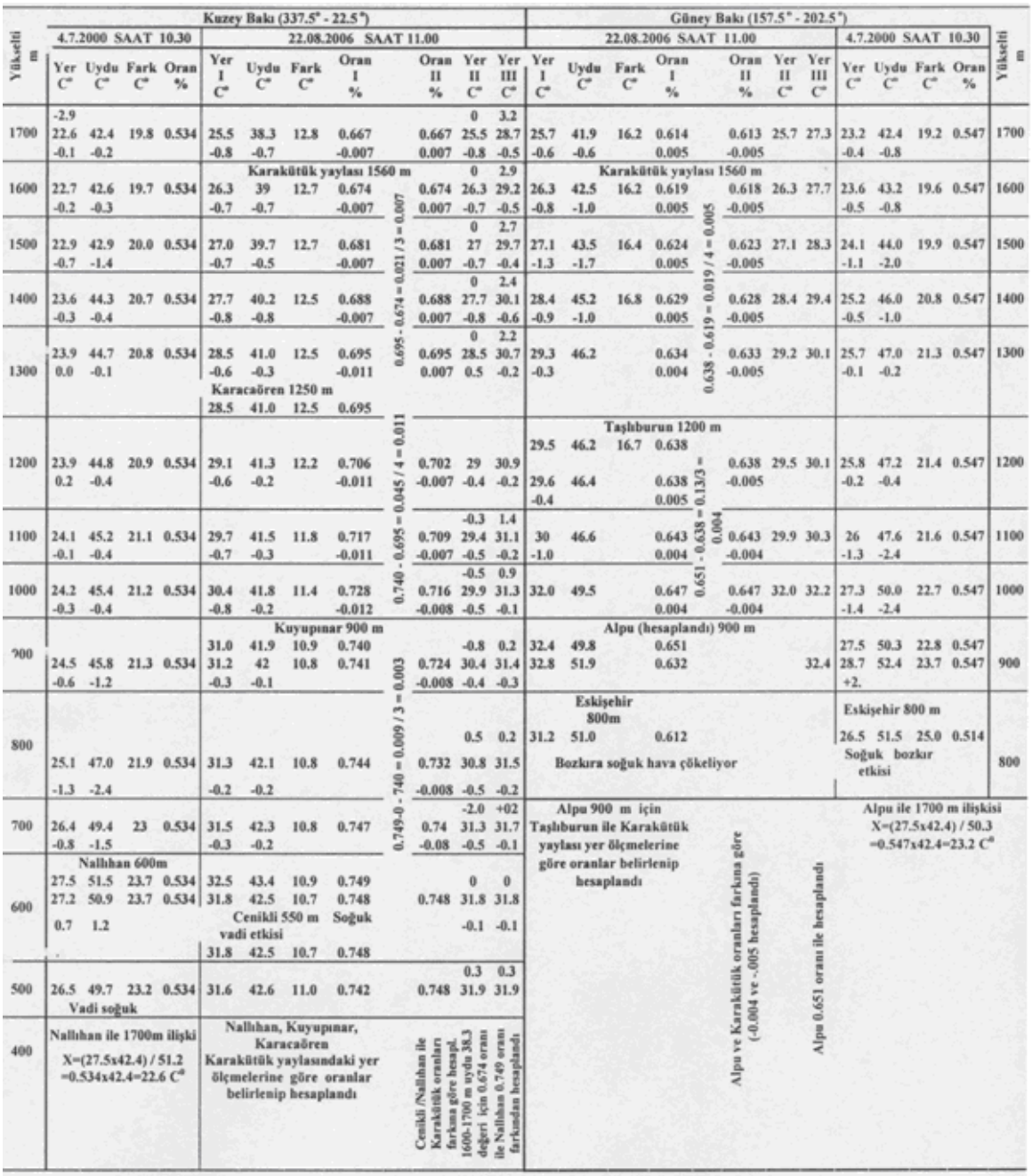
			Kuzey bakı grubu															Güney bakı grubu								
Ağaç türü	Kapalılık (%)	Bakı/eğim	400-500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1000	1000-1100	1100-1200	1200-1300	1300-1400	1400-1500	1500-1600	1600-1700	Toplam	Toplam	1600-1700	1500-1600	1400-1500	1300-1400	1200-1300	1100-1200	1000-1100	900-1000	
Yapraklı ve ibreli karışık	40-60	KB	2	9	15	25	22	20	16	23	26	18	13	12		**199**	**444**	6	28	79	124	109	76	22		B
		K	3	16	34	39	32	31	27	41	37	25	15	15		**314**	**834**	4	30	188	201	270	125	16		GB
		KD	2	8	17	21	21	18	24	29	34	23	10	7		**213**	**1265**	10	90	243	254	461	184	23		G
		D	1	2	4	6	5	6	11	17	21	14	8	4		**98**	**919**	5	55	134	181	352	174	18		GD
		>%70				2	5	3	4	4	2	1				**20**										>%70
		%49-70	2	8	22	30	29	21	16	13	3	1	5	3		**153**	**2**		0	1	0	0				%49-70
		%33-48	4	15	34	36	27	28	20	21	13	22	19	12		**252**	**47**		2	21	20	4	0			%33-48
		%17-32	3	10	12	18	16	22	33	45	63	40	18	18		**297**	**116**	2	11	26	30	36	11			%17-32
		%8-16	0	1	1	3	3	2	5	26	36	15	4	4		**101**	**110**	0	3	5	10	57	34			%8-16
		Toplam	**9**	**34**	**69**	**90**	**80**	**76**	**77**	**110**	**118**	**79**	**46**	**37**		**824**	**3383**	**25**	**203**	**644**	**760**	**1192**	**559**			**Toplam**
	60-80	KB	4	10	22	51	52	56	57	63	78	39	25	23	5	**485**	**89**	2	6	17	23	23	14	3		B
		K	6	24	58	72	78	88	97	103	104	57	33	29	0	**749**	**134**	1	6	26	38	42	20	2		GB
		KD	4	11	24	31	37	46	0	71	86	49	28	17	0	**405**	**190**	1	14	38	40	67	28	3		G
		D	1	5	7	13	9	11	26	36	58	30	18	10	1	**224**	**162**	1	10	24	32	63	28	3		GD
		>%70	0	2	2	4	8	8	11	11	5	1	0	0	0	**50**										>%70
		%49-70	2	10	30	53	57	58	64	46	16	4	13	5	1	**361**	**6**		1	3	2	1				%49-70
		%33-48	6	20	52	74	69	72	71	67	48	45	42	31	6	**603**	**89**	0	5	39	37	7	1			%33-48
		%17-32	5	16	23	29	36	54	79	100	168	96	40	36	9	**690**	**241**	3	25	52	71	69	20			%17-32
		%8-16	2	3	4	6	7	9	14	50	89	29	9	7	4	**231**	**229**	1	6	11	24	119	68			%8-16
		Toplam	**15**	**50**	**111**	**167**	**176**	**201**	**180**	**274**	**326**	**175**	**103**	**79**	**6**	**1863**	**564**	**4**	**37**	**105**	**134**	**195**	**90**			**Toplam**
		Genel toplam	**24**	**84**	**180**	**257**	**256**	**277**	**257**	**384**	**444**	**254**	**149**	**116**	**6**	**2687**	**3947**	**29**	**240**	**749**	**894**	**1387**	**649**			**Genel toplam**

EK D



	ÖLÇME TARİHİ	ORAN %	METEOROLOJİ İST. ÖLÇMESİ C°	ÖLÇME SAYISI VE Sd.. SAPMA	UYDU GÖRÜNTÜSÜNDEN ÖLÇÜLEN C°	KUZEY BAKI 4.7.2000 SAAT 10.30	KUZEY BAKI 22.8.2006 SAAT 11.00	YÜKSELTİ m	GÜNEY BAKI 22.8.2006 SAAT 11.00	GÜNEY BAKI 4.7.2000 SAAT 10.30	UYDU GÖRÜNTÜSÜNDEN ÖLÇÜLEN C°	ÖLÇME SAYISI VE Sd.. SAPMA	METEOROLOJİ İST. ÖLÇMESİ C°	ORAN %	ÖLÇME TARİHİ	
						42.4 S=2.5	38.3 S=2.8	1700	41.9 S=2.5	42.4 S=3.0						
Karakütük 1560 m	22.8.2006	0.674	26.3	82 S=2.8	39 (44.0)	42.6 S=2.8	39.0 S=3.4	1600	42.5 S=2.2	43.2 S=2.9	42.5 (44.0)	82 S=2.8	26.3	0.619	22.8.2006	Karakütük 1560 m
						42.9 S=2.8	39.7 S=2.7	1500	43.5 S=2.2	44 S=2.7						
						44.3 S=2.8	40.2 S=2.9	1400	45.2 S=2.7	46 S=2.7						
Karacaören 1250 m	22.8.2006	0.695	28.5	55 S=2.6	41 (45.0)	44.7 S=3.4	41.0 S=3.2	1300	46.2 S=2.6	47.0 S=3.0						
						44.8 S=4	41.3 S=3.0	1200	46.4 S=2.2	47.2 S=3.2	46.2 (48.0)	67 S=3.4	29.5	0.638	22.8.2006	Taşlıburun 1200 m
						45.2 S=4.5	41.5 S=3.2	1100	46.6 S=1.9	47.6 S=3.0						
						45.4 (44.0) S=4.4	41.8 S=3.3	1000	49.5 S=1.9	50.0 S=3.2						
Kuyupınar 900 m	22.8.2006	0.740	31.0	72 S=2.9	41.9 (49.0)	45.8 S=4.3	42.0 S=3.2	900	51.9 S=2.1	52.4 S=2.8	49.8 50.3	78 S=3.3	32.4 27.5	0.651 0.547	22.8.2006 4.7.2000	Alpu 900 m
						47.0 S=4.1	42.1	800	51.0	51.5	51.0	73 S=3.1	31.2	0.612	22.8.2006	Eskişehir
							S=2.5				51.5	54 S=3.0	26.5	0.514	4.7.2000	800 m
						49.4 s=3.7	42.3 S=2.6	700								
Nallıhan 600 m	22.8.2006 4.7.2000	0.749 0.534	32.5 27.5	48 s=2.5 61 s=2.6	43.4 (52.0) 51.5	50.9 S=4.1	42.5 S=2.8	600								
Cenikli 550m	22.8.2006	0.748	31.8	65 S=3.2	42.5 (50.0)	49.7 s=3.8	42.6 S=2.9	500								

Şekil D.1: Sündiken Kütlesi'nin Kuzey ve Güney Bakılı Yamaçlarında Açık Alanlarda Uydu Görüntülerinden Ölçülen, Yerde Ölçülen ve Meteoroloji İstasyonlarında (Nallıhan, Alpu, Eskişehir) Ölçülen Sıcaklık Değerleri



*Yükseltiye göre uydu görüntülerinden ölçülen sıcaklık değerleri 100 m'lik yükselti kuşağındaki 30x30 m'lik karelerde (piksel) ölçülmüştür. Bu sebeple bazı ölçümlerin aritmetik ortalamaları ile sıcaklık değişim eğrilerinin gelişiminde uyumsuzluklar bulunmuştur. Bu sebeple sıcaklık değişiminde hesaplanan değerlerin altında uydu görüntüsünden ölçülen değerler parantez içinde verilmiştir. Açık alandaki cinsi, toprağın su içeriği ve ölçme noktalarının 100 m'lik kuşaktaki dağılımı bazı farklı değerlerin ölçülmesine sebep olabilir.

Şekil D.2: Sündiken Dağlık Kütlesi'nin Kuzey ve Güney Bakılı Yamaçlarında Açık Alanda Uydudan Algılanan Sıcaklık Değerlerinin Nallıhan, Eskişehir, Alpu Meteoroloji İstasyonlarında ve Arazide Yapılan Sıcaklık Ölçümleri ile İlişkilendirilmesi ve 100 m'lik Yükselti Kuşaklarına göre Hesaplanması

ÖZGEÇMİŞ

Müfit Çetin, 1974 yılında İzmir İli'nin Tire İlçesi'nde doğdu. İlk (1980), Orta (1986) ve Lise (1991) öğrenimini aynı yerde tamamladı. 1991–1996 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimini tamamladı. 1997–1998 yılları arasında Geomatics Ltd. şirketinde mühendis olarak çalıştı. 1998–1999 yılları arasında TUBİTAK MAM'da araştırıcı olarak çalıştı. 1997–2000 yılları arasında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans öğrenimini tamamladı. Evli ve bir çocuk babası olan Müfit Çetin, 2001 yılından beri İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Uzaktan Algılama Anabilim Dalı'ndaki doktora öğrenimini devam ettirmektedir.