



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**ÇOK KAYNAKLI ORMAN ENVANTERİNİN BÖLGESEL
BAZDA UYGULANMASI**

**Orm.Yük.Müh. Ulaş Yunus ÖZKAN
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Orman Amenajmanı Programı**

**Danışman
Prof.Dr. Ahmet YEŞİL**

Eylül, 2009

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**ÇOK KAYNAKLI ORMAN ENVANTERİNİN BÖLGESEL
BAZDA UYGULANMASI**

**Orm.Yük.Müh. Ulaş Yunus ÖZKAN
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Orman Amenajmanı Programı**

**Danışman
Prof.Dr. Ahmet YEŞİL**

Eylül, 2009

İSTANBUL

Bu alışma 16/09/2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Orman Mühendisliğı Anabilim Dalı Orman Amenajmanı Programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof.Dr. Ahmet YEŞİL (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Orman Fakültesi

Prof.Dr. Ünal ASAN
İstanbul Üniversitesi
Orman Fakültesi

Prof.Dr. Nebiye MUSAOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültetesi

Prof.Dr. Ömer SARAÇOĞLU
İstanbul Üniversitesi
Orman Fakültesi

Prof.Dr. Necla ULUĞTEKİN
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterlięinin
T-927/06102006 numaralı projesi ile desteklenmiřtir.

ÖNSÖZ

“Çok Kaynaklı Orman Envanterinin Bölgesel Bazda Uygulanması” başlıklı bu çalışma, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Amenajmanı Programı’nda Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır. Doktora çalışmamın her aşamasında bilimsel ve moral desteğini esirgemeyen, karşılaştığım sorunların çözümünde her zaman yol gösterici olan, değerli fikir ve birikimlerinden yararlandığım danışman hocam, Sayın Prof.Dr. Ahmet YEŞİL’e sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmam süresince bilgi ve birikimlerinden yararlandığım, değerli görüş ve düşüncelerinden faydalanmayı her zaman fırsat bildiğim sayın hocam Prof.Dr. Ünal ASAN’a ve değerli fikir ve katkılarından dolayı, Tez İzleme Komitesi’nde yer alan İstanbul Teknik Üniversitesi öğretim üyelerinden değerli hocam Prof.Dr. Nebiye MUSAOĞLU’ na teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olduğunu bildiğim, çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, bilimsel ve moral desteğini esirgemeyen Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Mühendisliği öğretim üyesi Sayın Yrd.Doç.Dr. İbrahim ÖZDEMİR’e ve çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukların aşılmasında hep yanımda olan sevgili arkadaşlarım Arş.Gör. Hayati ZENGİN ve Arş.Gör. Serhun SAĞLAM’a teşekkürlerimi sunarım.

İstatistik konusunda desteklerinden dolayı Yrd.Doç.Dr. Ersel YILMAZ ve Arş.Gör. Emrah ÖZDEMİR’e, arazi çalışmalarına destek veren Şile Orman İşletme Müdürlüğü’ne, çalışmam için gerekli olan bilgisayar programının güncellenmesindeki katkılarından dolayı NİK İNŞ.TİC. LTD. ŞTİ ve Sayın Ayşe Yücel ERBAY’a, sevgili arkadaşlarım Yrd.Doç.Dr. O.Devrim ELVAN, Arş.Gör. Tezcan YILDIRIM, Arş.Gör. Bilal ÇETİN, Arş.Gör. Akif KETEN, Arş.Gör. Muammer ŞENYURT, Arş.Gör. Hasan ÖZDEMİR, Arş.Gör. Mehmet ÖZCAN’ a teşekkür ederim.

Eğitim hayatım süresince desteklerini hiç esirgemeyen, her zaman yanımda olan sevgili aileme teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Eylül, 2009

Ulaş Yunus ÖZKAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	V
TABLO LİSTESİ	VII
SEMBOL LİSTESİ	VIII
ÖZET	IX
SUMMARY	X
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR	15
2.1. ORMAN ENVANTERİ	15
2.1.1. Ulusal Orman Envanteri	22
2.1.1.1. Finlandiya Ulusal Orman Envanteri	28
2.1.1.2. Kanada Ulusal Orman Envanteri(KUOE).....	30
2.1.1.3. İsveç Ulusal Orman Envanteri (IUOE).....	31
2.1.1.4. Amerika Ulusal Orman Envanteri	33
2.1.1.5. Almanya Ulusal Orman Envanteri.....	33
2.2. UZAKTAN ALGILAMA VE ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM.....	34
2.2.1. Elektromanyetik Spektrum.....	36
2.2.2. Objelerin Işınsal Yansıtması	38
2.2.2.1. Zeminlerin Işınsal Yansıtması	38
2.2.2.2. Suyun Işınsal Yansıtması.....	38
2.2.2.3. Bitki Örtüsünün Işınsal Yansıtması	39

3. MALZEME VE YÖNTEM	42
3.1. ÇALIŞMA ALANI	42
3.1.1. Coğrafi Konum.....	42
3.1.2. Bitki örtüsü	43
3.2. ÇALIŞMADA KULLANILAN BİLGİ KAYNAKLARI.....	43
3.2.1. Amenajman Planları.....	43
3.2.2. Haritalar	44
3.2.3. Uydu Görüntüleri.....	45
3.2.3.1. Landsat.....	53
3.2.3.2. IKONOS	54
3.2.4. Yersel Veriler.....	55
3.3. SAYISAL GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ.....	56
3.3.1. Görüntü Ön İşleme	57
3.3.1.1. Radyometrik Düzeltme	57
3.3.1.2. Geometrik Düzeltme.....	58
3.3.2. Görüntü Zenginleştirme	61
3.3.2.1. Kontrast Artımı	61
3.3.2.2. Oran Görüntüleri	62
3.3.3. Sınıflandırma	63
3.3.3.1. Görsel Yorumlama	64
3.3.3.2. Piksel Bazlı Sınıflandırma.....	65
3.3.3.3. Obje Bazlı Sınıflandırma.....	67
3.3.3.4. Sınıflandırma Sonuçlarının Doğruluk Değerlendirmesi.....	73
3.4. ENVANTER YÖNTEMİ.....	74
3.4.1. Yersel Ölçümlere Dayalı Tek Aşamalı Sistematik Örnekleme.....	75
3.4.1.1. Örnekleme Sistemi.....	76
3.4.1.2. Örnek Alanların Belirlenmesi ve Ölçümler.....	76
3.4.1.3. Alanların Hesaplanması	79
3.4.1.4. Ağaç Servetinin Hesaplanması	79
3.4.2. Katmanlı İki Aşamalı Örnekleme	80
3.4.2.1. Alanların Hesaplanması	81
3.4.2.2. Ağaç Servetinin Hesaplanması	82

4. BULGULAR.....	83
4.1. IKONOS VE IKONOS PAN-SHARPENED UYDU GÖRÜNTÜLERİ YARDIMIYLA MEŞCERE TİPLERİNİN AYRILMASINA İLİŞKİN BULGULAR.....	83
4.1.1. Uydu Görüntülerinin Geometrik Düzeltilmesi.....	83
4.1.2. Bant Oranları İle Elde edilen Görüntüler	84
4.1.3. Uydu Verilerinin Sınıflandırılması.....	86
4.1.3.1. Görüntü Dilimleme	87
4.1.3.2. Uydu Görüntülerinin Standart En yakın Komşu Yöntemine Göre Sınıflandırılması.....	91
4.1.3.3. Sınıflandırma Sonuçlarının Doğruluk Değerlendirmesi.....	107
4.2. ALANLAR, AĞAÇ SERVETLERİNİN HESABI VE İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRMELERE İLİŞKİN BULGULAR	114
4.2.1. Yersel Ölçümlere Dayalı Tek Aşamalı Sistemik Örneklemeye.....	114
4.2.2. Katmanlı İki Aşamalı Örneklemeye	117
4.2.3. Amenajman Planı Değerleri.....	118
4.2.4. İstatistiksel değerlendirmeler.....	119
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	123
KAYNAKLAR.....	137
ÖZGEÇMİŞ.....	151

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	: Türkiye UOE’nde başvurulabilecek bilgi kaynakları.....	26
Şekil 2.2	: Finlandiya 9. UOE’de kullanılan örnekleme sistemi (a- Finlandiya’ın en güney kısmında b- orta kısmında c- kuzey kısmında)	29
Şekil 2.3	: İsveç UOE’de kullanılan örnek alanların trakt üzerinde dağılımı ve örnek alan.....	31
Şekil 2.4	: Traktlar arasındaki mesafenin bölgelere göre değişimi	32
Şekil 2.5	: Almanya UOE, a-Farklı örnekleme yoğunlukları ve örnekleme düzeni b- trakt ve örnek alanlar c- örnek alan ölçümü.....	34
Şekil 2.6	: Elektromanyetik ışınlam ve uzaktan algılama	36
Şekil 2.7	: Elektromanyetik spektrum	37
Şekil 2.8	: Bazı yeryüzü objelerinin ışınsal yansıtım karakteristikleri	38
Şekil 2.9	: Çeşitli ağaç türlerinin ışınsal yansıtım karakteristikleri	40
Şekil 2.10	: Çeşitli ormanlar ve aynı orman ait yaprağın ışınsal yansıtım karakteristikleri a) <i>Pinus silvestris</i> b) <i>Populus tremula</i>	41
Şekil 3.1	: Çalışma alanının coğrafi konumu.....	42
Şekil 3.2	: Kanlıca orman işletme şefliğine ait 1/25000 ölçekli topografik haritalar	44
Şekil 3.3	: Kanlıca orman işletme şefliği meşcere haritası	45
Şekil 3.4	: Farklı uydu görüntülerinin konumsal çözünürlükleri.....	49
Şekil 3.5	: Radyometrik çözünürlük (a- 2 bit b- 8 bit).....	50
Şekil 3.6	: Sayısal görüntü işleme ve veri analizi.....	57
Şekil 3.7	: En yakın komşu yöntemiyle geometrik dönüşüm	60
Şekil 3.8	: Histogram Kontrast Artımı.....	62
Şekil 3.9	: Homojenlik kriterinin alt kriterleri	69
Şekil 3.10	: Hiyerarşik bir düzende görüntü objelerinin elde edilmesi	70
Şekil 3.11	: Obje bazlı sınıflandırmada obje özellikleri ve üyelik fonksiyonu	72
Şekil 3.12	: Sınıflandırmada kullanılacak obje özelliklerinin seçimi	73
Şekil 3.13	: Örnekleme sistemi ve trakt.....	76
Şekil 3.14	: 45 nolu trakt’ın topografik ve mescere haritası üzerinde konumu	77
Şekil 3.15	: Örnek alanların trakt üzerinde dağılımı (a) ve yersel örnek alan (b) ...	77
Şekil 3.16	: Bir trakt üzerindeki arazi sınıfında meydana gelen değişimler.....	78
Şekil 3.17	: Bir trakt üzerinde sınır hatlarının kesişimi ve alan hesabı	79
Şekil 3.18	: Katmanlı iki aşamalı örnekleme (a- 45’ no lu trakt ve örnek alanlar b-45’ no lu trakta ait sınıflandırılmış İkonos c-Sınıflandırılmış İkonos Pan-Sharpned).....	81
Şekil 4.1	: Uydu görüntüsünün geometrik düzeltilmesi (a, c- uydu görüntüsü b- 1/25000 ölçekli topografik harita d- 1/5000 ölçekli hali hazır)	84
Şekil 4.2	: Bant oranları formül editörü.....	86
Şekil 4.4	: En uygun ölçek parametreleri ve homojenlik kriterlerinin belirlenmesi	89

Şekil 4.5	: Farklı ölçek parametresi ve renk/şekil faktörlerine göre görüntü dilimleri (A: ölçek parametresi B: renk faktörü C: şekil faktörü).....	90
Şekil 4.6	: Oluşturulan görüntü dilimlerinin görsel olarak denetimi (a- uydu görüntüsü RGB=4,3,2 b- görüntü dilimleri).....	91
Şekil 4.7	: Hiyerarşik sınıflandırma sistemi	93
Şekil 4.8	: Örnek objelerin sınıflara tanımlanması	94
Şekil 4.9	: Sınıflandırılmış uydu görüntüsü (Ikonos, Seviye III)	96
Şekil 4.10	: Sınıflandırılmış uydu görüntüsü (Ikonos Pan-Sharpended, Seviye III) .	97
Şekil 4.11	: Sınıflandırmada kullanılacak değişkenlerin kararlaştırılması	98
Şekil 4.12	: Sınıflandırılmış uydu görüntüsü (Ikonos, Seviye II).....	101
Şekil 4.13	: Sınıflandırılmış uydu görüntüsü (Ikonos Pan-Sharpended, Seviye II)	102
Şekil 4.14	: Sınıflandırılmış uydu görüntüsü (Ikonos, Seviye I)	103
Şekil 4.15	: Sınıflandırılmış uydu görüntüsü (Ikonos Pan-Sharpended, Seviye I)..	104
Şekil 4.16	: UOE amacıyla sınıflandırılmış uydu görüntüsü (Ikonos)	105
Şekil 4.17	: UOE amacıyla sınıflandırılmış uydu görüntüsü (Ikonos Pan-Sharpended).....	106

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1	: Amerika’da orman alanları hakkında ihtiyaç duyulan bilgilerdeki gelişim	4
Tablo 3.1	: Bazı uzaktan algılama sistemlerinin teknik özellikleri.....	51
Tablo 3.2	: Landsat algılama sistemlerinin özellikleri.....	54
Tablo 3.3	: Ikonos Uydusu Teknik Özellikleri	55
Tablo 3.4	: Topografik Normalizasyon yöntemleri	58
Tablo 4.1	: Kararlaştırılan ölçek parametreleri ve homojenlik kriterleri.....	91
Tablo 4.2	: Sınıflandırılmış uydu görüntüsünün doğruluk değerlendirme (Ikonos, Seviye I)	108
Tablo 4.3	: Sınıflandırılmış uydu görüntüsünün doğruluk değerlendirme (IkonosPan-Sharpened, Seviye I)	110
Tablo 4.4	: UOE amacıyla sınıflandırılmış uydu görüntüsünün doğruluk değerlendirme (Ikonos).....	111
Tablo 4.5	: UOE amacıyla sınıflandırılmış uydu görüntüsünün doğruluk değerlendirme (Ikonos Pan-Sharpened).....	111
Tablo 4.6	: Seviye II’nin sınıflandırma sonucuna ilişkin hesaplanan istatistikler	112
Tablo 4.7	: Seviye I’in sınıflandırma sonucuna ilişkin hesaplanan istatistikler (Ikonos).....	112
Tablo 4.8	: Seviye I’in Sınıflandırma sonucuna ilişkin hesaplanan istatistikler (Ikonos Pan- Sharpened)	113
Tablo 4.9	: UOE amaçlı sınıflandırma sonucuna ilişkin hesaplanan istatistikler .	113
Tablo 4.10	: Sadece yersel ölçümlere dayalı olarak hesaplanan alanlar.....	114
Tablo 4.11	: Çalışma alanı için dikili gövde hacim tablosu	115
Tablo 4.12	: Hesaplanan hektardaki ağaç servetlerinin sınıflara dağılımı	116
Tablo 4.13	: Sadece yersel ölçümlere dayalı olarak hesaplanan ağaç servetleri	117
Tablo 4.14	: Katmanlı iki aşamalı örnekleme yöntemi ile hesaplanan alanlar.....	117
Tablo 4.15	: Katmanlı iki aşamalı örnekleme yöntemine dayalı olarak hesaplanan ağaç servetleri	118
Tablo 4.16	: Sınıflara ilişkin amenajman planlarından belirlenen alanlar.....	119
Tablo 4.17	: Sınıflara ilişkin amenajman planlarından belirlenen ağaç servetleri .	119
Tablo 4.18	: Alan değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler	120
Tablo 4.19	: Alan değerlerine ilişkin bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki	120
Tablo 4.20	: Alan değerlerine ilişkin eşleştirilmiş T testi.....	121
Tablo 4.21	: Genel alandaki ağaç serveti değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler	121
Tablo 4.22	: Genel alandaki ağaç serveti değerlerine ilişkin bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki	121
Tablo 4.23	: Genel alandaki ağaç serveti değerlerine ilişkin eşleştirilmiş T testi ..	122

SEMBOL LİSTESİ

RMS	: karesel ortalama hata
RVI	: oran bitki indeksi
NDVI	: normalize edilmiş bitki indeksi
TVI	: transforme bitki indeksi
R	: kırmızı bant
IR	: kızılötesi bant
K	: kappa katsayısı
<i>r</i>	: matrisin satır sayısını
<i>x_{ii}</i>	: <i>i</i> nci satır ve <i>i</i> nci sütundaki köşegen değerini
<i>x_{+i}</i>	: <i>i</i> nci sütunun toplam değerini
<i>x_{i+}</i>	: <i>i</i> nci satırın toplam değerini
<i>N_i</i>	: <i>i</i> ' ninci sınıfın genel alanı
<i>N</i>	: çalışma alanının genel alanı
<i>l_{ik}</i>	: <i>i</i> ' inci sınıfın <i>k</i> ' inci traktaki sınır hattının uzunluğu
<i>l</i>	: çalışma alanına düşen traktların toplam çevresi
<i>n_{ik}</i>	: <i>i</i> ' inci sınıfın <i>k</i> ' inci traktaki alanı
<i>n</i>	: çalışma alanına düşen traktların toplam alanı
<i>V_i</i>	: <i>i</i> 'inci sınıfın genel alandaki ağaç serveti
a0	: kesim yapılmış ve henüz gençliğin gelmediği alanlar
BDy	: bozuk diğer yapraklı
BDi	: bozuk diğer ibreli
OT	: orman toprağı
ÜD	: üretici doğruluğı
KD	: kullanıcı doğruluğı
TD	: toplam doğruluk
KIA	: kappa katsayısı

ÖZET

ÇOK KAYNAKLI ORMAN ENVANTERİNİN BÖLGESEL BAZDA UYGULANMASI

Son yıllarda uydu teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, çok kanallı uydu verilerinin, ormancılık çalışmalarında geniş bir uygulama alanı bulduğu görülmektedir. Ülkemizde yapılması tasarlanan ulusal orman envanterinde, uydu verileri başvurulacak bilgi kaynaklarının başında gelmektedir. Ayrıca, IKONOS ve QUICKBIRD gibi çok yüksek çözünürlüklü uydu verilerinin meşcere tipleri ayrımında hava fotoğraflarının yerine kullanılabilecek alternatif bir bilgi kaynağı olabileceği düşünülmektedir.

Bu amaçla çalışmada, ulusal bazda yapılacak envanter çalışmasında ayrılacak olan geniş orman alanlarına ilişkin alan ve ağaç serveti değerlerinin belirlenmesinde 4x4 m yersel çözünürlüklü IKONOS ve 1x1 m yersel çözünürlüklü IKONOS PAN-SHARPENED uydu görüntülerinden yararlanma olanakları araştırılmıştır. Bunun yanı sıra , IKONOS ve IKONOS PAN-SHARPENED uydu görüntüleri kullanılarak, amenajman planlarının temelini oluşturan meşcere tipleri haritasını düzenlemek amacıyla ne kadar ayrıntıya gidilebileceği irdelenmiştir.

Bu bağlamda, eCognition programı kullanılarak uydu görüntüsü değişik ölçek parametrelerine göre görüntü dilimlerine ayrılmıştır. Çalışma amacına uygun görüntü dilimleri oluşturulduktan sonra götüntü “nesne yönelimli sınıflandırma” yöntemine göre Hiyerarşik olarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma algoritması olarak “standart en yakın komşu yöntemi” kullanılmıştır.

Hiyerarşik sınıflandırmanın meşcere düzeyindeki (üçüncü aşama) sınıflandırma sonuçlarına ilişkin toplam doğruluk, IKONOS görüntüsü için %55 (Kappa=0.52), PAN-SHARPENED görüntüsü için %59 (Kappa=0.53) olarak oldukça düşük hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda, IKONOS uydu görüntüsünün sınıflandırılmasıyla, hava fotoğraflarının görsel yorumlanmasıyla elde edilen meşcere tipleri haritası kadar yeterli doğrulukta harita üretilenmemiştir. Fakat, anlamlı düzeyde bazı bitki örtüsü sınıflarının çıkartılabildiği görülmüştür. Ayrıca, arazi örtüsü sınıflarının ayrılmasında, orijinal ve pan-sharpened uydu görüntüleri arasında fark gözükmediği anlaşılmaktadır.

Bunun yanı sıra, büyük alanlarda sadece yersel ölçüme dayalı olarak gerçekleştirilecek envanter ile yersel ölçüm ve uydu görüntüsünün kombine edildiği katmanlı iki aşamalı örnekleme dayalı olarak gerçekleştirilecek envanter arasında anlamlı bir fark bulunmadığı görülmüştür.

SUMMARY

THE APPLICATION OF MULTI-SOURCE FOREST INVENTORY ON REGIONAL BASE

In parallel with the recent developments in satellite technology, multi-channel satellite data are seen to be widely used in forestry studies. Satellite data are at the top of information sources for National forest Inventory which is planned to be made in Turkey. In addition, the data from high-resolution satellites such as IKONOS and QUICKBIRD are considered as an alternative source of information which may be used instead of aerial photography in identifying types of stands.

In the study conducted for this purpose, usage opportunities of 4x4 m resolution IKONOS and 1x1 m resolution IKONOS PAN-SHARPENED satellite images were investigated for determining area and growing stock values concerning wide forest parts that will be divided in the inventory studies made on national base. In addition, which level of detail can be obtained by using IKONOS and IKONOS PAN-SHARPENED satellite images in arranging stand types maps that constitute the basis of management plans is examined.

In this context, satellite image is divided into image sections according to different scale parameters by using eCognition program. After image sections suitable for the purpose of the study were formed, the image was hierarchically classified according to “object-orientation classification” method. “Standard nearest-neighbor” method was used as classification algorithm.

Overall accuracies for concerning classification results obtained at the stand level (third stage) of hierarchical classification have been computed with a fairly low value as 55% (Kappa=0.52) for IKONOS satellite image and 59% (Kappa=0.53) for IKONOS PAN-SHARPENED satellite image. At the end of study, Maps that are as accurate as the stand type maps obtained by manually interpreting aerial photographs, could not be generated by classification of IKONOS satellite images. But, it is seen that some significant vegetation cover classes can be extracted. Also it is understood that there is not crucial difference between original and pan-sharpened satellite images in separating land cover class.

It seemed that there is not any significant difference between inventories carried out in large areas which are based on only ground measurements and two phase sampling by combining of ground measurement and satellite image.

1. GİRİŞ

1963-1972 yılları arasında ilk defa ülke çapında tüm orman alanlarını kapsayacak şekilde düzenlenmiş olan Orman Amenajman Planlarındaki orman envanteri bilgilerinin değerlendirilmesi ile, genel orman alanlarımızın büyüklüğü 20.2 milyon ha. (ülke genel toplam alanının %26,2'si), ormanlarımızdan odun hasılası olarak yıllık ortalama planlanan faydalanma miktarı 22.8 milyon m³ olarak tespit edilmiştir. 2004 yılı sonu itibariyle ise genel ormanlık alanlarımız 21.2 milyon ha. (ülke genel toplam alanının %27,2'si), planlanan yıllık ortalama faydalanma miktarı ise 16.3 milyon m³ olarak belirlenmiştir. 2004 yılı sonu itibariyle ormanlık alan miktarımızın artmasına rağmen, planlanan yıllık ortalama faydalanma miktarının 1963-1972 yılları arasındaki döneme göre düşük kararlaştırılmasının nedeni, serveti düşük olan ormanlarımızdan faydalanırken verim gücünden daha az ağaç keserek orman servetini artırmaktır. Bozuk ve bozulmaya başlamış düşük kapalılık derecesine sahip (%11-40) orman alanlarının verimli ormanlara dönüştürülmesi amacıyla son 30 yıldan bu güne yılda ortalama 50-60 bin ha ağaçlandırma ve rehabilitasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Anon 2006, syf 159). Ülke orman varlığımız bir taraftan bu şekilde ormancı eliyle yapılan bilinçli silvikültürel müdahaleler, diğer taraftan da usulsüz ve kaçak kesimler, böcek ve mantar arızları, hava kirliliği ve yangınlar gibi faktörler nedeniyle sürekli olarak değişim halindedir. Bu değişimlerin izlenmesi ve ileriye dönük kararların alınabilmesi için orman kaynaklarına ait detaylı, güncel, güvenilir ve yeterli doğrulukta sayısal bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç duyulan bu sayısal verilerin elde edilmesi ve kısa zaman aralıkları ile sürekli güncelleştirilmesi “*Orman Envanteri*” olarak isimlendirilen bir sistem aracılığıyla gerçekleştirilir. Orman envanterlerinin amacı, bir alan üzerindeki orman karakteristiklerinin ölçümleri ile ortalama ve toplam değerlerin tahmin edilmesidir (Asan, 2000 ; Kangas et al., 2003).

Orman Envanteri, orman kaynaklarının nitelik ve miktarları hakkında bilgi elde etme süreci olup orman planlama ve ormancılık politikalarının alt yapısını oluşturmaktadır. Orman envanteri, bir alanda orman kaynaklarının konumu ve büyüklüğünü,

kompozisyonlarının ve yapısal karakteristiklerinin belirlenmesi için yapılan ölçümler ve gözlemleri ifade etmektedir.

Tarihsel süreç içerisinde insan topluluklarının orman ile olan ilişkisi değişik boyutlarda süre gelmiştir. Mevcut ormanların yeterli olduğu ve insanların taleplerine cevap verdiği sürece herhangi bir sorun ile karşılaşmamıştır. Toplum nüfusunun artıp ev ihtiyaçlarının çeşitlenerek çoğalmasına koşut olarak, göçler, savaşlar, yangınlar ve doğal dengenin bozulmaya yüz tutmasının hızlandığı doğal yıkımlar sonucunda orman ürün ve hizmetlerine olan talebin karşılanmasında sıkıntılar olacağı görülmüştür. Buradan hareketle, orman alanlarının artırılması, birim sahadan en yüksek verimin elde edilmesi, teknik ormancılık uygulanarak tüm faaliyetlerin planlı biçimde sürdürülmesi zorunluluğu doğmuştur (Eler, 2005). Bu süreç içerisinde “ormancılık” kavramı, zaman içinde değişim göstermiş ve içeriği toplum beklentilerindeki çeşitlenmeye koşut olarak sürekli biçimde genişlemiştir. 19. Yüzyıl Ormancılığı sadece odun üretimine dayanırken, 20. Yüzyıl Ormancılığı 1960’ lı yıllarda ortaya atılan “orman kaynaklarının çok amaçlı kullanımı” görüşüyle ürün ve hizmetlerin birlikte üretimine yönelmiştir. Rio-Helsinki Süreci ile şekillenmeye başlayan 21. Yüzyıl Ormancılığının, “Sürdürülebilir orman işletmeciliği” kavramını gündeme getirmesinden sonra ise orman ekosisteminin süreçlerini dikkate alan başka bir boyut kazanmıştır. Bu gelişme Orman Kaynakları kavramının içeriğinde değişikliklere neden olmuştur. Bu durum “Orman Kaynakları” teriminin “ *Orman ekosistemini meydana getiren alan içindeki bitkisel, hayvansal ve mineral kökenli tüm fiziksel varlıklar ile, bu ekosistem içinde kendiliğinden oluşan ürün ve hizmetlerin toplamı* “ biçiminde anlaşılması gerektiği ortaya çıkmıştır (Asan, 2005). Ormancılık kavramındaki bu değişim doğal olarak orman envanteri kavramında da değişmelere neden olmuştur.

Orman envanterinin tarihi, orman kaynaklarının aşırı kullanımı sonucunda bir odun hammaddesi eksikliğinin ortaya çıktığı ortaçağın sonlarına doğru uzanmaktadır. Bu eksiklik, ormancıları yerleşim yerlerine yakın ormanlar için bazı planlama formları geliştirmeye zorlamıştır. Planlama amaçları için toplanan bu ilk bilgiler orman alanlarının belirlemesine yöneliktir (Tomppo, 2006).

19. yüzyıldaki envanterlerde kullanılan ana yöntem alanın tamamının sayılması ve ölçülmesi şeklindedir. Fakat, temsilci örneklerin kullanılarak maliyetin düşürülebileceği dikkate alınarak, örnekleme tekniklerinin matematiksel altyapıları tanımlanmadan yüzyıl kadar önce ormancılıkta örnekleme tabanlı yöntemler kullanılmıştır. İlk zamanlar ucuz ve hızlı olması nedeniyle görsel tahmin çok yaygın olarak kullanılmıştır. 20. yüzyılın başlarında Kuzey Amerika’da yapılan bu envanter çalışması yılların arazi tecrübesiyle hiçbir ölçümden yararlanmaksızın odun hacmini tahmin edebilme yeteneğine sahip ormancılar tarafından yapılmıştır. Bu ilk zamanki envanterlerde kullanılan en yaygın uygulamalardan biri, önce gövde sayısı bilinen sabit büyüklükteki birim alan üzerindeki ortalama bir ağacın hacmi tahmin edilmektedir. Daha sonra, tek ağaç hacminden faydalanarak birim alanın hacmi tahmin edilmekte ve en sonunda genel alanın hacmi hesaplanmaktadır. Ayrıca hata payını düşürmek amacıyla görsel tahminler istatistiksel tahminler ile kombine edilmektedir. Bu görsel tahmin kuzey ülkelerde özellikle de Finlandiya’da meşcere düzeyinde planlamada veri elde etmek için hala kullanılmaktadır (Kangas et al., 2006).

Yakın zamana kadar sürdürülebilir orman amenajmanı ve orman envateri kavramları odun üretimine odaklanmış bir durumda iken, günümüzde modern orman envanteri kavramları, sadece odun üretimini değil ormanların çok yönlü fonksiyonlarını barındıran orman ekosistemlerine bütüncül bir bakışı desteklemektedir (Köhl et al., 2006).

Bugün gelinen noktada orman envanteri başta orman alanlarının kendi fiziksel varlığı olmak üzere, bu ormanlar içinde oluşan ürün ve hizmetleri, bunların oluşumu üzerinde etkili olan faktörler ile birlikte saptamak amacıyla yapılan ölçme, gözlem, sayım ve değerlendirme işlerinin tamamını kapsamaktadır (Asan, 2005).

Orman alanları hakkında ihtiyaç duyulan bilgilerdeki gelişime örnek olarak Amerika’daki durum Tablo 1.1’de örnek olarak verilmiştir. 1950’ li yıllarda orman alanlarının odun üretimi ile ilgili bilgiye ihtiyaç duyulurken 2000’ li yıllarda odun üretiminin yanı sıra odun dışı orman ürünleri ve hizmetleri ile ormanların diğer alanlarla olan ilişkilerini de ortaya koyacak bilgilere gereksinim duyulmaktadır (Lund, 1998).

Tablo 1.1: Amerika’da orman alanları hakkında ihtiyaç duyulan bilgilerdeki gelişim

					Diğer alanlar?
				Ekosistemler Biyolojik çeşitlilik Odun dışı orman ürünleri	Ekosistemler Biyolojik çeşitlilik Odun dışı orman ürünleri
			Küresel ısınma	Küresel ısınma	Küresel ısınma
		Biyokütle	Biyokütle	Biyokütle	Biyokütle
	Diğer kaynaklar*	Diğer kaynaklar	Diğer kaynaklar	Diğer kaynaklar	Diğer kaynaklar
Odun	Odun	Odun	Odun	Odun	Odun
1950	1960	1970	1980	1990	2000+

* rekreasyon, , yaban hayatı , otlak-mera

Zamanla toplumun orman kaynaklarından beklentilerinin çeşitlenmesine koşut olarak, orman kaynaklarını toplumun beklentileri doğrultusunda ve rasyonel biçimde işletilebilmesi için orman envanterinde ihtiyaç duyulan bilgilerin, en az maliyetle ve daha güvenilir, doğru, hızlı ve sürekli bir şekilde elde edilebilmesi için gelişen teknolojiyle birlikte ortaya çıkan yeniliklerden yaygın olarak yararlanılmaktadır.

Orman alanlarının verimli bir şekilde yönetimi için, orman kompozisyonu ve yapısı ile ilgili ayrıntılı bilgiye sahip olmak gerekmektedir. Fakat orman envanterinde gerekli olan % 5-10 düzeyindeki yersel örneklerin toplanması genel olarak ekonomik bir şekilde yapılamaz. Bu yüzden, orman amenajman planlarının düzenlenmesinde ihtiyaç duyulan parametrelerin doğrudan ölçümüne imkan veren ve bu bilgileri elde etme maliyetini büyük ölçüde düşüren ve sürekli bir şekilde gelişme gösteren uzaktan algılama tekniklerinin kullanılması son derece önemlidir (Gong et al., 1999).

Ormancılar uzaktan algılama tekniklerinin ilk kullanıcıları arasındadır. Orman envanteri uzaktan algılamanın önemli potansiyel uygulama alanlarından biridir. Ormancılıkta uzaktan algılama ilk zamanlarda, hava fotoğraflarının yorumlanmasıyla meşcere tiplerini temsil eden taslak haritanın hazırlanmasında kullanılmıştır. Bu meşcere tipleri, farklı ağaç türleri, gelişim çağı ve tepe kapalılığının bir kombinasyonu olarak belirlenmiştir. Analiz, foto yorumlama verilerinin altlık haritalara transfer edilmesiyle tamamlanmaktadır. Hava fotoğraflarının yorumlanması orman yönetimi için tüm bilgi ihtiyaçlarını karşılayamamasına rağmen göz ardı edilmemesi gereken olanaklar sunmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar, hava fotoğraflarının orman envanterine eklenmesinin en mantıklı yolunun hava fotoğraflarının yorumu ile arazi çalışmalarının kombinasyonu olduğu sonucuna varmıştır. (Lillesand et al., 2003; Pekkarinen, 2004).

Hava fotoğrafları, bir uzaktan algılama verisi olarak 20. yüzyılın başından beri bu süreç içerisinde gerçekleştirilen ormancılık çalışmalarının önemli bir kısmına hizmet etmiştir. Hava fotoğrafları özellikle elli yıldan fazladır orman envanterinin vazgeçilmez bir bileşeni olmuştur. Orman envanterinde, özellikle de amenajman planı düzenlemek amacıyla gerçekleştirilen envanterlerde geleneksel hava fotoğraflarının kullanımı halen önemini korumaktadır. Hava fotoğrafları, arazi çalışmalarını tamamlamak, geliştirmek veya azaltmak için en iyi şekilde kullanılmaktadır. Ormancılık çalışmalarında hava fotoğraflarının kullanımı önemini korumakla birlikte gerek orman haritaları üretmek ve gerekse yersel ölçümlerle kombine ederek elde edilecek verilerin doğruluğunu artırmak amacıyla ülkelerin bir çoğunda uydu verilerinden faydalanma çalışmalarında büyük bir artış gözlenmektedir (Nelson, 2005).

1960' lı yılların sonunda ormancıların ilgileri hava fotoğraflarından uydu görüntülerine yönelmiştir. Uzaydan uzaktan algılama uygulamalarının ilişkilendiği orman envanterindeki dikkate değer artış, 1972'de LANDSAT programının ilk uydusu fırlatıldıktan sonra görülmüştür. Orman envanterinin gelişmesinde uydu verilerinden beklentiler bu ilk yıllarda oldukça yüksek olmuştur. Buna karşın, mevcut algılayıcıların sınırlı özellikleri bu ümidi boşa çıkaran sonuçlara yol açması nedeniyle daha sonraki yıllarda ortaya çıkan yeni algılayıcıların kullanımında bazı kuşkulara sebep olmuştur. Teknolojik gelişmelerle birlikte uydu verilerinin fiyatında kayda değer düşmeler yaşanmaktadır. Ayrıca yüksek çözünürlüklü görüntü üreten algılayıcılar üretilmektedir.

Uydu ve bilgisayar teknolojisindeki bu hızlı gelişmelere koşut olarak görüntü analizi tekniklerinde meydana gelen önemli gelişmeler, uzaktan algılama uygulamalarının sayısının artışıyla sonuçlanmıştır (Pekkarinen, 2004; Nelson 2005).

Son yıllarda uydu teknolojisindeki gelişmelere koşut olarak, çok kanallı uydu verilerinin, ormancılık çalışmalarında geniş bir uygulama alanı bulduğu görülmektedir. Uydu verilerinden kısa sürede ve özellikle de yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ile yüksek doğruluklu olarak elde edilen bilgiler bir çok alanda olduğu gibi ormancılık alanında da çeşitli sorunların önüne geçilmesine ya da oluşan sorunlara zamanında çözümler getirilmesine olanak sağlamaktadır (Şeker ve diğ., 2005).

Uydu görüntüleri, orman kaynaklarının planlanmasında gerekli olan konumsal bilgileri büyük alanlarda ve kısa zaman aralıkları ile verebilmektedir. Görsel olarak yorumlanamayacak kadar büyük alanlarda, farklı spektral kanallardan elde edilen reflektans değerlerinin bilgisayar ortamında değişik algoritmalar kullanılarak çözümlenmesi ve analiz edilmesiyle yeryüzü özellikleri hakkında çok daha az masrafla ve kısa zamanda güvenilir sonuçlara ulaşılabilmektedir. Orman alanlarında oluşabilecek değişimler kısa periyotlarla saptanılmakta ve gerekli önlemlerin alınmasına olanak sağlanmaktadır. Otomatik ve yarı otomatik görüntü işleme teknikleri nedeniyle veri değerlendirme işlemleri daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

Uydu verileri, özellikle Finlandiya ve Kanada gibi ülkelerde, ulusal orman envanterinde kullanılmaktadır. Yüksek çözünürlüklere ulaştıkça uydu verilerinin giderek hava fotoğraflarının yerine kullanılabilecek alternatif bir bilgi kaynağı olacağı düşünülmektedir. Nitekim günümüzde, uydu verilerinin uzaysal çözünürlüğü bir metrenin altına düşmüştür. Pankromatik algılama modunda SPOT-5 2.5x2.5 metre, IKONOS-2 1x1 metre ve QUICKBIRD-2 0.61x0.61 metre uzaysal çözünürlüğe sahip görüntü üretmektedirler (Asan, 1999; Asan ve diğ., 2001; Köse ve diğ., 2002).

Renaud ve diğ. (2007), IKONOS uydu görüntüsünden yersel özelliklerin çıkarımında obje bazlı sınıflandırmanın etkinliğini test ettiği çalışmada, uydu görüntüsüne ilk aşamada, iskan, bitki örtüsü ve su dan oluşan kaba bir sınıflandırma yapılmıştır. Daha sonra bitki örtüsü topluluklarının daha ayrıntılı olarak ayrımının denetlenmesi amacıyla

15 adet sınıf oluşturulmuş ve sınıflandırmanın toplam doğruluğu % 64 (Kappa=0.52) olarak bulunmuştur. 10 sınıfa indirgenerek gerçekleştirilen sınıflandırmanın toplam doğruluğu ise %77 (Kappa=0.74) hesaplanmıştır. Sonuç olarak, IKONOS uydu görüntüsünden, hava fotoğraflarının yorumlanmasıyla üretilen bitki örtüsü haritaları kadar detaylı haritaların sağlanamayacağı sonucuna varılmıştır.

Bock et al. (2005) QuickBird görüntüsünden obje bazlı sınıflandırma tekniği kullanılarak öncelikle %81 toplam doğrulukla 8 genel bitki örtüsü sınıfı çıkarmıştır. Sınıf sayısı arttığında, 43 bitki örtüsü sınıfı için %48'lik bir toplam doğruluk değeri elde etmiştir.

Rego et al. (2007) yaptıkları çalışmada, Rio de Janeiro da LANDSAT uydu görüntüsü ve görsel yorumlama tekniği ile 1:10000 ölçeğinde oluşturulmuş olan arazi örtüsü sınıflarını, IKONOS uydu görüntüsü kullanılarak otomatik olarak üreten bir yöntem geliştirmeyi amaçlamışlardır. LANDSAT uydu görüntüsünden görsel yorumlama ile elde edilen sınıflandırma sonucunun ortalama doğruluğu %61.4 (Kappa= 0.45) iken IKONOS uydu görüntüsünün obje bazlı sınıflandırılmasıyla elde edilen sonucun ortalama doğruluğu %87.9 (0.83) olarak hesaplanmıştır. Ayrıca sınıflandırmanın birinci seviyesi için gerçekleştirilen obje bazlı yöntemin en yakın komşu yöntemi ile üyelik ilişkisi yönteminin sonuçları karşılaştırılmış, en yakın komşu yöntemine göre bulunan sınıflandırma sonucunun doğruluğu (% 89.3), üyelik ilişkisinden (%88.3) yüksek çıkmıştır.

Mathieu and Aryal (2005) tarafından, Dunedin de (New Zealand) bitki örtüsü topluluklarının haritasının üretilmesi, çok yüksek çözünürlüklü IKONOS uydu görüntüsü kullanılarak test edilmiştir. Görüntü objelerinin sınıflandırılması en yakın komşu yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş. Orijinal sınıflandırma şeması 17 bitki örtüsü sınıfını içermekte ve bunlardan 10 adeti (ormanlar, egzotik plantasyonlar, ağaç grupları, egzotik çalılıklar, karışık çalılıklar, doğal çalılıklar, çayır, tesislere ait çim alanları, bozuk çim alanları, özel bahçeler) başarılı bir şekilde ayrılabilmiştir. Ortalama sınıflandırma doğruluğu %92 (Kappa= %89) olarak hesaplanmış ve IKONOS uydu görüntüsü ve obje bazlı sınıflandırma yönteminin bitki örtüsü haritasının oluşturulmasında umut verici olduğu belirtilmiştir.

Hajek (2006) tarafından yapılan çalışmada, obje bazlı yaklaşım kullanılarak IKONOS uydu görüntüsünden, ağaç türlerinin otomatik olarak sınıflandırılması amaçlanmıştır. Çok çözünürlüklü görüntü dilimleme ve üyelik ilişkisi fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilen obje bazlı sınıflandırma işlemi sonunda Larix, Huş, Kayın, Ladin, Verimsiz, Açık Alan, Gölge, Yerleşim sınıflarına ilişkin sınıflandırma sonuçlarının toplam doğruluğu %94.5 ($\kappa=0.914$) olarak hesaplanmıştır. Larix, Huş ve Kayın sınıflarının birbirine karıştığı görülmüş, özellikle Huş sınıfının üretici ve kullanıcı doğruluğu ($\bar{U}=54.1$ $\bar{K}=65.5$) düşük hesaplanmıştır.

Hajek (2006), 4 m mekansal çözünürlüklü orijinal IKONOS uydu görüntüsü ve 1x1 m mekansal çözünürlüklü IKONOS PAN-SHARPENED uydu görüntülerinin sınıflandırma sonuçlarını karşılaştırdığı bu çalışmada, uydu görüntülerine obje bazlı sınıflandırma yöntemi uygulamıştır. Akçaağaç, Meşe, Ladin, Huş ve Larix meşcerelerinden oluşan meşcere düzeyinde sınıflara ilişkin sınıflandırma sonuçlarının ortalama doğruluğu IKONOS için %83 ($\kappa=80$), IKONOS PAN-SHARPENED için ise %83 ($\kappa=81$) olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar orijinal görüntü ile PAN-SHARPENED görüntü arasında ağaç türleri kompozisyonunun tanımlanmasında anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir.

Maxwell (2005), Orijinal QuickBird ve PAN-SHARPENED uydu görüntüsünde, obje bazlı sınıflandırma yaklaşımını Definiens programı kullanılarak test etmiştir. Kent alanına ait arazi örtüsünün sınıflandırılması amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada sınıflandırma doğrulukları her iki görüntü için %83.75 ($\kappa=0.762$) ve %84.25 ($\kappa=0.765$) bulunmuştur. Bu sonuç, orijinal ve PAN-SHARPENED görüntünün sınıflandırma sonuçları arasında anlamlı bir fark olmadığını ortaya koymuştur.

Wang et al. (2004) tarafından, Panamanın Karayıp kıyılarında Punta Galeta da IKONOS uydu görüntüsü kullanılarak mangrov ormanlarının haritasının çıkarılmaya çalışıldığı bu çalışmada, uydu görüntüsüne hem piksel bazlı hemde obje bazlı sınıflandırma yöntemi uygulanmıştır. Sınıflandırma işlemleri sonunda piksel bazlı sınıflandırma yöntemi için κ değeri %73, obje bazlı sınıflandırma yöntemi için ise %94 olarak hesaplanmıştır.

Plattier et al. (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, Portekiz'in üç farklı alanı için elde edilen IKONOS uydu görüntüsü en yüksek olasılık algoritmasına göre kontrollü olarak sınıflandırılmıştır. Su, açık alan, otsu vejetasyon, seyrek otsu vejetasyon, okaliptüs, sahil çamı, fıstık çamı, mantar meşesi, okaliptüs gençliği, yanmış alan sınıflarından oluşan sınıflandırma işlemine ilişkin doğru olarak sınıflandırılmış alanların ortalama oranı tüm çalışma alanı için %60 civarında hesaplanmıştır.

Li et al. (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, piksel bazlı ve obje bazlı sınıflandırma yöntemini karşılaştırmak için QuickBird uydu görüntüsüne piksel bazlı ve obje bazlı sınıflandırma teknikleri uygulanmıştır. 5 adet sınıfın (yol, su, bitki örtüsü, bina, gölge) ayrıldığı sınıflandırma sonucunda, piksel bazlı sınıflandırmanın toplam doğruluğu %63.44 (Kappa= 0.5346) olarak hesaplanırken, en yakın komşu yönteminin uygulandığı obje bazlı sınıflandırmada sınıflandırma doğruluğu %92.19 (Kappa=0.8835) hesaplanmıştır.

Heath (2006), , IKONOS, SPOT, LANDSAT TM sınıflandırma sonuçlarının doğruluğuna bağlı olarak detaylı düzeyde sınıflandırma için en iyi görüntüyü tanımlamaya çalışmıştır. Detaylı düzeyde sınıflandırma için her üç görüntüde benzer olarak zayıf doğrulukta sonuçlar vermiştir. Kayın, katran ağacı, karışık orman, orman değil, meşe, diğer orman, akça ağaç, akçam, akçam/katran ağacı sınıflarından oluşan sınıflandırma işleminin toplam doğruluğu LANDSAT için %34.2, SPOT için %21.4, IKONOS için % 21.8 olarak hesaplanmıştır.

Orman envanterleri, meşcere bazında, plan ünitesi, bölgesel ve ulusal bazda ve en son olarak da küresel bazda olmak üzere farklı mekansal ölçekleri kapsar. Bu nedenle farklı ölçeklerde farklı yöntemlere ve farklı bilgi kaynaklarına gereksinim duyulmaktadır.

Ülkemizde plan ünitesi bazında yapılan orman envanterinde meşcere tiplerini ayırmak ve ağaç servetini meşcere tipleri bazında daha güvenilir ve doğru olarak tahmin etmek için, 1963 yılından bu yana amenajman çalışmalarında hava fotoğrafları ve yersel ölçmeleri birleştiren kombine envanter yöntemleri kullanılmaktadır.

Ülkemiz koşullarında uydu verilerinin, hem amenajman planı düzenleme amacıyla hem de ulusal orman envanteri amacıyla kullanabilme olanaklarının ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir.

Orman kaynakları hakkında ülke bazında bilgi üretmek, “*Ulusal Orman Envanteri*” (UOE) olarak adlandırılan bir sistemle gerçekleştirilmektedir. Ülke ormanlarının tamamını kapsadığı için Ulusal Orman Envanteri olarak tanımlanan bu envanter, orman kaynaklarından yararlanmayı ulusal düzeyde planlamak ve bu amaçla uzun vadeli stratejiler geliştirmek için yapılmaktadır. Bu envanter için gerekli veriler, diğer envanter şekillerinden farklı bir yöntemle toplanmaktadır. Ayrıca her ülkenin orman koşullarının birbirinden farklı olması nedeniyle, UOE’nde kullanılan yöntemler ve bilgi kaynakları ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir. Örneğin bazı ülkeler UOE’de bilgi kaynağı olarak tamamen yersel ölçmelere başvururken, bazıları da uzaktan algılama verileri ile yersel ölçmeleri kombine etmektedir. Orman envanterinde bazı bilgiler sadece yersel ölçmeler, sadece hava fotoğrafları, uydu görüntüleri veya sadece topografik haritalardan sağlanabilmektedir. Bu şekilde orman envanterinde bilgi kaynakları tek başına kullanıldığı gibi bir veya birkaçı kombine edilerek de kullanılabilir. Gerekli bilgilerinin tek bir kaynaktan elde edilmesi hali “Tek Kaynaklı Envanter” olarak anılır. Bilgilerin hem yersel ölçmeler hem de hava fotoğrafı, uydu görüntüleri ya da kimi tematik haritalar vb. gibi birden fazla kaynaktan sağlanarak birlikte değerlendirilmesi haline ise, kullanılan kaynak sayısına ve bunlardan yararlanma entansitesine bağlı olarak “*çok fazlı yada aşamalı orman envanteri*” olarak adlandırılan bu yöntem özellikle UOE’de “**Çok Kaynaklı Orman Envanteri**” olarak adlandırılmaktadır (Asan, 2000; Özdemir, 2003; Asan ve Özdemir, 2004; Asan 2005).

Köhl et al. (1994) tarafından Katmanlı Çok Aşamalı Örnekleme Yönteminin bir örneği Hindistan’da gerçekleştirilmiştir. LANDSAT TM, iki değişik ölçekte hava fotoğrafları ve yersel ölçmelerin kombine edildiği bu çalışmada, katmanlı dört aşamalı örnekleme yöntemi uygulanmıştır. Birinci aşamada uydu görüntüsü 7 adet genel arazi örtüsü sınıfına ayrılmıştır. İkinci aşamada orman alanları 1/20000 ölçekli hava fotoğrafı kullanılarak 5 yoğunluk sınıfına bölünmüştür. Üçüncü aşamada 1/10000 ölçekli hava fotoğrafları üzerinden boy, ağaç sayısı ve tepe çapı ölçülmüştür. Dördüncü aşamada ise, yersel ölçmelerle göğüs çapı, boy, ağaç türü gibi meşcere parametreleri tespit edilmiştir.

Hesaplamalar sonucunda toplam ağaç serveti, 147 milyon m³, standart hatası da 14 milyon m³ bulunmuştur. Buna göre ağaç serveti, 119 milyon m³ ve 175 milyon m³ aralığında tahmin edilmiştir. Dört aşamalı envanter yönteminin pratikte uygulanabileceği, ayrıca para ve emek tasarrufu sağlayacağı bildirilmiştir. Bu yöntemin özellikle büyük orman alanları için uygun olduğu belirtilmiştir.

Çok Kaynaklı Orman Envanterinin, envanter verilerini daha az personele, daha hızlı, doğru ve ucuz bir şekilde elde edilmesinde önemli bir yöntem olduğu belirtilmektedir. İlk etkin Çok Kaynaklı Orman Envanteri uygulaması 1990 yılında Finlandiya’da başlamıştır. Yöntem, örnek alan verileri, uydu görüntüleri (genellikle LANDSAT TM) sayısal harita verisi ve kNN (k adet en yakın komşu yöntemi= k nearest neighbor) yöntemi kullanılmakta ve tüm orman alanı için orman karakteristiklerinin detaylı tematik haritaları ve istatistikleri üretilmektedir (Tuominen and Poso, 2001, Makela and Pekkarinen, 2004).

Ülkemizde uluslar arası standartlara uygun bir UOE henüz yapılmamıştır. Ülkemizde yapılması tasarlanan UOE de, “çok kaynaklı orman envanteri” yönteminin en uygun seçenek olduğu ve uydu verilerinin de önemli bir bilgi kaynağı olarak kullanılabileceği düşünülmektedir. Ülkemiz koşullarında, LANDSAT ve SPOT gibi uydu görüntülerinin amenajman planı düzenleme ve ulusal orman envanteri amacıyla kullanılabilme olanakları ile ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır. IKONOS ve QUICKBIRD gibi çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin ormancılıkta belirtilen amaçlar doğrultusunda kullanım olanakları ile ilgili yeterli çalışma yapılmamıştır.

Ülkemizde yapılan çalışmalarda; Koç (1997) LANDSAT TM uydu verisi ile ağaç türü ve karışımlarının belirlenmesi amacıyla yaptığı çalışmada; Mb3, Mc2 + Md3, KnCd3, Çkb3, GnDycd3, KnGndc3, Md1/GnDyc3, MGncb3, MGnab3, MKndc3, KsGnab3, ÇkDicb3 meşcere tiplerini %88,69 doğrulukla ayırlabildiğini belirtmiştir.

Yeşil ve diğ. (1999) tarafından İstanbul-Gaziosmapaşa Orman İşletme Şefliğine bağlı Tayakadın ve Şamlar yöresinde gerçekleştirilen çalışmada; Çmc3, Çmbc3, Mbt6, Mbt11, Kbt, Bkbt, ÇkMb3, BMbt, gibi meşcere tipleri %88 doğrulukla ayırt edilmiştir.

Musaoğlu (1999) LANDSAT MSS, LANDSAT TM, ERS-2 ve JERS-1 uydu verileri ile yaptığı çalışmada; LANDSAT TM 4. ve 5. bant kullanılarak Çm, Çk, MDy, GnDy, KsDy, KBt, Kıyı, Deniz, İskan arazi kullanım sınıfları %90 doğrulukla ayırt edilmiştir. LANDSAT TM 4. kanal, JERS-1 ve ERS-2 görüntülerinden elde edilen veri grubunun sınıflandırma doğruluğu %73 olarak belirlenmiştir.

Özdemir (2003) LANDSAT-TM, LANDSAT-7 ETM, SPOT-4 XS uydu verileri ile yaptığı çalışmada; Gemlik yöresinde yapılan incelemeler sonucunda, sonbahar (26 Eylül 1999) mevsimine ait LANDSAT-TM uydu verisinde en yüksek sınıflandırma doğruluğu, bakı ve yükselti gruplarına ayrılmış uydu verisinin sınıflandırılması sonucunda elde edilmiştir ($K=84.2$). İlkbahar mevsimine ait (02 Mayıs 2001) LANDSAT-7 ETM uydu görüntüsünde ise, uygulanan tüm işlemlerin sonucu birbirine yakın olmakla birlikte, sonbahar görüntüsüne oranla biraz daha başarılı sınıflandırma doğruluğuna erişilmiştir ($K=85.9$). Düzce yöresinde SPOT-4 XS uydu verileri ile yapılan sınıflandırma sonuçlarında, bu yöre için en uygun algılama tarihinin eylül ayı olduğu bulunmuştur. Bu tarihe ait uydu verisinde, orman olan ve olmayan yerler için en yüksek sınıflandırma doğruluğu, NDVI, 3/4 bant oranı ve 1.kanal kullanılarak elde edilmiştir ($K=88.6$). Haziran ayına ait SPOT-4 XS uydu verisinde ise NDVI, 3. ve 1. banda göre gerçekleştirilen sınıflandırma işlemi, eylül görüntüsünün aksine başarısız olmuştur ($K=76.6$).

Özkan (2003), İstanbul-Sarıyer’de bulunan çalışma alanında ait SPOT-5 uydu verisine uyguladığı piksel bazlı sınıflandırma işlemi sonucunda, Sahil çamı, Karaçam, Meşe, KsDy, İbrelili genç, Karışık Yap., İskan, Açıklık ve Su dan oluşan 9 adet sınıf için toplam sınıflandırma doğruluğu %78 ($Kappa= 0.75$) olarak bulunmuştur.

Ün “Stereo Uydu Görüntülerinden ve Hava Fotoğraflarından Meşcere Taslak Haritası Üretimi İşleminin Karşılaştırılması” adlı çalışmasında; renkli kızılötesi hava fotoğrafları ve IKONOS uydu görüntüsünü Kapıdağ Yarımadası’nda karşılaştırmalı olarak değerlendirmeye almış ve uydu görüntülerinin araştırma amaçlı projelerde kullanılması gerektiği sonucuna ulaşmıştır (Çakır, 2005).

Çakır (2005) yaptığı çalışmada, Artvin merkez planlama birimine ait LANDSAT uydu görüntüsüne kontrollü sınıflandırma işlemi uygulamış ve oluşturulan 13 sınıf için toplam doğruluk değeri %57 (Kappa= 0.53) olarak hesaplanmıştır. LANDSAT uydu görüntülerinin kontrollü sınıflandırma sonuçları ile orman amenajman planı meşcere haritasından türetilen arazi kullanım haritası karşılaştırılmış ve raster tabanlı yapılan doğruluk analizi değerlerinin vektör tabanlı doğruluk değerlerinden %5-10 oranında fazla olduğu görülmüştür.

Özdemir (2003), Katmanlı Çok Aşamalı Örnekleme Yöntemlerinden Katmanlı Üç Aşamalı Örneklemenin bir örneğini ülkemiz koşullarında uygulamıştır. LANDSAT uydu görüntüsü, hava fotoğrafları ve yersel ölçümlerin kombine edildiği bu çalışmada, birinci aşamada LANDSAT uydu görüntüsü üzerinde, geniş yapraklı, iğne yapraklı, açık alanlar ve su olmak üzere 4 sınıf ayrılmıştır. İkinci aşama üniteleri, 1x1 km büyüklüğünde ve 3x3 km aralık mesafe ile tüm çalışma alanına sistematik olarak dağıtılan 1/15000 ölçekli hava fotoğrafları üzerinden basit rasgele olarak seçilmiştir. Üçüncü ve son aşamada ikinci aşama katmanlarında yersel olarak ölçülecek örnek alanların sayısı belirlenerek, bunlarda ağaç serveti belirlenmiştir. Toplam ağaç serveti; 1519931.248 m³ olup, %95 güven düzeyinde 1260469.772 m³ ile 1779392.724 m³ aralığında kestirilmiştir. Elde edilen sonuçların doğruluğu ve güven düzeyi yeterli bulunmuştur. Bu yöntemin pratikte uygulanması hava fotoğrafları ile uydu verilerinin güncel ve birbirine yakın tarihte olmasına bağlı olduğu, fotoğraf çekme işinin istenilen koordinatlarda ve belirli aralık-mesafe ile gerçekleştirilmesi zor ve pahalı bir iş olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle hava fotoğraflarının yerine kullanılabilecek yüksek çözünürlüklü IKONOS, QUICKBIRD gibi uydu verilerinden yararlanılarak, hava fotoğraflarının bu sakıncalarını belli ölçüde giderebileceği belirtilmiştir.

Yapılan araştırmalar, LANDSAT ve SPOT gibi uydu görüntülerinin amenajman planı düzenlemek amacıyla meşcere tipleri ayırımında yetersiz kaldığı fakat elde edilen sınıflandırılmış haritanın ulusal veya bölgesel bazda yapılacak orman envanterinde kullanılmasının olanaklı olacağını ortaya koymuştur.

Tezin “Genel Kısımlar” bölümünde, orman envanteri, UOE, UOE konusunda büyük deneyimlere sahip bazı ülkelerle, UOE çalışmalarına yeni başlamış bazı ülkelerin UOE

sistemleri ait bilgiler verilerek, uzaktan algılama kavramı ve uzaktan algılamanın temel konuları açıklanacaktır. “Malzeme ve Yöntem” bölümünde, çalışma alanı, çalışmadan kullanılan bilgi kaynakları, sayısal görüntü işleme teknikleri ve envanter yöntemlerinin tanıtılması amaçlanmaktadır. “Bulgular” bölümünde çalışmanın amacı doğrultusunda elde edilen sonuçlar verilecektir. “Tartışma ve Sonuç” bölümünde, elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, bu sonuçların daha önce yapılmış yurt içi ve yurt dışı çalışmalarla karşılaştırılmalarına ve ileride yapılacak araştırmalara yönelik önerilere yer verilecektir.

Çalışmanın birinci amacı, ulusal bazda yapılacak envanter çalışmasında, ayrılacak olan geniş orman alanlarına ilişkin alan ve ağaç serveti değerlerinin belirlenmesinde uzaktan algılama verilerinden biri olan IKONOS uydu görüntüsünden yararlanma olanaklarını ortaya koymaktır. Bunun gerçekleştirilmesinde, 4x4 m mekansal çözünürlüklü IKONOS ve 1x1 m mekansal çözünürlüklü IKONOS PAN-SHARPENED uydu verileri ile bir trakt sistemine (Deneme Alanı Kümesi) dayalı olarak gerçekleştirilen yersel ölçümlerden elde edilen verilerden yararlanılmıştır. Çalışmanın ikinci amacı ise, hava fotoğrafları yerine alternatif bilgi kaynağı olabileceği düşünülen IKONOS ve IKONOS PAN-SHARPENED uydu verileri kullanılarak ülkemizde plan ünitesi bazında yapılan orman envanterinde meşcere tiplerini ayırabilme olanaklarını ortaya koymaktır.

2. GENEL KISIMLAR

2.1. ORMAN ENVANTERİ

Orman envanteri kavramı Eraslan (1971) tarafından; “Belirli bir zamanda, Orman işletmesinin veya Plan Ünitesinin sınırları içinde yer alan ağaçlı ve ağaçsız alanları, yetiştirme muhiti faktörlerini, ağaç servetini ve meydana getirdiği artımı, bitkisel, hayvansal ve mineral varlıkları ve yan ürünleri, kantitatif ve kalitatif olarak, inceleme ve ölçmelerle tesbit etmek ve değerlendirmektir. Kantitatif tesbitler, uzunluk, alan, hacim, ağırlık vs. gibi birimlerle ifade edilir” şeklinde tanımlanmaktadır.

Ormancılık ve orman kaynakları kavramında süre gelen gelişmeler sonucu bugün gelinen noktada orman envanteri Asan (2005) tarafından şu şekilde tanımlanmıştır; sadece küçük bir bölgede örnek alanlara dayalı meşcere ölçümleri değil; uzaktan algılama teknolojileri ve coğrafi bilgi sistemine dayalı veri işleme ve depolama yöntemleri dahil, tüm veri kaynaklarını kullanarak, büyüklüğü binlerce km², ye ulaşan orman alanlarının kendi fiziksel varlığı ile, bu ormanlar içinde kendiliğinden oluşan ürün ve hizmetleri, bunların oluşumu üzerinde etkili olan faktörler ile birlikte saptama amacıyla yapılan ölçme, gözlem, sayım ve değerlendirme işlerinin tamamıdır.

Bir orman envanteri yapmak için sayısız sebep ve amaç bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları;

- Silvikültürel amaçlar,
- Gençleştirme amaçlarıyla,
- Üretim amaçlı,
- Orman değerlerinin belirlenmesi amacıyla,
- Stratejik amaçlarla,
- Bölgesel ve ulusal araştırma amaçları için yapılan envanterlerdir (Scott and Gove, 2002).

Her ne kadar bu çeşit amaçlar arasında bazı örtüşmeler olabilse de, sonraki ayrıntılar arasında genel olarak büyük farklılıklar mevcut olmaktadır. Bir örnek vermek gerekirse, silvikültürel gereksinimler ve üretim envanterlerinin her ikisi de aynı meşcere ile ilgili iken amaçlar farklıdır ve bu yüzden de envanterlerin yoğunluğu farklı olacaktır.

Bir envanter planlanırken, amaçlar, konumsal ve zamansal ölçekler belirlenirken dikkate alınması gereken bir dizi faktörler bulunmaktadır. Bunlar;

- Örnekleme üniteleri tanımlanarak örneklemenin çatısı oluşturulmalı,
- Örnekleme stratejisi tanımlanmalı,
- Envanter sahası tanımlanarak, arazi çalışmaları için uygun haritalar ve uzaktan algılama verileri sağlanmalı,
- Belirli bir olasılık düzeyinde sabit ve değişken masraflar belirlenmeli,
- Uzaktan algılama verileri gibi yardımcı bilgi kaynakları da kullanılarak alanla ilgili bilgiler toplanmalı
- Envanterden beklenen bilginin türü ve sonuç raporu ile ilgili olarak bir karar verilmeli,
- Son olarak, kalite kontrol yöntemleri belirlenmelidir (Scott and Gove, 2002)

Orman envanteri çalışmalarının yapılış amaçları Kalıpsız (1984) ve Asan (2005) tarafından şu şekilde sıralanmıştır;

- Ulusal orman varlığı ve zaman içindeki değişimini alan, hacim ve biyokütle itibariyle ortaya koymak,
- Orman ekosistemlerindeki biyolojik çeşitliliği ve bunların zaman içindeki değişimini lokal, bölgesel ve ulusal bazlarda belirlemek,
- Orman yetiştirme ortamlarını sınıflandırmak ve haritalamak,
- Bölgesel düzeyde planlanan orman ürünleri endüstrisi için fizibilite etütleri yapmak,
- Amenajman planları için gerekli diğer dökümanı sağlamak,
- Orman işletmelerinin başarı analizlerine temel olmak üzere gerekli verileri toplamak,

- Olağanüstü koşullarda ortaya çıkan orman zararlarının boyutlarını görmek ve gelişimini lokal, bölgesel ve ulusal bazlarda izlemek,
- Herhangi bir amaca tahsis edilen, ya da el değiştiren ormanlık alanlar için orman değerini belirlemek,
- Orman ekosistemlerinde öne çıkan konumsal orman fonksiyonlarını lokal ve bölgesel bazlarda ortaya koymak,
- Hidrolojik amaçlı su havzaları etütleri yapmak,
- Orman yol şebeke planları ve yangın emniyet şeritleri için entansite ve genişlik belirlemek,
- Genel arazi kullanım şekillerini belirlemek,

Farklı amaçlar için yapılan orman envanteri sonuçlarının bir bölümü ulusal ormancılık politikalarını saptamak ve bu politikalara uygun yöresel, bölgesel ve ulusal ormancılık planları yapmak, bir bölümü de çevre ve ormancılık konularında imzalanan anlaşmalar gereği uluslar arası kurum ve kuruluşlara bilgi vermek için kullanılır (Asan, 2005).

Orman envanteri, söz konusu kaynağın büyüklüğüne ve amacına bağlı olarak üç değişik bazda yapılmaktadır;

- 1- Meşcere bazında orman envanteri: Büyüklüğü 1-100 ha. arasında değişen alanları kapsar.
- 2- Bölge (Plan ünitesi) bazında orman envanteri: Büyüklük olarak özel ormanlarda mülkün tamamını, devlet ormanlarında ise ortalama 10 000 ha. alanı kapsar.
- 3- Ulusal bazda orman envanteri: Büyüklüğü ülke alanının tamamını kapsar.

İlk iki sırada belirtilen meşcere ve plan ünitesi bazında envanter Türkiye’de 1917 yılından bu yana yapılmaktadır. Ancak uluslar arası standarda uygun bir UOE ise henüz yapılmamıştır. Türkiye’de orman envanteri denildiği zaman ilk akla gelen, genellikle amenajman planı düzenlemek amacıyla plan ünitesiyle aynı büyüklükte olan işletme şefliği bazında yapılan orman envanteridir (Asan ve diğ., 2001; Asan ve Yeşil, 2005).

Orman envanterinde bilgi toplamak amacıyla;

- Yersel ölçüm ve gözlemler
- Harita, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri
- Çeşitli amaçlar için düzenlenmiş tablolar
- İstatistik veriler
- Yayın ve raporlar
- Anket

gibi bilgi kaynaklarına başvurulmaktadır (Köhl, 1993; Asan, 2005).

Amenajman planı düzenlemek amacıyla yapılan bir orman envanteri genel olarak orman alanları ve bunların ayrıldığı alt toplumları belirlenerek alanın ölçülmesi ve meşcere parametrelerinin kestirilmesi çalışmalarını içermektedir.

Orman envanterinde hem meşcere sınırlarının belirlenerek alanının ölçülmesi ve hem de bu alan üzerindeki ağaç servetinin belirlenmesine yönelik bir envanter çalışmasını tamamen yersel ölçümlere dayanarak gerçekleştirmek mümkündür. Yersel ölçüm ve gözlemler, orman envanterinde en yaygın olarak kullanılan bilgi kaynağıdır. Yersel ölçüm ve gözlemler doğru ve ayrıntılı bilgi toplanmasına olanak sağlamakla birlikte çok zaman alıcı ve pahalı bir yöntemdir.

Ayrıca sadece yersel ölçüm ve gözlemlere dayanan orman envanteri istatistiksel olarak güvenilir bilgiler üretmesine rağmen genellikle konumsal verilerin elde edilmesi, sık aralıklarla güncelleştirilmesi ve görselleştirmeyi desteklemede başarısız olmaktadır. Arazi çalışmaları, konumsal orman kaynakları verisinin elde edilmesi için son yıllarda GPS, otomatik ölçüm araçları, kolay veri transferi ve modern uzaktan algılama verileri ile desteklenerek gerçekleştirilebilmektedir. Bu gelişme, önceliklerine göre konumsal sayısal veriler daha doğru ve az maliyetle sağlama olanağı vermektedir. Konumsal olarak kesin verilerin sağlanması ve analizine olan gereksinim uzaktan algılama verileri aracılığıyla kolaylıkla giderilebilmektedir. (Corona et al., 2003; Holopainen and Kalliovirta, 2006)

Meşcere sınırının belirlenerek alanının ölçülmesi ve bu alan üzerindeki meşcere parametrelerinin kestirilmesine yönelik bir envanter çalışmasının her iki aktivesinde de

uzaktan algılama tekniklerinden faydalanılabilmektedir. Özellikle hava fotoğrafları orman envanterinde, meşcere tiplerinin ayrımı ve haritalarının yapımı ve meşcere parametrelerinin kestirilmesi yönünde büyük bir potansiyele sahiptir. Meşcere tiplerinin ayrılmasında klasik prosedür, üniform alanlar içinde meşcere tiplerini ayırmak için hava fotoğraflarının görsel yorumlanmasıdır. Meşcere sınırlarını hava fotoğrafı üzerinde belirledikten sonra, ağaç serveti tahminini ya arazide yapılan örneklemeyle, ya da yine hava fotoğrafları yardımıyla kestirmek mümkündür. Nitekim, plan ünitesi bazında yapılan orman envanterinde, pahalı ve zaman alıcı yersel çalışmaları azaltmak ve envanter maliyetini düşürmek için uzun yıllardan beri hava fotoğraflarına başvurulmaktadır. Ülkemizde meşcere tiplerini ayırmak ve ağaç servetini meşcere tipleri bazında daha güvenilir ve doğru olarak tahmin etmek için, 1963 yılından bu yana amenajman çalışmalarında hava fotoğrafları ve yersel ölçmeleri birleştiren kombine envanter yöntemleri kullanılmaktadır (Eler, 2001).

Orman planlama sisteminde, uydu görüntüleri ve görüntü işleme tekniklerinin yersel ölçümler ile kombine edilerek kullanılması olanağı, hava fotoğrafı yorumlanması gibi diğer envanter yöntemlerine karşı bir alternatif teşkil edeceği düşüncesi yönünde araştırmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Büyük alanı kapsamı ve aynı alanı kısa zaman aralıklarında tekrar gözlemlene kabiliyeti uydu verilerini, arazi örtüsü ve orman haritalarının elde edilmesi ve bitki örtüsündeki dinamik değişimlerin izlenmesinde etkili bir araç yapmaktadır (Giannetti et al., 2003).

Uzaktan algılama verileri arazi gözlemleri ile birlikte ormana ilişkin bilgilerin sağlanmasında tamamlayıcı kaynak olarak kabul edilmektedir. Orman envanterleri harita üretimi, meşcere parametrelerinin tahmini, arazi envanter dizaynı için homojen katmanların ayrılmasında uzaktan algılama verilerinden faydalanılmaktadır. Uzaktan algılama verileri, ölçülecek örnek alanlar hakkında ön arazi tesbitleri yapmak gibi çalışmalarda kullanıldığı zaman faydaları daha da çoğalmaktadır (Köhl and Paivinen 1996; Nelson, 2005).

Orman envanteri çalışmalarında, uzaktan algılama verisinin kullanılmasına karar verilirken; uzaktan algılama verisinin temini ve yorumlanmasından kaynaklanan masraflarına karşılık arazi çalışmalarının masrafını ve süresini azaltması gibi masraf ve

faydaları göz önüne alınmalıdır. Eğer uzaktan algılamanın faydalı olacağı kararlaştırılmışsa, ikinci adım, uzaktan algılama çeşidinin işlevlendirilebilirliğini düşünmektir. Burada iki önemli soru ile karşılaşmaktadır; Kullanılacak olan uzaktan algılama ürünü hava fotoğrafı mı yoksa uydu görüntüsü mü olmalı? Görüntünün en uygun mekansal, spektral, radyometrik ve zamansal çözünürlüğü ne olmalı ?

Bu sorunlar envanter alanının büyüklüğü, envanter amaçlarına, istenilen doğruluk düzeyine (meşcere, bölge-plan ünitesi, ulusal düzeyde envanter) ve görüntüleme masraflarına bağlı olmaktadır. Oldukça yüksek detayda bilgi istemeyen durumlarda LANDSAT gibi uygun fiyatlı ve yüksek çözünürlüklü görüntü tercih edilebilir. Ancak yapılacak çalışma çok detaylı bilgi gerektiriyorsa, burada en uygun seçim yüksek çözünürlüklü görüntüler, hava fotoğrafları, Lidar, laser tarayıcı ile elde edilen görüntülerden biri seçilebilir. Orman planlama amaçları için uzaktan algılama görüntülerinin en uygun olanı sayısal hava fotoğrafları, büyük alanların envanteri için de uydu görüntüsü olduğu belirtilmiştir. Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsünün hava fotoğraflarından avantajı ünite alanı başına daha düşük fiyata temin ediliyor olması ve daha yüksek spektral çözünürlüğe sahip olmasıdır (Holopainen, 1998; Hyppa and Inkinen 1999,; Pitkanen, 2001; Tuominen and Poso, 2001; Pekkarinen 2002, Pekkarinen 2004; Holopainen and Kalliovirta, 2006)

Meşcere tiplerinin ayrılması ve sınıflandırılması çalışmalarında hava fotoğrafı yorumlama tekniklerinin kullanılması, foto yorumlamacıların tecrübesine bağlıdır. Bazı tecrübeler, farklı yorumlamacıların çıkardıkları hava fotoğrafı yorumlama sonuçları arasında büyük farklılıklar olabildiğini göstermiştir. Orman envanterinde optik uzaktan algılama görüntülerinin her yerde kullanımını kısıtlayan nedenleri arasında; dağlık-sarp yapı ve düzensiz arazi yapısı, düşük çözünürlük, gölgeye sebep olan bulut örtüsü sıralanabilir. Sırasıyla 30 ve 10 m mekansal çözünürlüğe sahip LANDSAT-7 ve SPOT 5 gibi yüksek çözünürlüklü uydu verilerinden, spesifik orman envanteri çalışmaları için uygun yada yeterli doğrulukta veri sağlanamamasında asıl sebep sınırlı mekansal çözünürlükleridir. Görüntüdeki her bir piksel görüntü üzerinde küçük bir nokta olmasına rağmen meşcere düzeyindeki çalışmalar için büyük bir alanı kapsamaktadır. Tek bir görüntü pikseli bir ağaçtan daha büyük fakat meşcereden daha küçük bir alanı temsil etmektedir. Temsil ettikleri meşcereleler tam anlamıyla homojen bir yapıda

olmamasından dolayı, bu piksellerin de oldukça büyük bir oranı karışık durumda olup yani homojen değildirler. Ayrıca da komşu meşcerelerden de spektral bilgi taşımaktadırlar ve meşcerenin spektral özelliklerini zayıf bir şekilde temsil etmektedirler. Açıklanan sebeplerden ötürü, SPOT, LANDSAT gibi uydu görüntüleri orman amenajman planları gibi meşcere ve örnek alan düzeyinde yüksek ayrıntı isteyen çalışmalarda düşük mekansal çözünürlüklerinden dolayı yetersiz bilgiye sahip olmakta ve orman amenajman planları için kullanılabilme olasılığı oldukça düşük olmaktadır (Gong et al., 1999; Tuominen and Pekkarinen, 2005).

Böyle yardımcı veriler spesifik orman envanteri çalışmaları için uygun yada yeterli doğrulukta olmaması ve orman amenajman planları için kullanılabilme olasılığı oldukça düşük olmasına rağmen, uydu verilerinin spektral değerleri ile ilgili orman karakteristiklerinin gerçek değerleri arasında yüksek bir korelasyon söz konusudur. Bu yüzden orman karakteristiklerin tahmini için kullanılabilir. Ayrıca LANDSAT, SPOT gibi geniş alanları kapsayan uydu verileri bölgesel yada ulusal düzeyde orman kaynaklarında bilgi üretmek için orman envanterlerinde yardımcı bir veri kaynağı olarak geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bunun başarılı bir örneği Finlandiya’da uygulanan çok kaynaklı ulusal orman envanteridir. Yöntem, tematik haritalar ve istatistikler formunda, seçilen orman özelliklerinin tahminlerini üretmek için yersel örnek alanların sistematik bir örnekleme, uydu görüntüleri ve sayısal harita verilerini kullanmaktadır (Katila and Tomppo, 2001; Makela and Pekkarinen, 2001; Tokola et al., 1996).

IKONOS gibi çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin hava fotoğrafları yerine kullanılabileceği belirtilmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte çok yüksek çözünürlüklü uydu verilerinin elde edilmesi ve bunların çok kaynaklı orman envanterine katılımı, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerine göre bazı komplikasyonları da beraberinde getirmiştir. Çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinde tek piksel, tek ağaçların bile spektral karakteristiklerini temsil etmemekte, görüntü üzerinde tek bir ağaç çok sayıda pikselin spektral değerlerinden oluşmaktadır. Görüntü analizleri için ihtiyaç duyulan meşcere ve alt meşcere spektral bilgisi her bir pikselin lokal komşuluklarına genellenmek zorundadır. Bu sorunları gideren yeni görüntü işleme tekniklerinin geliştirilmesiyle, çok yüksek mekansal ve spektral çözünürlüklere sahip uydu görüntüleri ve hyperspektral görüntü gibi son gelişmeler önceden tahmin edilenden

daha hızlı, daha doğru ve objektif bilgi elde edilmesi için heyecan verici potansiyeller sunmaktadır. Dolayısıyla günümüzde uydu görüntüleri kademeli olarak hava fotoğraflarının yerini almaya başlamıştır (Kangas et al., 2003; Tuominen and Pekkarinen, 2005) .

2.1.1. Ulusal Orman Envanteri

Doğal kaynak yöneticileri sürdürülebilir orman işletmeciliği yaklaşımı ile dünya çapında orman ekosistemlerini geliştirmeye ve korumaya çalışmaktadırlar. Orman kaynaklarının izlenmesi ve değerlendirme çalışmaları geçen yüzyıldan beri devam etmektedir. Ormanların izlenmesi zaman içinde kaynaklarda meydana gelen değişimleri saptamayı ve ölçmeyi kapsarken, ormanların değerlendirmesi kaynakların mevcut durumlarını ortaya çıkarır. Çoğu ülke orman kaynaklarını izleme ve değerlendirme çalışmaları için ulusal orman envanteri (UOE) sistemlerini oluşturmuş ve geliştirmiştir (Corona et al., 2003; McRoberts and Tomppo, 2007).

UOE, orman kaynaklarının mevcut durumunu ulusal düzeyde saptamak ve bu kaynaklar için yine ulusal düzeyde periyodik ve uzun vadeli stratejiler geliştirmek amacıyla yapılan bilgi toplama ve değerlendirme işleridir (Asan ve Yeşil, 2005).

UOE'nin misyonu, orman kaynaklarının durumu, kullanımı, yönetimi ve gelişimine ilişkin ihtiyaç duyulan ulusal düzeydeki bilgileri zamanında ve yeterli doğrulukta üretmek ve rapor etmektir. Bu değerlendirme, çok geniş biyolojik ve sosyo-ekonomik değişkenleri kapsamakta ve bu yüzden bir ülkenin tamamı için geniş ve bütüncül bir bakış sağlamaktadır. UOE sistemi, bu bilgileri üretmek için örnekleme tabanlı yöntemlere dayanmaktadır. Her ne kadar her biri deneme alanı kümesi gerektiren sistematik bileşenlere sahip olsa da farklı örnekleme deseni ve bilgi kaynakları kullanmaktadır. Deneme alanı kümesi, yoğunluk, büyüklük, tek ya da grup halinde örnek alanlar, sürekli ya da geçici örnek alanlar, sabit ya da değişken büyüklükte örnek alanlara bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Corona et al., 2003; McRoberts and Tomppo, 2007).

Ulusal orman envanteri sistemi ve kullanılan bilgi kaynakları;

- İlgili ülkenin genel topoğrafik özellikleri

- Orman alanlarının büyüklüğü
- Ormanların form ve ülke yüzeyine dağılışı
- Ormancılık geleneği
- Ulaşım olanakları
- Çağdaş teknolojiyi kullanım düzeyi
- Daha önce yapılan envanter sonuçlarının elde bulunup bulunmaması

gibi birçok kritere bağlı olarak ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir (Asan ve diğ., 2004; Asan ve Yeşil 2005). Bazı ülkeler UOE’nde bilgi kaynağı olarak tamamen yersel ölçmelere başvururken, bazıları da uzaktan algılama verileri ile yersel ölçmeleri kombine etmektedirler. Örneğin yüzölçümü küçük İsviçre’de hava fotoğrafları ve yersel ölçmelerin kombine edildiği bir UOE sistemi kullanılmaktadır (Köhl, 2001). Finlandiya ise topoğrafik koşulların uygunluğu ve genelde saf türlerden oluşan orman alanlarına sahip olması nedeniyle, UOE’nde uydu verilerini etkili bir biçimde kullanmaktadır (Makela and Pekkari, 2004).

UOE sistemleri, tahminlerin uygunluğunu ve doğruluğunu eş zamanlı olarak artırırken envanterin maliyetini düşüren ve hızlı bir şekilde yürütülmesini sağlayan teknolojik gelişmeleri araştırmaktadır. Araştırılan bu teknolojik gelişmelerin başında da son yıllarda düşük maliyetlerde ve kolay elde edilebilir olan uzaktan algılama verilerinin UOE modellerine entegre edilmesi gelmektedir. Uzaktan algılama verileri, sadece maliyeti düşürme, hızı artırma envanterle ilgili doğru ve uygun verileri sağlamakla kalmıyor, aynı zamanda birkaç yıl öncesine kadar yapılamayan, mekansal çözünürlükleri ve doğrulukları ile ormanların çeşitli parametrelerine ilişkin tematik haritalarının yapımını kolaylaştırmaktadır.

Geleneksel olarak UOE’leri, “*Ne kadar*” ve “*Nerede*” sorularına cevap verebilmelidir. “*Ne kadar*” sorusuna cevap verebilmek için örnek alanlardan toplanan veriler kullanılmaktadır. Bununla birlikte ayrıca kullanıcılar “*Nerede*” sorusuna cevap verilebilmesi için UOE’lerinin sadece tahminleri tablo olarak rapor etmesini değil aynı zamanda orman kaynaklarının konumsal dağılımlarını gösteren haritaları üretmesini de beklemektedir. Bu yüzden UOE’lerinde uzaktan algılama verilerinden sıkça faydalanılmaktadır.

Hava fotoğrafları böyle verilerin geleneksel bir kaynağı olmuştur ve dijital formatta elde edilebilirliğinin artması kullanımlarını büyük ölçüde kolaylaştırmıştır. LANDSAT 5 TM veya LANDSAT 7 ETM+ uydu görüntüleri oldukça büyük alan kaplamaları, spektral çözünürlüğü ve orta dereceli mekansal çözünürlüğünden dolayı UOE de örnek alan verileri ile kombine edilerek operasyonel kullanım için uygun olduğu kabul edilmektedir. LANDSAT görüntüleri yerine Multi-spektral SPOT veya IRS-1 CLISS görüntüleri de bazen kullanılabilir. Aktif algılayıcılardan veri kullanımı, mekansal çözünürlük, yükselti, bulutlu gün sayısı veya ormanların kompleks yapısı gibi faktörler tarafından sınırlandırılmaktadır. Aktif algılayıcılardan veri kullanılarak elde edilen tahminlerin kalitesine rağmen, örnek alanların uzaktan algılama ölçümleri, tamamen arazi ölçümlerinin yerine geçmesi yakın gelecekte beklenmemektedir (McRoberts and Tomppo, 2007; Tomppo et al., 2008).

Günümüzde hem dünya piyasalarında odun hammaddesinin ticari mal olarak değerinin yükselmesi, hem de global iklim değişimi ve diğer çevre sorunlarının çözülmesinde orman kaynaklarının rol ve öneminin giderek belirginleşmesi, sürekli değişim halindeki bu kaynağa ilişkin sayısal bilgilerin kısa zaman aralıkları ile sık sık güncelleştirilmesini zorunlu hale getirmiştir. Nitekim; bu durumun sonucu olarak, Rio ve Helsinki çıkışlı çevre sözleşmelerine imza koyan tüm ülkelere bu bilgileri sürekli yenileme zorunluluğu getirilmiştir. Bu zamana kadar ülkemizde, ülke geneline ait orman varlığına ilişkin istatistikler, devlet ormanlarına ait amenajman planlarındaki rakamların toplamı olarak verilmiştir (Asan, 2000).

Oysa ki, çok sayıda plan ünitesinde planlar değişik tarihlerde yapılmış olup ayrıca altyapı ve organizasyon eksikleri nedeniyle bazı plan ünitelerinde amenajman planları zamanında yenilenememektedir. Plan üniteleri için yapılan envanterde, veriler farklı hata yüzdeleri ile elde edilebilmekte ve değişik plan ünitelerine ait veriler söz konusu olunca bu durum daha da karmaşık hale gelebilmektedir. İstatistiksel yönden bu verileri birlikte değerlendirmek doğru olmamaktadır. UOE başlı başına ayrı bir çalışma olup, ülke bazında belli bir zamanda ve kabul edilen hata yüzdesi ile yapılmış envanterden elde edilen bilgiler bir arada değerlendirilerek UOE elde edilmektedir. UOE'nin temeli devamlı orman envanterine dayanmaktadır. Hem ülke gereksinimlerini karşılamak ve hem de ulusal

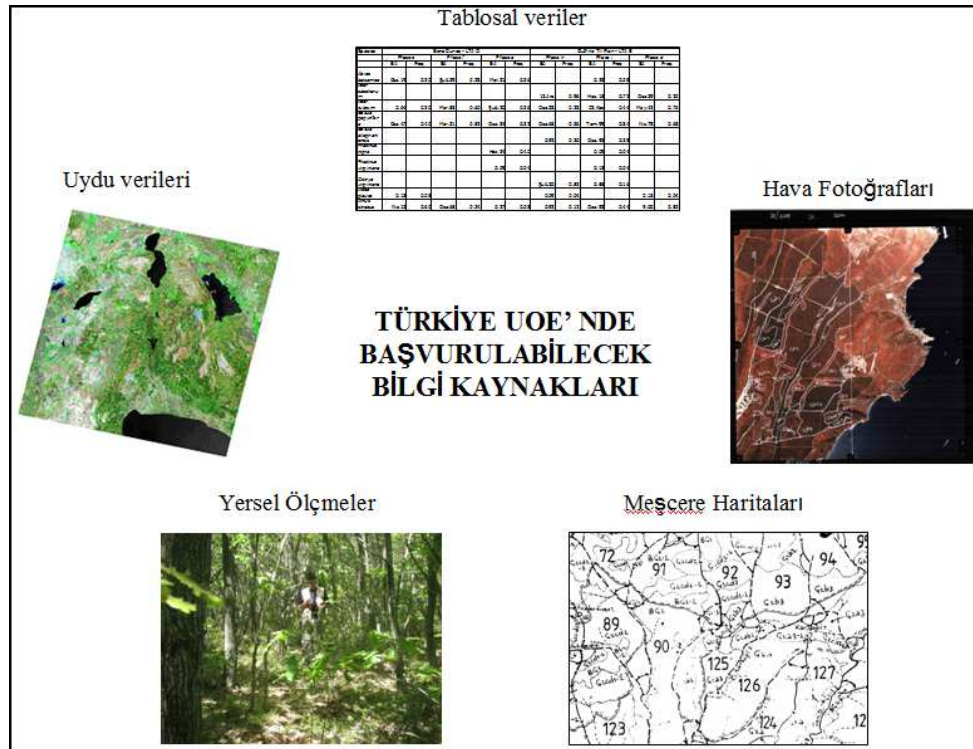
orman varlığımız konusunda uluslar arası norm ve standartlara uygun güncellenebilir ve kıyaslanabilir bilgi üretebilmek için de ormancılığımızda bugün kullanılan envanter yöntemi uygun değildir (Asan, 2000, Eler, 2005).

Ülkemizde UOE'ne başlanmasını zorunlu kılan nedenler Asan ve Yeşil (2005) tarafından şu şekilde sıralanmıştır;

- Avrupa Birliğine entegrasyon sürecindeki ülkemiz, uluslar arası anlaşmalardan doğan yasal sorumluluklarını yerine getirmek ve orman kaynakları hakkında sorumlu kuruluşlara doğru ve karşılaştırılabilir bilgi üretmek zorundadır.
- Toplumun odun ve odun dışı orman ürünleri ve hizmetlerine olan ihtiyacını bugün ve gelecekte sürekli karşılayabilmek amacıyla, ulusal ve bölgesel düzeyde yapılacak stratejik planlar için güvenilir güncel bilgilere gereksinim vardır.
- Türkiye ormanları için mevcut istatistik bilgileri doğal ve yapay yoldan gelişmiş devlet ormanlarına aittir. Devlet ormanları dışında bulunan ve özel mülkiyete konu olan Kavak plantasyonları hakkındaki mevcut bilgiler yeterli değildir. Kavak odunu kullanan endüstrinin hammadde kapasitesinin tam olarak ortaya konulamaması ve kavak alanlarının güvenilir bir envanterinin bulunmaması, arz/talep dengesinin zaman zaman bozulmasına ve fiyat dalgalanmalarına neden olabilmektedir. Bu yüzden, hem odun işleyen endüstri ve hem de özel ağaçlandırma yapanların doğru olarak yönlendirilmesi amacıyla, özel mülkiyete konu olan plantasyonların aktüel durumunun ortaya konulması ve uygun yöntemlerle bu kaynağın belirli zaman aralıklarıyla izlenmesi gerekmektedir.
- Amenajman planlarındaki bilgilerin alt alta toplanarak ortaya konulacak bir envanterin, güncel orman varlığımızın ülke düzeyinde belirlenmesinde istatistiksel olarak güvenilir olmadığı açıktır. Çünkü, ülkemizin tüm orman alanları düşünüldüğünde, amenajman planları arasında en az 10 yıllık bir fark bulunmaktadır. Süresi biten bazı planların zamanında yenilenemediği de düşünülürse, planların yapılış tarihleri arasındaki fark daha da büyümektedir. Diğer yandan amenajman planlarındaki bu bilgiler, birbirinden farklı hata düzeyleriyle hesaplanmıştır. Bu nedenle, birbirinden farklı hata ve istatistik değerlerle elde edilen bu verilerin alt alta toplanmasıyla yapılacak bir envanter doğru bir yaklaşım değildir.

- Orman kaynakları üzerindeki doğal tehlikelerin ve insan etkilerinin düzenli olarak izlenmesi ormancılık politikaları için gereklidir. Kaçak kesimler, orman yangınları, böcek, mantar afetleri ve diğer orman zararlarından ötürü, orman kaynaklarımızın etkili yöntemlerle izlenmesi zorunludur. Devamlı örnek alanlarında yapılacak ölçümlerle, orman alanlarındaki değişimlerin ve orman ekosisteminin sağlık durumunun, belirli zaman aralıklarıyla izlenmesi gerekmektedir.

Türkiye için de ülke koşulları dikkate alınarak bir UOE sistemi geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, Türkiye için uygun bir UOE modelinin geliştirilebilmesi için öncelikle hangi bilgi kaynaklarına başvurulacağına açıklık getirilmelidir. Bu amaçla kullanılabilecek başlıca bilgi kaynakları; yersel ölçmeler, hava fotoğrafları, amenajman planları için hazırlanan meşcere haritaları, uydu verileri, daha önce düzenlenmiş tablo ve istatistikler olarak sıralanabilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Türkiye UOE'nde başvurulabilecek bilgi kaynakları

Orman amenajman planı harita ve verileri, Türkiye orman alanının %90'ından fazlası için bu veri kaynağının mevcut olması ve tamamının sayısal olarak kullanılabilir durumda olmasından dolayı UOE'nde kullanılabilecek çok önemli bir bilgi kaynağıdır.

Birçok ülkede hava fotoğrafları UOE sisteminde önemli bir rol oynamaktadır. Fransa ve İspanya gibi bazı ülkeler, UOE sisteminde hava fotoğraflarından orman alanlarının sınırlandırılmasında yararlanmaktadır. Ancak, Türkiye büyüklüğündeki bir alana sahip ülkelerde böyle bir yaklaşımın uygulanabilir olmadığı belirtilmektedir. Ayrıca, Türkiye’de amenajman planları düzenlemek amacıyla kullanılan hava fotoğrafları bütün ülkeyi kaplamakta ancak, ülkenin bazı yörelerinde ormanlardaki hızlı dinamik değişimler nedeniyle 3-5 yılı aşan fotoğraflar yorumlama için uygun bulunmamaktadır. Harita genel komutanlığı kaynaklı diğer hava fotoğraflarını da ücretsiz veya düşük maliyetli olarak elde etmek olanaksız görülmektedir. Bu nedenle hava fotoğrafları UOE tasarımıyla üstün bir rol oynamamakla birlikte, bunların yerine IKONOS, QUICBIRD gibi yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden yararlanılabileceği belirtilmektedir (Dees et al., 2005).

Türkiye gibi büyük bir ülkenin, orman alanlarındaki belirli zaman aralıklarında meydana gelebilecek değişimlerin belirlenmesinde, uygun maliyetli, tek çerçeve içinde yeterli miktarda veri bulunan veri kaynakları kullanılmalıdır. Bu bağlamda LANDSAT 7 ETM uydu verisi, 185*185 km²’lik bir alan kaplaması, pankromatik bantta 15 m. multispektral bantta 30 metrelik mekansal çözünürlüğe sahip olması ve aynı zamanda veri maliyetleri açısından da uygun olması nedeniyle Türkiye’de yapılacak UOE için uygun bir bilgi kaynağıdır. Türkiye’de bulutlu günlerin sayısının az olması ve sınıflandırma doğruluğunu artırmak için farklı mevsimler hatta farklı aylar için görüntü bulunabilecek olması Türkiye UOE’nde uydu verilerinin kullanımını cazip hale getirmektedir (Dees et al., 2005).

Özdemir (2003), Asan ve diğ. (2004) tarafından, katmanlı çok aşamalı örnekleme Türkiye UOE için uygun bir model olarak önerilmektedir. Önerilen modelin birinci aşamasında, orman olan ve olmayan yerlerin belirlenmesi, orman alanlarının da kendi içinde verimli ve bozuk alt katmanlara ayrılmasında LANDSAT uydu görüntüsünden yararlanılması düşünülmektedir. Uydu verisinden orman olan ve olmayan yerlerin ayrımı sırasında karşılaşılabilecek en büyük sorun, uydu verisi üzerinde orman alanları gibi görülen fakat gerçekte orman olmayan tarımsal amaçlı plantasyonların orman alanlarından ayrılıp ayrılmayacağıdır. Orman olarak kabul edilmeyen Zeytin,

Narenciye, Meyve bahçeleri, Fındık, Kavak ve Çay plantasyonları ile kaplı bu alanlar, orman alanları ile iç içe olup, sınırları henüz kesin olarak belli değildir. Yapılan araştırmalar, tarımsal amaçlı Zeytin, Narenciye, Kavak ve Fındık plantasyonlarının LANDSAT uydu görüntüsü kullanılarak orman alanlarından yeterli doğrulukta ayrılabilindiklerini ortaya koymuştur (Özdemir, 2003; Asan ve diğ., 2007).

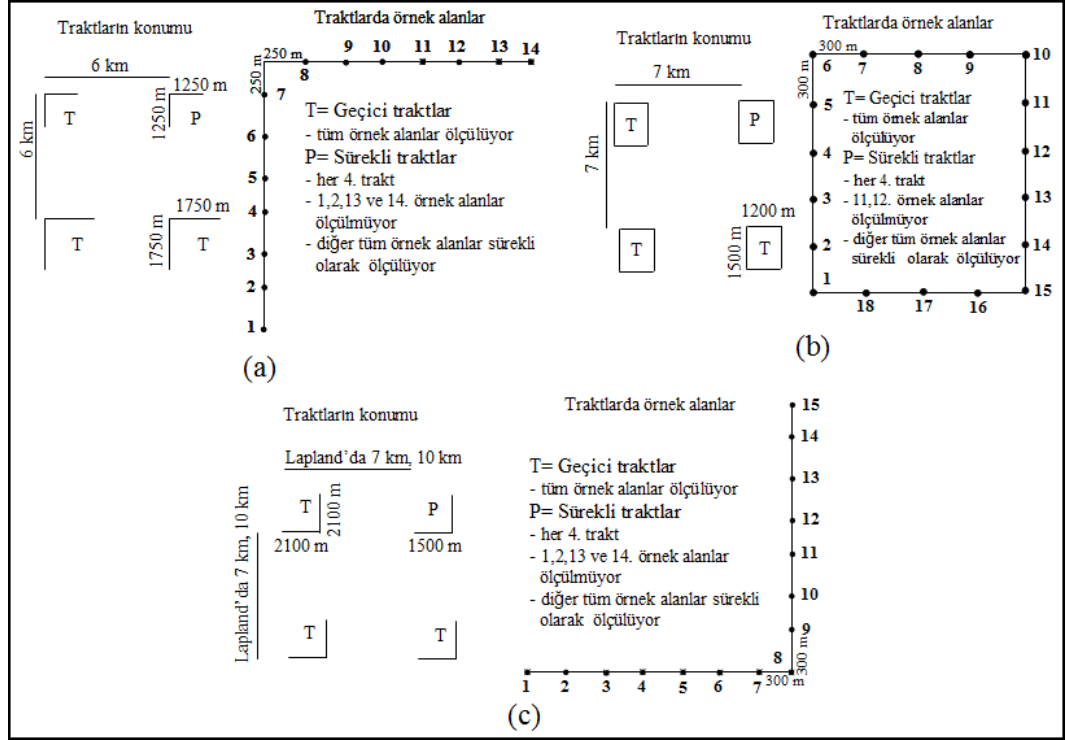
Önerilen modelin ikinci aşamasında, hava fotoğrafı yada IKONOS ve QUICKBIRD gibi çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntüsü kullanılmakta ve birinci aşamada ayrılan orman alanları istenilen ayrıntıda alt sınıflara ayrılmaktadır. Üçüncü ve son aşamayı ise yersel ölçmelerle dendrometrik parametrelerin kestirilmesi oluşturmaktadır.

UOE konusunda büyük deneyimlere sahip ve çok kaynaklı orman envanterinin UOE' de ilk kullanıcılarından olan Finlandiya ve İsveç, yine bu konuda deneyimli olan Amerika ile UOE sistemlerinin geliştirilmesi için yeni çalışmalarda bulunan Kanada ve Almanya gibi bazı ülkelerin UOE modelleri hakkında aşağıda bilgi verilmiştir.

2.1.1.1. Finlandiya Ulusal Orman Envanteri

1920'de başlamış olan Finlandiya Ulusal Orman Envanteri'nin 9. rotasyonu 1996-2003 yılları arasında tamamlanmış olup 10. rotasyon 2004 yılında başlamıştır. UOE' nin genel rolü, Finlandiya orman kaynakları, ormanın sağlık durumu, biyoçeşitlilik, orman karbon havuzları ve gelişimleri hakkında ulusal ve bölgesel düzeyde karar alma ve politika geliştirmek için objektif ve güncel bilgi üretmektir.

9. envanter rotasyonunda kullanılan deneme alanı kümesi, trakt olarak adlandırılan bir deneme alanı kümesi şeklindedir. Örnekleme deseni, iki tract arasındaki mesafe ülkenin en güneyindeki kısımda 6x6 km'den Kuzeyde 10x10 km arasında değişen şekillerde ayarlanılmıştır (Şekil 2.2). Yeni sistemde tüm örnek alan gridlerinin (trakt) örnek alanlarının beşte biri yıllık olarak ölçülmek suretiyle ülkenin tamamı her yıl kapsanmış olacaktır.



Şekil 2.2: Finlandiya 9. UOE’de kullanılan örnekleme sistemi (a- Finlandiya’nın en güney kısmında b- orta kısmında c- kuzey kısmında) (Tomppo, 2006)

Finlandiya UOE, optik uydu görüntüsü ve diğer sayısal veri kaynakları ile yersel ölçümleri kombine eden çok kaynaklı orman envanteri yöntemi uygulamakta ve küçük alanlar için istatistikler üretmektedir. LANDSAT 5 TM veya LANDSAT 7-ETM algılayıcılarından elde edilen görüntüler, oldukça geniş alanları kaplamaları ve orta düzeydeki spektral ve mekansal çözünürlüklerinden dolayı mevcut uygulamalar için en uygun uydu görüntüsü olarak kabul edilmiş ve bu görüntülere öncelik verilmiştir. Bu görüntülerin bulutlar nedeniyle kullanılamadığı durumlarda şimdiye kadar, SPOT 2-4 XS HRV görüntüleri veya IRS-1 C LISS görüntüleri kullanılmıştır. Tek pikseller için orman değişkenlerini tahmin etmek ve yersel örnek alanların ortalamalarını belirlemek için kNN(k-nearest neighbour) olarak isimlendirilen non-parametrik bir yöntem kullanılmaktadır. kNN yönteminin bir avantajı, tüm envanter değişkenlerini eş zamanlı olarak tahmin edebilmesidir.

Tahmin hatalarını azaltmak için sayısal arazi haritaları kullanılmıştır. Orman olmayan alanlar ile orman alanların ayrımı, uydu görüntülerine ek olarak sayısal harita verileri ile desteklenebilirse, alan ve toplam hacim tahminlerinin hataları çok kaynaklı metot ile

önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Tahminlerdeki muhtemel harita hatalarının etkisi, istatistiksel metotlar ile azaltılabilmektedir (Katila, 2004; Tommpo, 2005; Tommpo, 2006).

2.1.1.2. Kanada Ulusal Orman Envanteri(KUOE)

Kanada UOE için hedef toplum, Kanada'nın tamamını kapsamaktadır. Bu hedef toplum ve bu yüzden de örnekleme ünitelerinin listesi, 15 karasal ekozonlar içinde katmalara ayrılmış son derece küçük örnek noktalardan meydana geldiği varsayılmaktadır. Ekozonlar, UOE üniteleri olarak isimlendirilen alt populasyon içinde bölümlere ayrılmaktadır. Bir UOE ünitesi, eyalet sınırları içinde bir ekozon olarak tanımlanmaktadır.

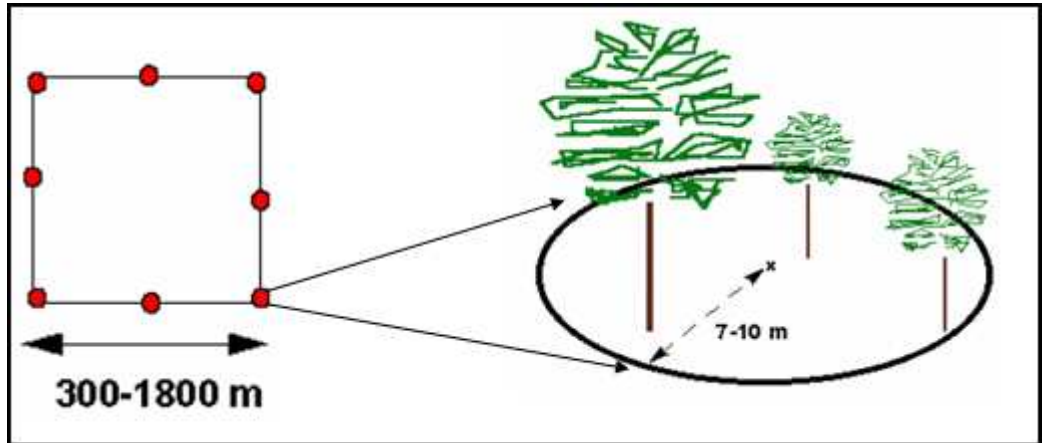
Kanada UOE'nin örnekleme deseni, 20x20 km aralık mesafe ile ülke alanının tamamını kapsayan gridlerin kesiştiği yerlerde 2X2 km'lik bir alan klasik orta ölçekli hava fotoğrafları ile tanımlanan sistematik örnekleme ünitelerinden oluşmaktadır. Alanla ilgili güvenilir istatistikler sağlamak için amaç, Kanada'nın minimum %1 lik kısmını örnekleme. 20x20 km'lik iş ağında %1 lik bir örnekleme yaklaşık 22000 deneme alanı kümesi anlamına gelmektedir. UOE dizaynı her bir ekozonda minimum 50 adet yersel örnek alanlarını gerekli kılmaktadır. Bölgesel amaçları karşılamak için bazı alanlarda daha yoğun örneklemeye gerek duyulduğu gibi bazı alanlarda özellikle arktik bölgelerdeki ekozonlarda örnekleme yoğunluğu daha az olabilecektir. Dolayısıyla örnekleme yoğunluğu her bir ekozonda farklı olabilmektedir. Yersel örnek alanların ölçümü, hava fotoğraflarının yorumlanması ile mümkün olan en iyi ölçüde eş zamanlı olarak yürütülmektedir.

Kanada UOE verilerinin ana kaynağını hava fotoğrafları sağlamakta ve yersel örnek alanlar ek bilgi sağlamaktadır. Ayrıca, hava fotoğrafları ve yersel örnek alanlarla temsil edilmeyen Kanada'nın kuzey kısımları için özellik verilerini sağlamada uydu görüntülerinden yararlanılmaktadır. Örnek alanların konumlarını değerlendirmek, değişimlerin boyutunu belirlemek, alan bazlı parametreleri sağlamak ve envanteri genişletmek için uydu görüntülerinden faydalanılarak UOE geliştirilebilecektir.

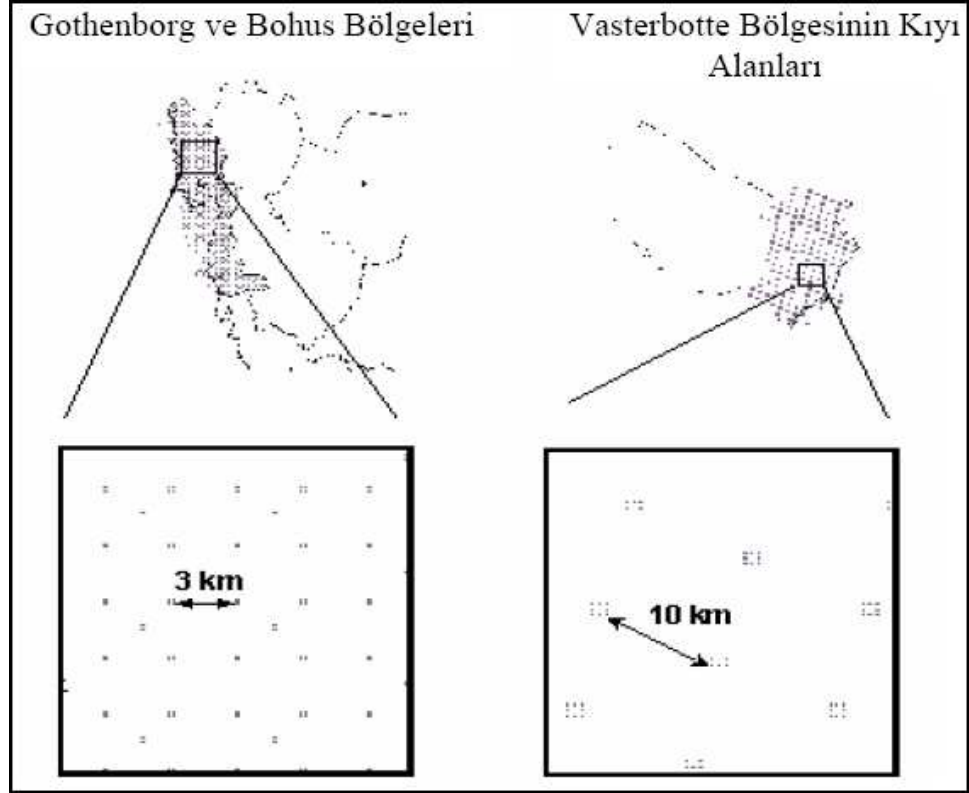
Kanada UOE’de örnekleme birimleri sabit örnek alanlardan oluşmakta olup, her yıl bütün örnekleme birimlerinin 1/10’u yeniden ölçülmek suretiyle örnek alanların yeniden ölçümünün 10 yıllık bir zamanda gerçekleştirilmesi planlanmıştır (Gillis, 2001; Gillis and Omule, 2005; Kurtz and Apps, 2006) .

2.1.1.3. İsveç Ulusal Orman Envanteri (IUOE)

İsveç UOE’nin ana amacı, orman kaynaklarının mevcut durumlarını saptayarak bunlardaki zamana bağlı değişimlerin izlenmesi olarak belirlenmiştir. İsveç UOE, sistematik trakt sistemine dayanmakta olup mevcut dizayn, 1983 yılında tesis edilen sürekli ve geçici traktlardan oluşmaktadır. Traktlar daire şeklinde örnek alanları içermekte ve yarı çapları 7-10 m arasında değişmektedir (Şekil 2.3). Traktlar sistematik bir şekilde ülkenin tamamını kaplamaktadır. Fakat güneyde, kuzeyde olduğundan birbirine daha yakın aralık mesafede bulunmaktadırlar (Şekil 2.4) (Özçelik, 2003; Tokola, 2006).



Şekil 2.3: İsveç UOE’de kullanılan örnek alanların trakt üzerinde dağılımı ve örnek alan



Şekil 2.4: Traktlar arasındaki mesafenin bölgelere göre değişimi

İsveç UOE'nin en son döngüsü 2003 yılında başlamıştır. Daha uygun maliyetli yeni yöntemlerin geliştirilmesiyle birlikte, UOE'den beklenen bilgilerde değişiklikler söz konusu olmuştur. Bu nedenle İsveç UOE, 2003 yılında bir revizyondan geçirilmiştir. Revizyon sırasında temel prensip olarak ana yapıya bağlı kalınarak birkaç değişiklik yapılmıştır.

2003 yılındaki revizyonunda yapılan değişimlerden en önemlilerinden bir tanesi, artan lokal düzeyde bilgi gerksinimini karşılamak için uydu verilerinden faydalanmak olmuştur.

İsveçte, lokal(yerel) ve bölgesel yönetimler tarafından ormanlar hakkında lokal düzeyde bilgi için artan bir talep söz konusudur. Finlandiya'dan iyi bilindiği gibi, böyle bilgiler uydu verileri ile UOE örnek alanlarının kombine edilmesi ile kabul edilebilir doğrulukta ve daha az masrafla elde edilebilmektedir. Finlandiya'daki durumun tersine, İsveçte bu çeşit istatistikleri elde etmede kullanılan temel prensip son katmanlamadır. Bu tekniğin seçilmesindeki temel neden, teorik özelliklerinin tahminlerdeki hata payını düşük kılmasıdır (Stahl, 2005)

2.1.1.4. Amerika Ulusal Orman Envanteri

Amerika’da 1930 yılında başlayan ulusal boyutta orman alanları ile ilgili bilgi sağlayan Orman Envanteri ve Analizi programı FIA (Forest Inventory and Analysis) iki aşamalı örnekleme deseni kullanmaktadır. Her ne kadar istatistiksel dizaynın doğru bir tanımlanması olmasa da bazen üç aşamalı örnekleme olarak tanımlanmaktadır. Bu program 3 aşamadan oluşmaktadır.

1. Aşama; uzaktan algılama verilerinden faydalanılarak bir katmanlama yapılarak orman ve orman olmayan alanlar ayrılmaktadır. Bu aşama daha önce hava fotoğrafları kullanılarak gerçekleştirilmekte iken şimdi uydu görüntülerinden yararlanılmaktadır.

2. Aşama; yer örnekleme ile ağaç, meşcere ve yetiştirme ortamı koşulları üzerine detaylı nitelik ve nicelik verilerinin elde edildiği standart FIA örnek alanları olarak bilinen 5 km’ lik aralık ve mesafelerle yaklaşık olarak 2388 ha’a bir örnek alan düşecek şekilde yerleştirilmiş örnek alanlardan oluşmaktadır.

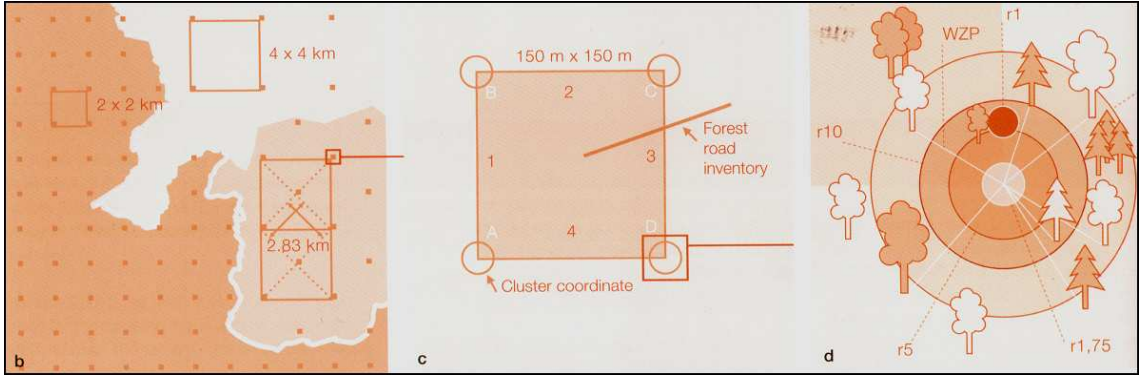
3. Aşama; 2. aşamadaki örnek alanların bir kısmını kapsamaktadır. Bu aşamada örnek alanlar, orman sağlığı izleme örnek alanları olarak bilinen ve yaklaşık olarak 38850 ha’a bir örnek alan düşecek şekilde (yaklaşık olarak ikinci aşama örnek alanların 1/16) ikinci aşama örnek alanlarının alt kümesidir. Daha önce üçüncü aşama örnek alanlarında 5 yılda bir tekrarlı ölçüm yapılmakta iken artık ikinci aşama örnek alanları ile eşzamanlı olarak yeniden ölçüm yapılmaktadır.

1990’ lı yılların başında, batı eyaletlerinin çoğunda 10 yılda bir yenilenen, güney ve doğu eyaletlerinin çoğunda da 5 yılda bir yenilenen sabit periyodik envanter sistemi benimsenmiştir.

2.1.1.5. Almanya Ulusal Orman Envanteri

Almanya’da 1986-1990 yılları arasında gerçekleştirilen ilk ulusal orman envanteri, sadece batı Almanya’yı kapsamamaktadır. Doğu ve Batı Almanya’nın birleşmesinden sonra, tüm ülke alanını kapsayacak şekilde orman alanlarının büyüklüğü ve dağılımını ve orman ürünü potansiyellerini ortaya koymak için yeni bir UOE gerçekleştirilmiştir.

Almanya UOE sistemi, bölgelere göre 2x2 km veya 4x4 km aralık mesafeli gridler üzerine sistematik olarak yerleştirilmiş 150x150 m büyüklüğe sahip traktlardan oluşmaktadır. Her bir trakt genel olarak 4 adet örnek alan içermektedir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Almanya UOE, a- Farklı örnekleme yoğunlukları ve örnekleme düzeni

b- trakt ve örnek alanlar c- örnek alan ölçümü

2.2. UZAKTAN ALGILAMA VE ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM

Çalışmamızda uydu verisinden yararlanılmış olması nedeniyle, uydu verisi ile ilgili yapılan işlemlerin daha kolay anlaşılabilmesini sağlamak amacıyla, tez içerisinde uzaktan algılamanın temel konularının kısaca açıklandığı bu alt bölümün bulunması gerekli görülmüştür.

Uzaktan algılama, arada mekanik bir temas olmaksızın bir cisimden yayılan ışıının nitelik ve nicelik yönünden değerlendirilmesi ile cismin özelliklerinin uzaktan ortaya konması ve ölçülmesi şeklinde tanımlanmaktadır. Uzaktan algılamanın esasını, çeşitli kaynaklardan oluşan elektromanyetik ışıının, ışıının kaynağı, ışıının yayıldığı ortam ve onu yansıtan yüzeyin niteliklerine bağlı olarak ortaya konması oluşturmaktadır (Erdin, 1986; Örmeci, 1987; Sesören, 1999).

Elektromanyetik enerji, ışık hızı ile harmonik dalgalar şeklinde hareket eden bütün enerji şekillerini kapsamaktadır. Elektromanyetik enerjiyi kullanan bir uzaktan algılama sistemi dört ana unsurdan oluşmaktadır (Curran, 1985; Örmeci, 1987).

1- Kaynak: Güneş ışığı, yeryüzünün yaydığı ısı ve radar sistemlerinde kullanılan ve yapay olarak üretilen elektromanyetik ışınım, uzaktan algılamanın ışınım kaynağını oluşturmaktadır. Uzaktan algılamanın en önemli enerji kaynağı güneştir.

2- İletim Yolları:

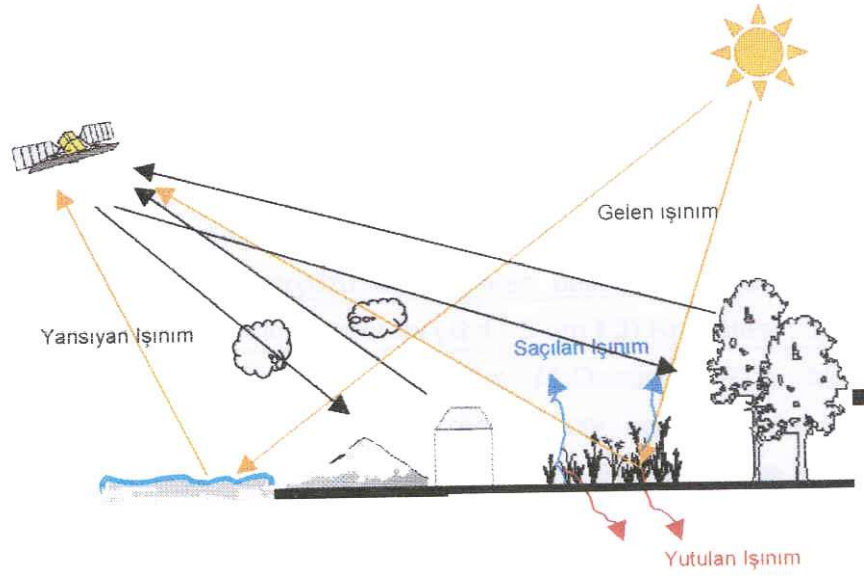
a- Yeryüzü ile karşılıklı etkileşim: Yeryüzünden yansıyan veya yayılan elektromanyetik ışınımın miktarı ve özellikleri, yeryüzündeki objelerin özelliklerine bağlıdır.

b- Atmosfer ile karşılıklı etkileşim: atmosfer, bir algılama sistemi tarafından algılanan ışınımın yoğunluk ve ışınsal bileşimine etki etmektedir. Bu etkiler de atmosferik saçılma ve yutulma sonucu ortaya çıkmaktadır. Saçılma, güneş enerjisinin atmosferdeki atom, molekül ve aerosol maddeleri (duman, buhar, toz, yağmur damlaları, tuz kristalleri vb.) tarafından yansıtılmasıyla oluşmaktadır. Yutulma ise, enerjinin yeryüzüne ulaşmadan atmosferde depolanmasına neden olmaktadır.

Atmosferik pencereler, elektromanyetik spektrumun radyasyonun geçmesine izin verdiği kısımlar olup, pencerelerin bulunduğu yerlerde atmosferik bileşikler radyasyonu; soğurma, yansıtma ve dağıtma nedeniyle fazlaca etkilememektedir. Güneşten gelen radyasyon buralardan geçerek yeryüzüne ulaşmaktadır

3- Obje: Bir objeye ulaşan enerji yansıtılır, yutulur ve geçirilir. Objeye gelen toplam enerji, obje yüzeyi tarafından yansıtılan, obje tarafında geçirilen ve yutulan enerjilerin toplamına eşittir.

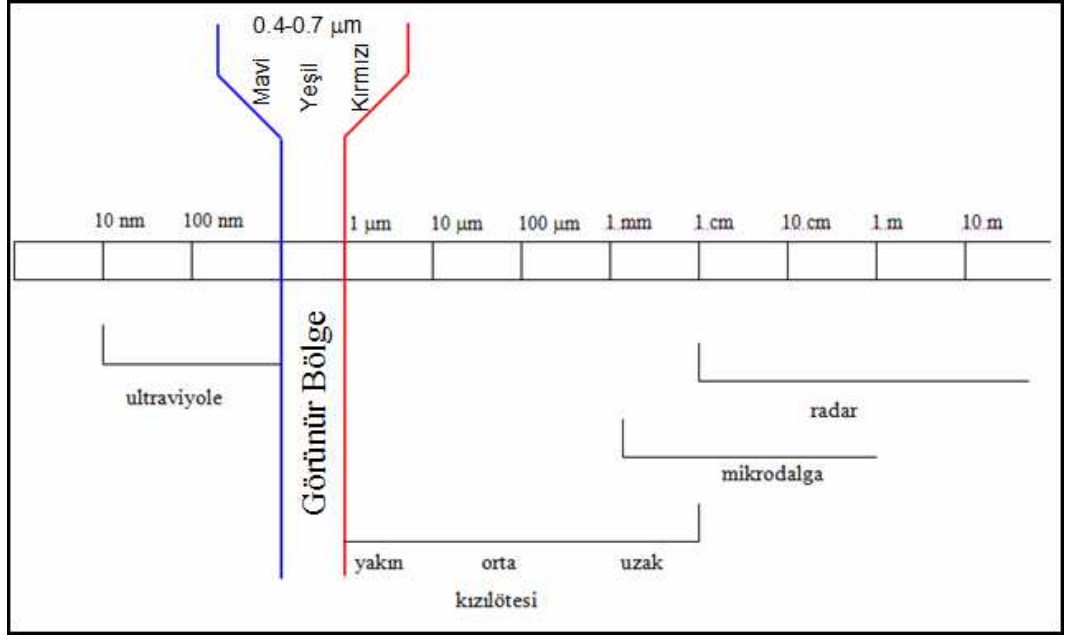
4- Algılayıcı: Yeryüzünden yansıma ve yayılma yoluyla oluşan elektromanyetik ışınım bir algılayıcı tarafından kaydedilir (Şekil 2.6)



Şekil 2.6: Elektromanyetik ışınım ve uzaktan algılama (Musaoğlu, 1999)

2.2.1. Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik Spektrum; çeşitli dalga boylarındaki radyant enerjiyi içeren ve bu radyant enerjinin, içinde elektromanyetik dalgalar halinde serbestçe hareket ettiği bir enerji ortamı olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.7). Elektromanyetik spektrum çalışmalarda kolaylık sağlaması için değişik bölümlere ayrılmıştır. Ancak bu bölümler arasında kesin bir sınır söz konusu değildir. Elektromanyetik spektrumun bölümleri değişik şekillerde adlandırılmaktadır. 0,4-0,7 μm arası “görünür spektrum” (0,4-0,5 μm mavi, 0,5-0,6 μm yeşil, 0,6-0,7 μm kırmızı renge ait dalga uzunlukları), kızılötesi ve aşağısı genellikle “dalgaboyu” ve 15 μm dalga boyundan ötesi dalga boyu yerine çoğunlukla “frekans” larla adlandırılır. Elektromanyetik spektrumun farklı aralıkları farklı yeryüzü özelliklerinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Yeryüzündeki tüm özelliklerin belirlenebilmesi için elektromanyetik spektrumun farklı aralıklarında algılama yapabilen algılayıcılar gerekmektedir (Örmeci, 1987; Sesören, 1999)



Sekil 2.7: Elektromanyetik spektrum

Elektromanyetik spektrumun uzaktan algılama çalışmalarında kullanılan kısımları iki grupta toplanabilir (Sesören, 1999).

Optik dalga boyları (0.3 μm – 15 μm)

A. Yansıma dalga boyu bölgeleri

- | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|
| a) Morötesi (ultraviolet) | 0.3 μm – 0.4 μm |
| b) Görünen bölge (visible) | 0.4 μm – 0.7 μm |
| c) Yakın kızılötesi (near-IR) | 0.7 μm – 3.0 μm |

B. Yayılma dalga boyu bölgeleri

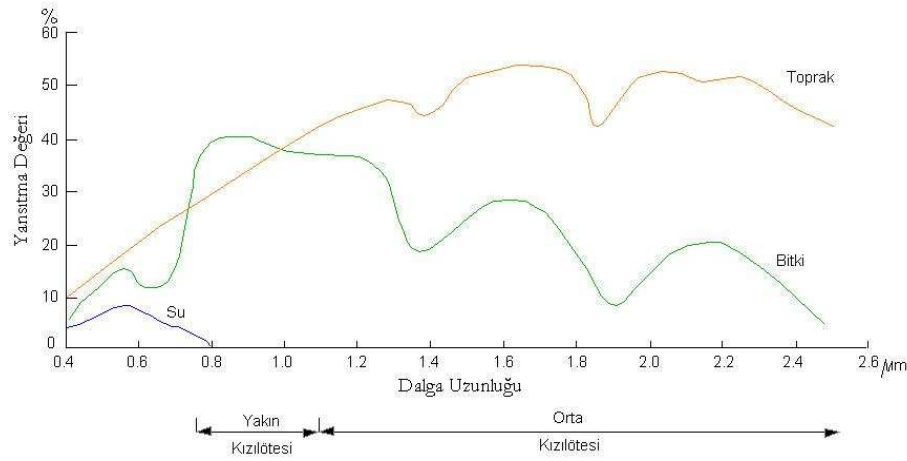
- | | |
|----------------------|--------------------------------------|
| a) Termal kızılötesi | 3.0 μm – 15 μm |
|----------------------|--------------------------------------|

Mikrodalga boyları

- | | |
|-------------------------------|--------------|
| a) Pasif mikrodalga | 1 mm – 1 m |
| b) Aktif mikrodalga (radar) | |
| c) SHF (Super High Frequency) | 1 cm – 10 cm |
| d) UHF (Ultra High Frequency) | 10 cm – 1 m |

2.2.2. Objelerin Işınsal Yansıtması

Bir cisme ulaşan enerji yansıtılır, yutulur ve geçirilir. Bu yansıtma, yutulma ve geçirilme özellikleri cisimlerin fiziksel özelliklerine ve gelen ışınımın dalga uzunluğuna bağlı olmaktadır. Örneğin; orman alanları gelen elektromanyetik ışınımın %7 sini yansıtırlarken, kum ile örtülü bir alanda, bu oran %30' dur. Yeryüzündeki cisimler, ışınsal yansıtımlarındaki farklılıklardan ayırt edilebilmektedir. Farklı cisimler elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinde farklı yansıtım gösterirler (Şekil 2.8) (Örmeci, 1987; Richards, 1999).



Şekil 2.8: Bazı yeryüzü objelerinin ışınsal yansıtım karakteristikleri (Richards, 1999)

2.2.2.1. Zeminlerin Işınsal Yansıtması

Zeminlerin ışınsal yansıtımalarında, sadece yansıtma ve yutma söz konusudur. Yansıtma özellikleri bakımından zeminin üst tabakalarının bileşimi önemli rol oynamaktadır. Zeminlerin yansıtma özellikleri; zeminin su muhtevası, zemini oluşturan minerallerin cins ve miktarları, doku ve yüzey pürüzlüğü, organik madde muhtevası faktörlerine bağlıdır. Örneğin; zeminlerde su muhtevası arttıkça, yansıtım azalır ve zemin koyu renkte görünürler (Örmeci, 1987).

2.2.2.2. Suyun Işınsal Yansıtması

Suyun yansıtma özelliği, su yüzeyinin durumu, suda bulunan askıda maddeler, suyun içinde yer aldığı ortamın tabanı, sudaki organik madde ve klorofil miktarı faktörlerine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin; suyun bulanıklığı geçirgenliğin azalmasına, buna

karşılık yansımanın artmasına neden olmaktadır. Kızıl ötesi bölgede, gelen ışının büyük bir kısmı yutulduğundan su koyu renkte görünür ve diğer objelerden belirgin bir şekilde ayırt edilir (Örmeci, 1987).

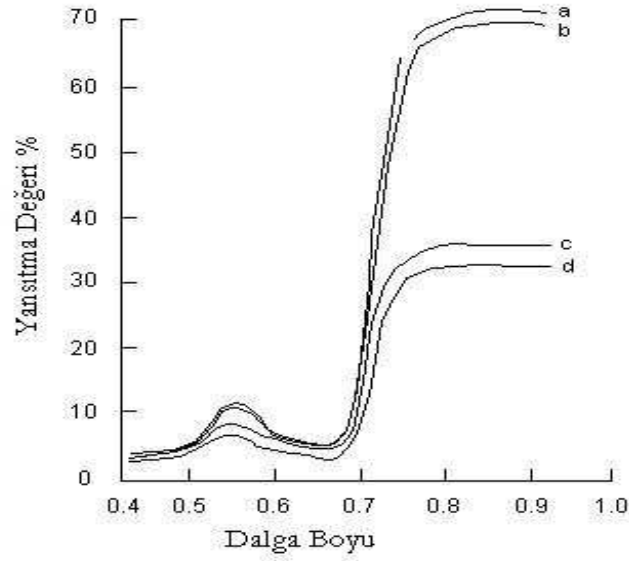
2.2.2.3. Bitki Örtüsünün Işınsal Yansıtması

Bitki örtüsünün ışınsal yansıtım karakteristiklerinin bilinmesi, sınıflandırmada kullanılacak bant kombinasyonlarının seçimi için önem taşımaktadır (Musaoğlu, 1999).

Bitkilerin ışınsal yansıtım özellikleri üzerinde, klorofil, karatone, ksantofil, antosyonins gibi yaprak pigmentleri, hücre yapısı (kalınlık, genişlik), yaprağın su muhtevası, yaprakların yüzeylerinin pürüzlülüğü, iklimatik ve çevresel etmenler gibi değişik faktörler etkili olmaktadır. Görünür bölgede yaprak pigmentleri ışınımı yutarak yansımayı azaltmaktadır. Klorofil mavi (0.4-0.5 μm) ve kırmızı (0.6-0.7 μm) ışığı yuttuğu ve yeşil ışığı (0.5-0.6 μm) geçirdiği için görünür bölgede yaprak tarafından yansıtılan ışınım, yeşil olarak algılanır ve bitkiler yeşil görülür. Yakın kızıl ötesi bölgede (0.7-1.3 μm) yaprak pigmentleri tamamen geçirimli olup, bu bölgede sadece yapraktaki su muhtevası nedeniyle çok az bir yutulma olmaktadır. Dalga boyu 1.3 μm ve daha büyük olan ışınların yapraklardaki yansıma oranı, yaprak içindeki su miktarına bağlı olarak değişmektedir. Yansıtma ile yapraktaki su muhtevası ters orantılıdır (Tokmanoğlu, 1975; Örmeci, 1987).

İlkbahar ve sonbahar dönemlerinde, yaprakta meydana gelen kimyasal değişiklikler nedeniyle bitki türlerinin birbirinden ayrılması kolaylaşmaktadır. Bu nedenle ormancılık çalışmalarında kullanılacak uydu görüntülerinin alım zamanı için bu mevsimlerin tercih edilmesi uygun olmaktadır (Özdemir, 2003).

Şekil 2.9'da a ve b eğrilerinin (yapraklı türlere ait) birbirine, b ve c eğrilerinin de (iğne yapraklı türlere ait) birbirine benzedikleri görülmektedir.

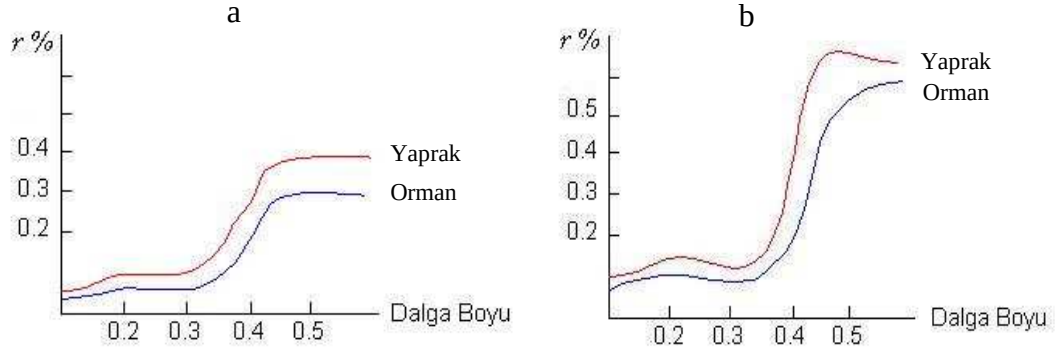


Şekil 2.9: Çeşitli ağaç türlerinin ışınsal yansıtım karakteristikleri (Tokmanoğlu, 1975)

a) Huş b) Kavak c) Ladin d) Çam

Bitkilerin ışınsal yansıtım özellikleri incelenirken, yaprakların ışınsal yansıtma özellikleri yanında bitkilerin meydana getirdikleri toplulukların özellikleri de, birer etken olarak dikkate alınmalıdır. Bitki topluluğunu meydana getiren ağaçların yaş ve tür farklılığı, ağaç tepelerinin zemini örtme oranı (kapalılık), gövde sıklığı, topraktan yansıyan ışının miktarı, meşcerelerin en üsteki ve iç kısmındaki tabakaların özellikleri, tepe çatılarının meydana getirdiği tabakanın düşey kesitinin özellikleri, güneşte ve gölgede bulunan bitki kısımlarının yansıttıkları ışınların birbirine oranı yansıyan toplam ışının miktarı üzerinde etkili olmaktadır (Tokmanoğlu, 1975).

Şekil 2.10'da Yapraklı ve iğne yapraklı ormanların ışınsal yansıtım karakteristikleri (mavi) ile aynı ormana ait bir yaprağın ışınsal yansıtım karakteristikleri (kırmızı) aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.



Sekil 2.10: Çeşitli ormanlar ve aynı orman ait yaprağın ışınsal yansıtım karakteristikleri

a) *Pinus silvestris*

b) *Populus tremula*

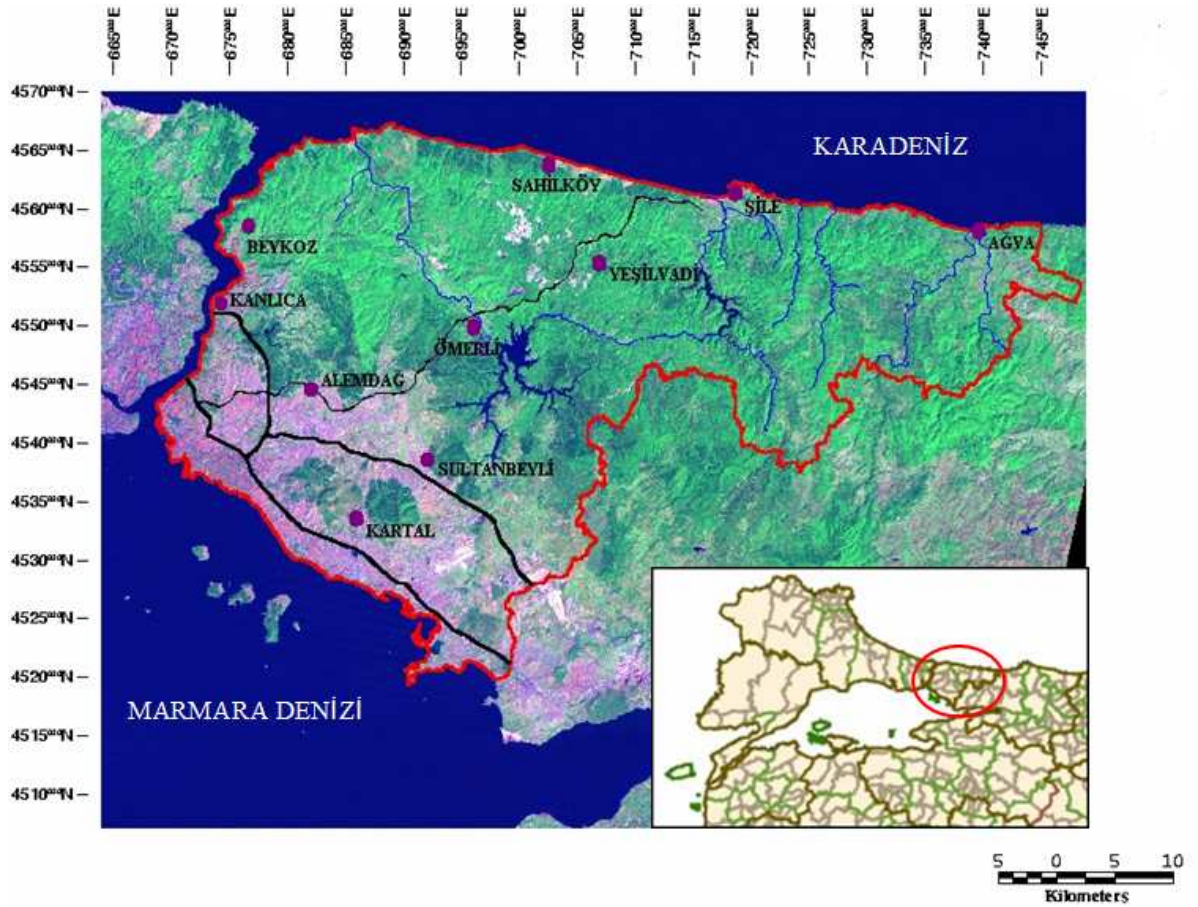
3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı, İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü, Kanlıca ve Şile İşletme Müdürlüğüne ait 10 adet Orman İşletme Şefliği kapsamaktadır.

3.1.1. Coğrafi Konum

Greenwich'e göre 29° 04' 25" - 29° 57' 32" doğu boylamları ile; 40° 48' 12" - 41° 14' 10" kuzey enlemleri arasında yer alan çalışma alanı, Sahilköy, Şile, Ağva, Yeşilvadi, Beykoz, Kanlıca, Ömerli, Alemdağ, Sultanbeyli, Kartal Orman İşletme Şefliği sınırlarını kapsamaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Çalışma alanının coğrafi konumu

3.1.2. Bitki örtüsü

Çalışma alanının doğal ağaç türleri, Meşe (*Quercuss* spp.), Gürgen (*Carpinus betulus*), Doğu Kayını (*Fagus orientalis*), Akçaağaç (*Acer* spp.), Kavak (*Populus tremula*), Kestane (*Castanea sativa*), Ihlamur (*Tilia* spp.) Söğüt (*Salix* spp.), Çınar (*Platanus orientalis*) türlerinden oluşmaktadır.

Başta Sahilçamı (*Pinus maritima*-*Pinus pinaster*), Radiata çamı (*Pinus radiata*), Karaçam (*Pinus nigra*), Fıstıkçamı (*Pinus pinea*) olmak üzere Kızılçam (*Pinus brutia*), Sedir (*Cedrus libani*), Gökmar (*Abies* spp.), Sarıçam (*Pinus sylvestris*), Servi (*Cupressus sempervirens*, *Cupressus arizonica*) gibi iğne yapraklı ağaç türlerinden değişik tarihlerde yapılan ağaçlandırmalarla plantasyonlar kurulmuştur.

Çalışma alanında ayrıca, Ardiç (*Juniperus* spp.), Üvez (*Sorbus torminalis*), Dağ muşmulası (*Cotoneaster* spp.), Kocayemiş (*Arbutus unedo*), Yemişen (*Crateegus monogyna*), Akçakesme (*Phillyrea latifolia*), Laden (*Cistus* spp.), Funda (*Erica arborea*), Yabani erik (*Prunus domestica*), Alıç (*Crateagus* spp.), Ahlat (*Pyrus* spp.) gibi ağaçcık ve çalı türleri bulunmaktadır. Bunların dışında, Kuşburnu (*Rosa* spp.), Orman sarmaşığı (*Hedera helix*), Ökse otu (*Viscum* spp.), Isırgan (*Urtica dioica*), Çayır otları (*Trifolium*), Buğdaygiller (*Graminea* spp.) ve Baklagiller (*Leguminosea* spp) de çalışma alanı içinde yoğun bir şekilde bulunmaktadır (Anon 2003, syf.254)

3.2. ÇALIŞMADA KULLANILAN BİLGİ KAYNAKLARI

Çalışmada kullanılan veriler, haritalar, amenajman planları, uydu görüntüsü, yersel ölçümler gibi farklı bilgi kaynaklarından elde edilmiştir. Bu bilgi kaynaklarına ilişkin açıklamalar aşağıda verilmiştir.

3.2.1. Amenajman Planları

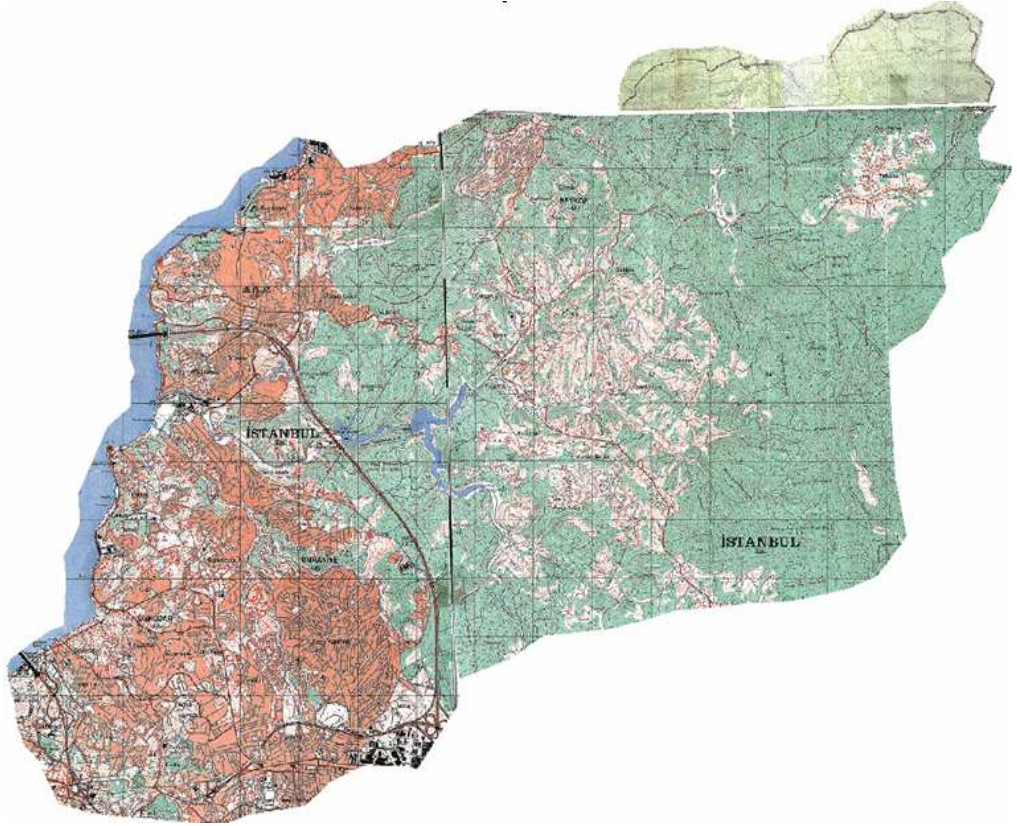
Kanlıca ve Şile Orman İşletme Müdürlüklerine ait Beykoz, Ömerli, Alemdağ, Kanlıca, Sultanbeyli, Kartal, Şile, Sahilköy, Yeşilvadi ve Ağva Orman İşletme Şefliklerinin 2003 yılında yenilenmiş olan Amenajman Planları İstanbul Orman Bölge Müdürlüğünden temin edilerek referans veri kaynağı olarak çalışmada kullanılmıştır.

3.2.2. Haritalar

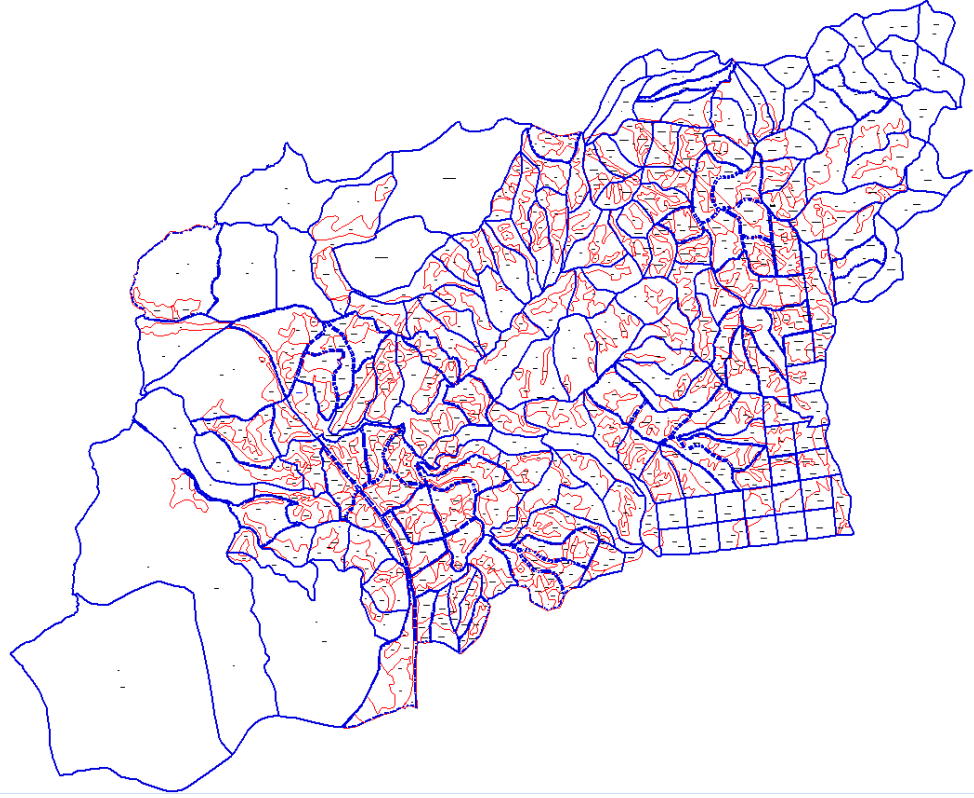
Çalışmada altlık haritalar olarak 1/25000 ölçekli topografik haritalar ve meşcere tipleri haritalarından faydalanılmıştır (Şekil 3.2; Şekil 3.3). Bu amaçla, İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen toplam 23 adet topografik haritalar, üzerindeki grid çizgilerinin çakıştığı noktalardaki koordinat değerleri girilerek, UTM (Universal Transverse Mercator) koordinat sisteminde yeniden tanımlanmışlardır.

Çalışma alanındaki işletme şefliklerine ait toplam 10 adet meşcere tipleri haritası sayısal olarak temin edilmiş ve WGS84 koordinat sisteminde tanımlı olan bu haritaların diğer veri grupları ile birarada değerlendirilebilmeleri için aynı koordinat sistemine (UTM) dönüşümü yapılmıştır.

Çalışma alanındaki yerleşim alanlarına ilişkin 1/5000 ölçekli halihazır haritalar temin edilerek bu haritalardan uydu verilerinin geometrik dönüşümünde faydalanılmıştır.



Şekil 3.2: Kanlıca orman işletme şefliğine ait 1/25000 ölçekli topografik haritalar



Şekil 3.3: Kanlıca orman işletme şefliği meşcere haritası

3.2.3. Uydu Görüntüleri

Dünya çevresinde yeryüzünü gözlemleyen farklı amaçlar için programlanmış çok sayıda uydu ve algılayıcısı bulunmaktadır. Ormancılık çalışmalarında yaygın olarak kullanılan uydu verilerinin, Asan (2000) tarafından Türkiye UOE için önemli bir bilgi kaynağı olacağı belirtilmektedir.

Özellikle ormancılık amaçlarına uygun uydu verilerinin isabetli seçimlerinin yapılabilmesi için uydu verilerinin özellikleri hakkında ayrıntılı bilgiye gereksinim bulunmaktadır. Uydu verileri kullanılarak elde edilen bilgilerin doğruluğu üzerinde, çalışma amacına uygun uydu verisinin seçimi önemli bir rol oynamaktadır (Özdemir, 2003).

Uzaktan algılama sistemleri özelliklerine göre, fotoğrafik ve fotoğrafik olmayan sistemler olarak ikiye ayrılmaktadır. Fotoğrafik sistemle algılama yapan hava fotoğrafları, ormancılık çalışmalarında önemli bir yere sahip olmakta ve orman

envanteri amacıyla kullanımı Türkiye ve diğer bir çok ülkede halen önemini korumaktadır.

Fotoğrafik olmayan algılama sistemlerinde, cismin yüzeyinden herhangi bir şekilde ortaya çıkan elektromanyetik ışıınım, elektron akımına ve saptanabilir elektriksel işaretlere dönüştürülmektedir. Bu sistemler yapım ve çalışma şekillerine göre elektro-optik ve mikrodalga algılayıcıları olarak iki ana gruba ayrılmaktadır (Jensen, 1996).

Elektro-optik sistemler, kızılötesi ve $1\mu\text{m} < \lambda < 3\mu\text{m}$ arasındaki dalga uzunluklarının olduğu bölgelerde kullanılmaktadır. LANDSAT, SPOT, IKONOS ve QUICKBIRD görüntüleri bu gruba giren uydu verilerinden bazılarıdır. Mikrodalga bölgesinde algılama yapan RADAR, telsizle saptama ve uzaklık ölçme anlamına gelmektedir. Radar sisteminde, anten yardımı ile hedef cisme enerji dalgaları gönderilir ve cisimlere çarpıp geri dönen bu enerji tekrar anten tarafından kaydedilmektedir. ERS, JERS ve RADARSAT gibi uydular aktif algılama sistemine göre görüntü sağlamaktadır (Jensen, 1996).

Uydu verileri, orman alanlarının ve arazi kullanımının bölgesel ve ulusal ölçekte izlenmesi için önemli bir veri kaynağı durumundadır. Optik ve mikrodalga bölgesinde algılama yapan bir çok uydu görüntüsü bu amaçla kullanılmaktadır. Ormancılık çalışmalarında elektro-optik görüntülerden daha yoğun bir şekilde faydalanılmakta ve özellikle bulutla kaplı alanlarda JERS, ERS gibi radar görüntüleri de kullanılmaktadır (Şeker ve diğ., 2005).

Orman envanteri çalışmalarında uydu verilerinin seçiminde gözetilmesi gereken bazı faktörler Özdemir (2004) tarafından açıklanmıştır;

- 1- Penetrasyon Yeteneği: Penetrasyon, gelen ışıınının meşcere tepe çatısı içinden geçerek meşcere içine ulaşması ve buradan yansıması olarak tanımlanmaktadır. Penetrasyon yeteneği gelen ışıınının dalga boyuna göre değişmektedir. Elektro-optik algılayıcılar düşük penetrasyon yeteneklerinden dolayı orman örtüsünün ancak üst kısmından yani çoğunlukla yapraklardan yansıyan ışıını kaydetmektedir. LANDSAT ve SPOT gibi elektro-optik uydu verileri, bitki

türlerinin birbirinden ayrılmasında başarılı bir şekilde kullanılabilmesine kaşın, meşcere tipi ayrımı gibi ayrıntı isteyen çalışmalarda aynı türün tam ve girift kapalı meşcerelerinin gelişim çağı farklılıklarından düşük penetrasyon yeteneği nedeniyle çok az etkilenmektedir. Bu durum elektro-optik algılayıcı sistemlerin bir dezavantajı olarak belirtilmektedir.

Orman envanterinde ağaç servetini belirlemeye yönelik çalışmalarda ise, yüksek penetrasyon yeteneklerinden dolayı aktif algılayıcı sistemlerin daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir.

2- Arazi Eğimi: Arazi eğimine bağlı olarak gelen ışınımın yansıması etkilenmekte ve uydu verilerinin değerlendirilmesinde istenmeyen gölge etkisi oluşmaktadır. Bu durum, uydu verilerinden elde edilen tahminlerin doğruluğunun azalmasına neden olmaktadır. Elektro-optik uydu verilerinde bu olumsuz durumun giderilebilmesi amacıyla çeşitli topoğrafik düzeltme yöntemleri (Cosine, Minnaert, İstatistiksel, ve C-Faktör) geliştirilmiştir. Ayrıca çok kanallı uydu verilerinde farklı kanalların birbirine oranlanmasıyla elde edilen oran görüntüleri farklı aydınlanma koşullarının oluşturduğu gölge etkisini azaltabilmektedir.

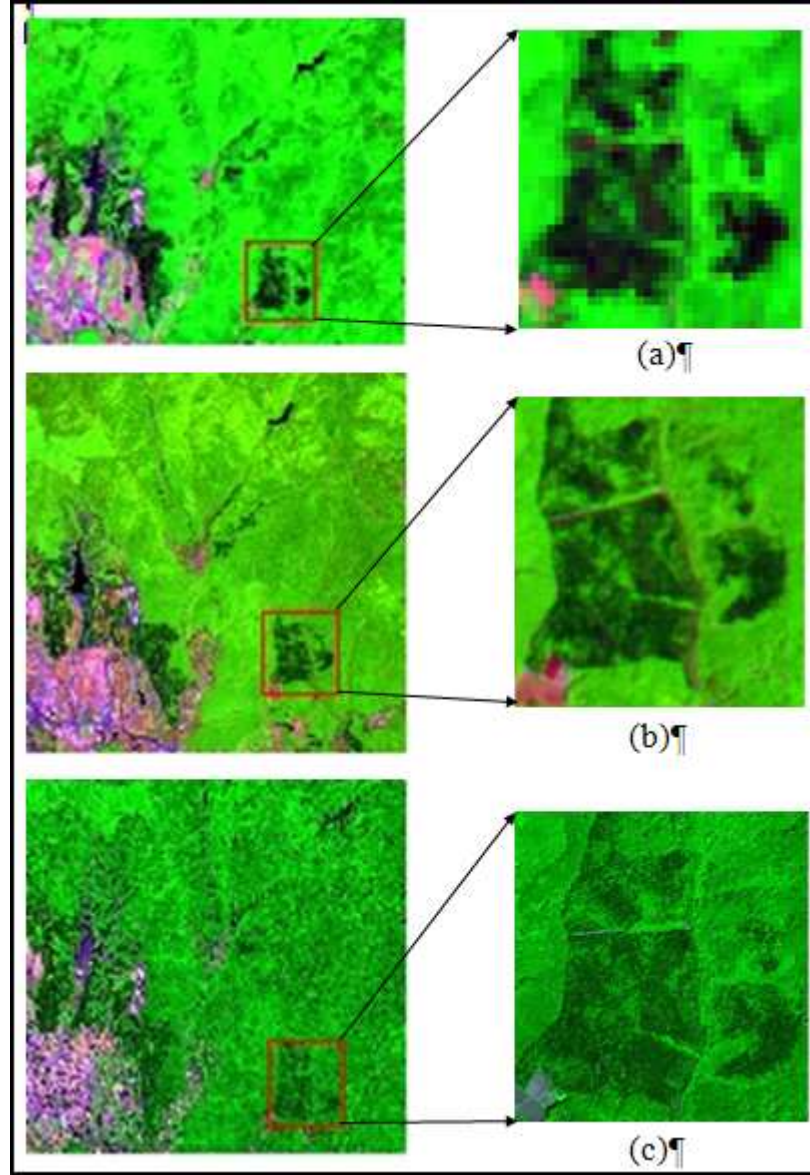
Monokrom radar görüntülerinde gölge etkisini gidermenin güç olması, ülkemiz orman alanlarının genellikle sarp ve dağlık alanlarda bulunması nedeniyle orman envanteri amacıyla bu görüntülerden yeterince yararlanmak mümkün görünmemektedir. Ancak bulutlu alanlarda, optik sistemlerden elde edilen görüntülere yardımcı bir veri kaynağı olarak kullanılabilecekleri belirtilmektedir.

3- Algılama Zamanı: Türkiye’de çalışma amacına uygun farklı aylar ve mevsimler için görüntü alınarak elde edilen bilgilerin doğruluğunu artırma imkanı bulunmaktadır. Orman envanterinde yapraklardaki renk değişimlerinin en fazla olduğu ilkbahar ve sonbahar aylarında algılanan görüntüler tercih edilmelidir. Burada güneşin yükseklik açısı da göz önünde bulundurulması gereken önemli bir faktördür. İlkbahar ve sonbaharda kışa yaklaştıkça bu açı düşmekte, gündüzlerin en uzun olduğu Haziran ayına doğru yükselmektedir. Güneş yükseklik açısının düşmesi gölge etkisinin artmasına neden olmaktadır.

Uydunun günün hangi saatinde algılama yaptığı dikkate alınması gereken diğer bir faktördür. İdeal olan güneşin en dik konumda olduğu öğle saatleri olmasına karşın bu kullanıcının elinde değildir. Ormancılık amacıyla en yaygın olarak kullanılan LANDSAT ve SPOT uyduları ülkemizden sabah saatlerinde algılama yapmaktadır. Bu dezavantajı en aza indirmenin yolunun, algılama tarihini mümkün olduğunca haziran ayına yaklaştırmak olduğu belirtilmektedir.

4- Çözünürlük:

Mekansal çözünürlük; Algılayıcı tarafından algılanan her bir pikselin yeryüzünde temsil ettiği arazi parçasının büyüklüğüdür. Görüntü üzerinde bir objenin ayırt edilebilirliği algılayıcının mekansal çözünürlüğü ile ilgilidir. Örneğin bu büyüklük LANDSAT-7 uydusu için multispektral modda 30 m ve pankromatik modda 15 m, SPOT 5 için sırasıyla 10 m ve 2.5-5 m, IKONOS için ise sırasıyla 4 m ve 1 m dir (Şekil 3.4). Uydu verilerinin mekansal çözünürlüğü arttıkça amenajman planı düzenlemek için meşcere tipi ayrımının yapılabileceği düşünülmektedir.



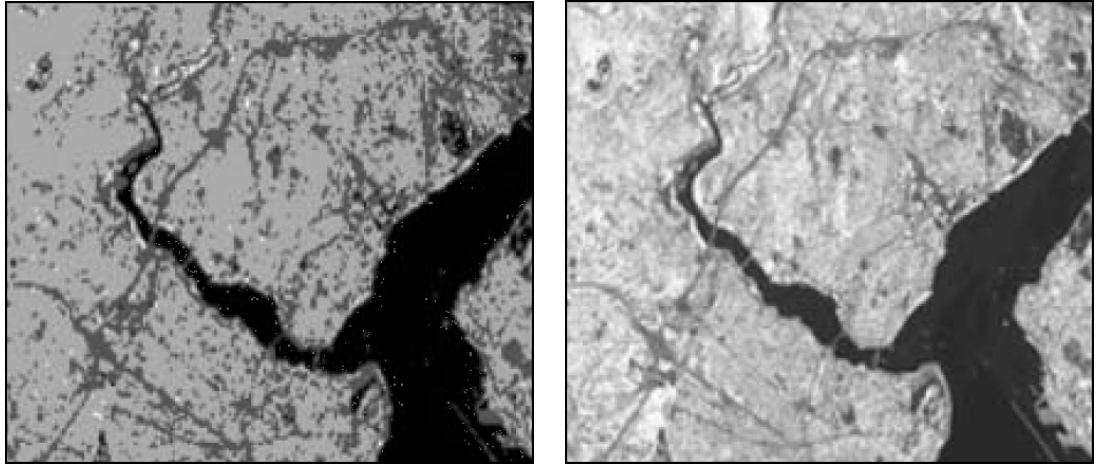
Şekil 3.4: Farklı uydu görüntülerinin mekansal çözünürlükleri

(a- LANDSAT-7 30x30 m b- SPOT 5 10x10 m c- IKONOS 4x4 m)

Zamansal çözünürlük; uydunun aynı arazi parçasını üst üste iki defa algılama zamanı arasında geçen süredir. Arazi kullanım sınıfları arasındaki değişimin izlenmesinde büyük bir öneme sahiptir. Orman amenajmanı amaçlı bir envanter için 10 yılda bir algılama yapılması yeterli iken, yangın ve hastalıkların izlenmesinde bu sürenin 1 gün olması uygun görülmektedir. LANDSAT-7 için bu süre 16 gün olmasına karşın IKONOS için bu süre 3.5 güne kadar düşmektedir.

Radyometrik çözünürlük; Gri renk tonu değerlerinin yayıldığı aralık radyometrik çözünürlük olarak adlandırılmaktadır. Bir görüntü gri renk tonu değerlerini temsil eden piksellerden oluşmaktadır. LANDAT uydu verisi için bu değer 2^8 bit olup, bu 0 ile 255 arasında değişen 256 gri renk tonu değerlerini göstermektedir. IKONOS uydu verisi için ise bu değer 2^{11} bit dir.

Radyometrik çözünürlükle ilişkili olarak, detay ayırt etme seviyesindeki farkın anlaşılabilmesi için, aynı bölgeye ait 2-bitlik bir görüntü ile 8-bitlik bir görüntü Şekil 3.5 de verilmiştir (Marangoz, 2008).



(a)

(b)

Şekil 3.5: Radyometrik çözünürlük (a- 2 bit b- 8 bit)

Spektral çözünürlük; algılayıcıların elektromanyetik spektrumun değişik bölgelerinde dalga boyu ölçme kapasiteleri olarak tanımlanmaktadır. Algılayıcı ne kadar çok aralıkta algılama yaparsa meşcere tiplerini ayırmak o ölçüde kolaylaşmaktadır. Böylece, spektrumun belirli bir aralığında fark edilmeyen bir özellik, diğer bölgelerde algılama yapan bantlarda öne çıkabilmektedir. Elektromanyetik spektrumun yakın kızılötesi ($0.7-3.0 \mu m$) bölgesi bitki örtüsü sınıflandırmasında önemlidir. LANDSAT-7 uydu verisinin 4. bandı ($0.76-0.90 \mu m$), IKONOS uydu verisinin 4. bandı ($0.76-0.86 \mu m$) yakın kızılötesi bölgede algılama yapmaktadır.

Çeşitli görüntüleme uydularının teknik özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Bazı uzaktan algılama sistemlerinin teknik özellikleri (Nik Sistem, 2009)

Sensör/Uydu Başlangıç ve Sonlanma	Sensör Tipi	ÇÖZÜNÜRLÜK			Şerit Genişliği	Görüntüleme Sıklığı
		Spektral (µm) (S=Stereo)	Mekansal (m)	Radyometrik (bit)		
LANDSAT-4/5 1982/84, 1987/-	TM	VNIR: 0.45-0.52, 0.52-0.60, 0.63-0.69, 0.76-0.90	30	8	183	16
	TM	SWIR: 1.55-1.75, 2.08-2.35	30	8	183	16
	TM	TIR: 10.42-12.5	120	8	183	16
LANDSAT-7 1999-2003	PAN	0.52-0.9	15	8	185	16
	ETM	VNIR VE SWIR Landsat-5 ile aynı	30	8	185	16
	ETM	TIR: 10.42-12.5 (Low-High gain)	60	8	185	16
IRS 1C/D 1995/1997	PAN	0.5-0.75 (S)	5.8	6	70.5	24/25
	LISS III	VNIR: 0.52-0.59, 0.62-0.68, 0.77-0.86, SWIR: 1.55-1.70	23	7	141	24/25
	WIFS	0.62-0.68, 0.77-0.86	188	7	812	24/25
IRS-P6 (ResourceSat-1) 2003	LISS-III	0.52-0.59, 0.62-0.68, 0.77-0.86 SWIR: 1.55-1.77	23.5	7-10 SWIR	140	24
	LISS-IV	MX: 0.52-0.59, 0.62-0.68, 0.77-0.86 veya Mono: 0.62-0.68	5.8	7	24/70 (M)	5
	AWIFS	0.52-0.59, 0.62-0.68, 0.77-0.86 SWIR: 1.55-1.70	56-70	10	2X370	5
SPOT-4 1998	HRV-PAN	0.61-0.68(s)	10	8	60	1-4(26)
	HIRVIR	VNIR: 0.50-0.59, 0.61-0.68, 0.79-0.89, SWIR: 1.58-1.75	20	8	60	1-4(26)
	Vegetation	0.43-0.47, 0.61-0.68, 0.78-0.89, 1.58-1.75	100	4/8	2200	1

Sensör/Uydu Başlangıç ve Sonlanma	Sensör Tipi	ÇÖZÜNÜRLÜK			Şerit Genişliği	Görüntüleme Sıklığı
		Spektral (µm) (S=Stereo)	Mekansal (m)	Radyometrik (bit)		
SPOT-5 2002	HRS-PAN	0.49-0.69(S)	10	8	120	1-4(26)
	HRG-PAN	0.49-0.69 Super mode (S)	2.5-5	8	60	1-4(26)
	HRG	VNIR: 0.49-0.61, 0.61-0.68, 0.78-0.89(S)	10	8	60	1-4(26)
	HRG	SWIR: 1.58-1.75	20	8	60	1-4(26)
	Vegetation	0.43-0.47, 0.61-0.68, 0.78-0.89, 1.58-1.75	100	4/8	2250	1
BİLSAT 2003-2005	PAN	0.45-0.90	12.6	8	25	5(116)
	Multi	Visible: 0.45-0.52, 0.52-0.60, 0.63-0.69, NIR: 0.76-0.90	27.6	8	55	4(52)
IKONOS-2 1999	PAN	0.526-0.929 (S)	0.82	11	11.3	3.5-5
	Multi	0.445-0.516, 0.506-0.595, 0.632-0.698, 0.757-0.853(S)	3.2	11	11.3	3.5-5
QUICKBIRD 2001	PAN	0.445-0.900 (S)	0.61-0.73	11	16.5	3.5
	Multi	VNIR: 0.45-0.52, 0.52-0.60, 0.63-0.69, 0.76-0.89 (S)	2.5-2.9	11	16.5	3.5

Çalışmada Haziran 2006 tarihli LANDSAT 7 ETM+, IKONOS (4x4 m) ve IKONOS PAN-SHARPENED (1x1) uydu görüntüleri kullanılmıştır.

Çalışmada altlık harita olarak kullanılan meşcere haritaları 2003 yılında düzenlenmiştir. Çalışma alanı içerisinde yol açılması, maden ocakları vb. faaliyetler sonucu 2003-2006 yılları arasında meydana gelen bazı değişimler meşcere haritaları üzerinde gözükmemektedir. Arazi çalışmaları sırasında IKONOS uydu görüntüsünün temin edilememiş olması nedeniyle, çalışma alanına sistematik olarak yerleştirilmiş traktların, meydana gelen değişimler nedeniyle meşcere haritalarında orman olarak gözükmesine rağmen gerçekte açık alanlara isabet edip etmediği mevcut yeni tarihli LANDSAT 7 ETM+ uydu verileri üzerinde görsel olarak denetlenmiştir.

Orman örtüsünün sınıflandırılması ve bu sınıflara ait alan ve ağaç serveti değerlerinin tahmin edilmesinde IKONOS uydu görüntülerinden faydalanılmıştır. Çalışmada yararlanılan uydularla ilgili olarak aşağıda daha ayrıntılı bilgi verilmiştir

3.2.3.1. LANDSAT

Doğal kaynakların incelenmesinde yoğun bir şekilde kullanılan LANDSAT 5 TM (Thematic Mapper) uydusu 183 km'lik bir şerit genişliğine sahiptir. 7 bantlı algılama yapan TM algılayıcı, elektromanyetik spektrumun görünen, yakın kızılötesi, kızılötesi ve ısı kızılötesi kesimlerinde yansıtılan/yutulan elektromanyetik enerjiyi kaydeder. TM algılayıcısının mekansal çözünürlüğü termal bant için 120, diğerleri için ise 30 m dir. Radyometrik çözünürlüğü ise 8-bit'tir. Görüntüleme sıklığı (zamansal çözünürlük) 16 gündür.

1999 yılında faaliyete geçen LANDSAT uydu serisinin son uydusu olan LANDSAT 7 ETM+, LANDSAT 5 TM den farklı olarak 0.52 – 0.90 μm aralığında algılama yapan bir adet 15 m mekansal çözünürlüklü pankromatik bant içermekte ve termal bantın 60 metrelik mekansal çözünürlüğü bulunmaktadır Şerit genişliği 185 km'dir (Yener, 2005). Tablo 2.3 te LANDSAT algılama sistemlerinin özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.2. LANDSAT algılama sistemlerinin özellikleri (Özdemir, 2003).

Algılama sistemi	Bantlar(μm)	Uzaysal çözünürlük(m)	Radyometrik çözünürlük (bit)
TM	1. 0.45 – 0.52 (mavi)	30 x 30	8
	2. 0.52 – 0.60 (yeşil)	30 x 30	8
	3. 0.63 – 0.69 (kırmızı)	30 x 30	8
	4. 0.76 – 0.90 (yakın IR)	30 x 30	8
	5. 1.55 – 1.75 (orta IR)	30 x 30	8
	7. 2.08 – 2.35 (orta IR)	30 x 30	8
	6. 10.4 – 12.5 (termal)	120 x 120	8
ETM	1. 0.45 – 0.52 (mavi)	30 x 30	8
	2. 0.52 – 0.60 (yeşil)	30 x 30	8
	3. 0.63 – 0.69 (kırmızı)	30 x 30	8
	4. 0.76 – 0.90 (yakın IR)	30 x 30	8
	5. 1.55 – 1.75 (orta IR)	30 x 30	8
	7. 2.08 – 2.35 (orta IR)	30 x 30	8
	6. 10.4 – 12.5 (termal)	60 x 60	8
ETM ^P	0.52 – 0.90 (pankromatik)	15 x 15	8

3.2.3.2. IKONOS

IKONOS uyduları 1 m' ye kadar çözünürlükte görüntü veren uydu sistemleri olarak Eylül 1999 yılında görüntü alımına başlamıştır. Doğal kaynakların kent ve kırsal kesimlerinin haritalanması, doğal afet yönetimi, tarım ve ormancılık uygulamaları, madencilik ve mühendislik gibi bir çok uygulama alanına sahiptir. En Yüksek çözünürlükte veri veren 2. uydudur. IKONOS-2 uydusu, PAN ve Multispektral olmak üzere 2 algılayıcısı mevcuttur. PAN görünür (Visible), Multispektral algılayıcı ise görünür ve yakın kızıl ötesi kesimde algılama yapmaktadır.

PAN algılayıcısı, 0,45-0.90 μm spektral aralığa duyarlı tek bantlı alım yapar. 1 m geometrik 11-bit radyometrik 3.5-5 gün zamansal çözünürlüğe sahip olup üç boyutlu (stereo) alım yeteneğine sahiptir.

Multispektral algılayıcı 4 banda sahiptir. İlk üç bant görünen (visible) kesimde, 4. bant ise yakın kızıl ötesi (NIR) kesimde alım yapar (0.45-0.53, 0.52-0.61, 0.64-0.72, 0.77-

0.88 μm). 4 m geometrik, 11-bit radyometrik ve 3.5-5 gün zamansal çözünürlüğe sahip olup üç boyutlu (stereo) alım yeteneğine sahiptir (Yener, 2005). Tablo 3.3'de IKONOS uydusunun teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.3: IKONOS Uydusu Teknik Özellikleri (Nik Sistem, 2008)

Başlangıç ve Sonlanma Tarihi		1999
Mekansal Çözünürlük (m)		1m PAN, 4m MS
Radyometrik Çözünürlük (bit)		11
Şerit Genişliği (km)		11
Bantlar (µ m)	PAN	0.45-0.90 (S)
	MS	VNIR:0.45-0.53, 0.52-0.61, 0.64 0.72, 0.77-0.88 (S)
Görüntüleme Sıklığı (gün)		3.5*5
PAN= siyah-beyaz, MS= renkli, µ m= mikron		

3.2.4. Yersel Veriler

2006 yılının haziran ve ekim ayları arasında gerçekleştirilen arazi çalışmaları 2 farklı amaç için gerçekleştirilmiştir.

- 1- Uydu görüntüsünün sınıflandırılması ve sınıflandırma sonuçlarının doğruluk değerlendirmesinde kullanılmak üzere yer kontrol noktalarının belirlenmesi,
- 2- Çalışma alanındaki işletme şefliklerine ait amenajman planlarından çıkartılacak değerler ile karşılaştırmada kullanılmak üzere orman örtüsünün farklı sınıflarına ilişkin alansal değerlerin sadece yersel ölçümlere dayalı olarak ortaya çıkarılabilmesi ve bu sınıflara ilişkin birim alanda ve genel alandaki ağaç servetinin kestirilebilmesi,

Yeterli sayıda yer kontrol noktaları ve özellikleri görüntü sınıflandırma işlemi için önemlidir. Kontrol noktaları genellikle arazi çalışmalarıyla toplanır veya uygun çözünürlükteki hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinden ya da mevcut haritalardan temin edilebilmektedir. Tek piksel ya da poligon şeklinde olmak üzere farklı şekillerde yer kontrol noktaları kullanılabilmektedir. Çalışma alanında farklı arazi kullanım sınıflarının bir arada bulunması ve bunların yoğun bir şekilde değişim gösteren heterojen yapıları yeterli yer kontrol noktalarının seçimini güçleştirmektedir. Bu yüzden

yer kontrol noktalarının seçiminde, çalışma alanının yapısı (heterojenliği), kullanılan uzaktan algılama verisinin çözünürlüğü ve yersel referans verilerin elde edilebilirliği gibi faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir (Lu and Weng, 2007).

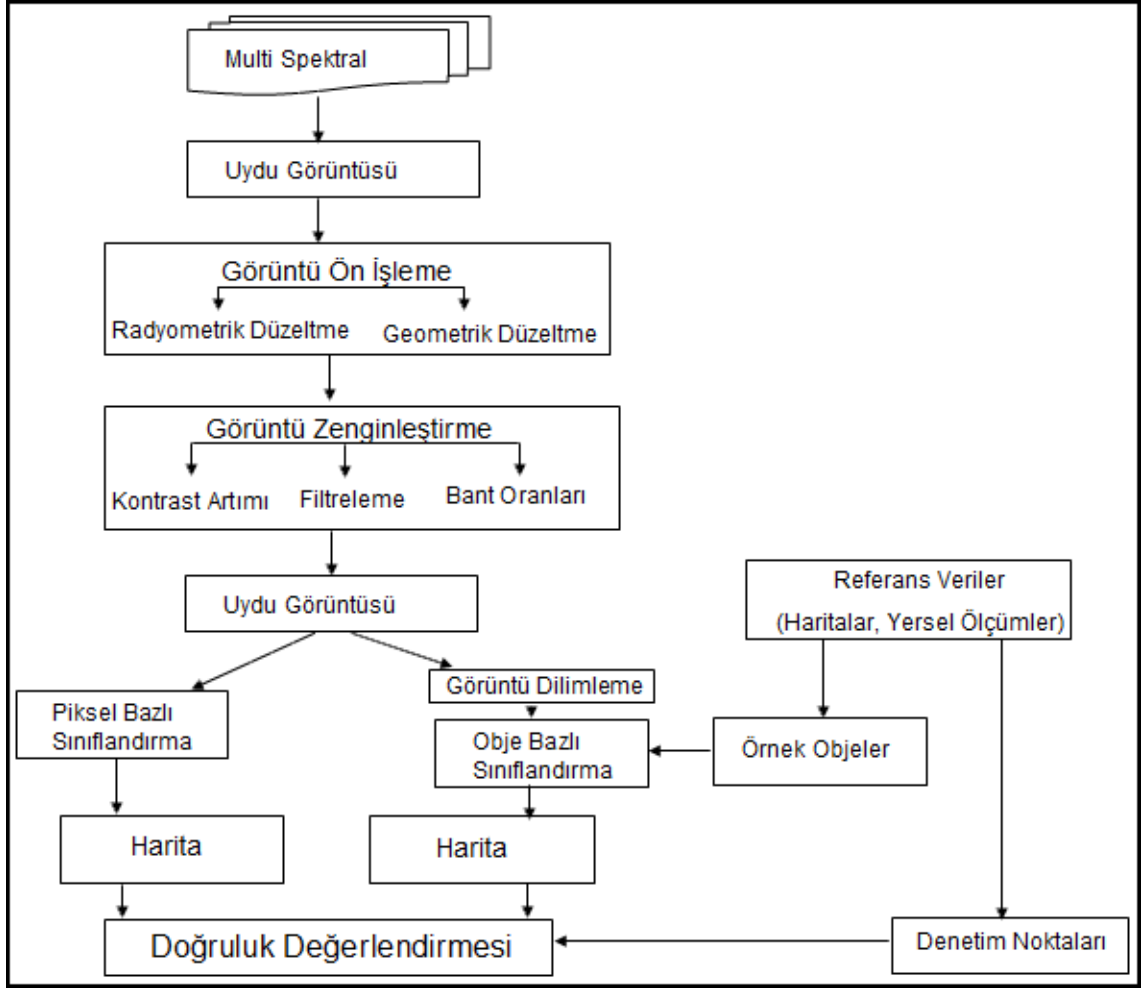
Çalışmada ilgili meşcere parametresi olarak “*ağaç serveti*” dikkate alınmıştır. Ağaç serveti tahmini, orman amenajmanı ve planlama için gerek duyulan önemli bir meşcere parametresidir. Birim alan ve genel alandaki ağaç serveti, orman envanterinde istenilen anahtar bilgi konumundadır. Bu nedenle çalışma sonucu elde edilecek değerler ile amenajman planı değerlerinin karşılaştırılmasında kullanılmak üzere meşcere parametresi olarak sadece ağaç serveti dikkate alınmıştır. Dolayısıyla da örnek alanlarda sadece ağaç servetini belirlemeye yönelik ölçümler yapılmıştır.

3.3. SAYISAL GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMLERİ

Sayısal görüntü işleme, veriyi görsel yorumlamaya hazırlık amacıyla kullanılabildiği gibi, hedeflerin tanımlanması ve bilgi çıkarımı amacıyla görsel yorumlama olmaksızın tamamen otomatik olarak görüntü işleme ve analizi içinde gerçekleştirilmektedir.

Bigisayar desteği ile sayısal görüntülerin çeşitli matematiksel algoritmalar kullanılarak istenilen amaca uygun şekilde, daha iyi yorumlanabilir hale getirilmesi olarak tanımlanan sayısal görüntü işleme aşağıdaki gibi farklı kısımlardan oluşmaktadır (Özdemir, 2003)

- Görüntü ön işleme (radyometrik düzeltme, geometrik düzeltme)
- Görüntü zenginleştirme (kontrast artımı, filtreleme, bant oranı)
- Sınıflandırma (görsel yorumlama ve elle sayısallaştırma, piksel bazlı sınıflandırma, obje bazlı sınıflandırma)



Şekil 3.6: Sayısal görüntü işleme ve veri analizi

3.3.1. Görüntü Ön İşleme

Uydu görüntülerinin işlenmesinin ilk adımlarını radyometrik ve geometrik düzeltmeler oluşturmaktadır.

3.3.1.1. Radyometrik Düzeltme

Radyometrik düzeltme, yeryüzünün farklı aydınlanma koşullarından veya atmosferik etkilerden kaynaklanan hatalı piksel değerlerinin düzeltilmesi amacıyla uygulanan matematiksel yöntemlerdir (Jensen, 1996). Türkiye ormanlarının önemli bir bölümünün dağlık ve alpin sınırda bulunması, uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle topoğrafik normalizasyon uydu verilerinin ön işlemlerinde çok önemli bir yer tutmaktadır (Dees et al., 2005).

Minnaert, Cosine, İstatistiksel ve C faktör olarak dört adet topoğrafik normalizasyon yöntemi vardır. Bu yöntemlerin uygulanabilmesi için sayısal arazi modeline ihtiyaç

bulunmaktadır. Bu yöntemler ve bunların matematiksel formülleri Tablo 3.4’de gösterilmiştir

Tablo 3.4: Topografik Normalizasyon yöntemleri

Yöntem	Formül	Topografik değişkenler
Cosine	$Ln = \frac{Lo}{\cos(I)}$	$\cos(I)$
Minnaert	$Ln = Lo \times \frac{\cos^{1-k}(E)}{\cos^k(I)}$	$\cos(I)$ $\cos(S)$ $\log[\cos(I) \times \cos(S)]$
İstatistiksel	$Ln = Lo - [\cos(I) - m]$	$\cos(I)$
C-Faktör	$Ln = Lo \times \frac{\cos(Z) + c}{\cos(I) + c}$	$\cos(I)$

Burada; Ln = Normalize edilmiş yansıtma değeri, Lo = Orijinal piksel değerleri, I = Güneşi ışığının geliş açısı, E = Görüş açısı (sensorün nadir pozisyonu için eğim açısı), S = Eğim açısı, Z = Solar Zenith açısı, k = Minnaert sabiti, m = Eğim, c = C-faktör’ü temsil etmektedir.

Çalışmada, çalışma alanı nisbeten düz bir topoğrafik yapıya sahip olmasından dolayı, uydu görüntülerinin radyometrik düzeltilmesine gerek duyulmamıştır.

3.3.1.2. Geometrik Düzeltme

Geometrik düzeltme ile uzaktan algılama verilerinin ülke koordinat sistemi içerisinde düzenlenmiş görüntü elemanlarına dönüştürülmesi amaçlanmaktadır. Böylece bu veriler yeryüzü üzerinde konumlandırılmış olmaktadır (Koç ve Yener, 2006)

Geometrik düzeltme;

- Uzaktan algılama verilerinin harita amaçlı kullanımı
- Raster-vektör verilerinin entegrasyonunda
- Farklı uydu verilerinin birleştirilmesinde
- Coğrafi konumun önem taşıdığı çalışmalarda
- Coğrafi Bilgi Sistemleri için veri tabanı hazırlanacak ise

- Doğru uzunluk ve alan ölçmelerinin belirlenmesinde
- Sınıflandırmada harita koordinatlarına göre test alanlarının belirlenmesinde vs.

amaçlar için önemli olmaktadır (Kaya ve diğ., 2002).

Orijinal uydu görüntüleri, sistematik ve sistematik olmayan geometrik hatalar içerdiği için harita olarak kullanılamamaktadırlar (Sunar ve Kaya, 1997).

Sistematik hatalar;

- Görüntü alımı sırasında dünyanın dönüşü
- Algılayıcı hataları
- Yeryüzünün eğikliği
- Uydu platformunun hızı
- Panaromik distorsiyonlar
- Tarayıcı aynanın hızındaki değişimler
- Perspektif görüş hataları

Sistematik Olmayan hatalar;

- Algılayıcı platformunun duruşu ve yüksekliğinden kaynaklanan hatalardır (Sunar ve Kaya, 1997; Richards and Jia, 1999).

Sistematik hatalar, hata kaynaklarına göre yapılan bazı düzeltmelerle giderilebilmektedir. Sistematik olmayan hatalar ise görüntüdeki pikseller ve harita üzerinde bunlara karşılık gelen noktaların koordinatları veya GPS (Global Positioning System) ile belirlenen nokta koordinatları arasında kurulan matematiksel bağıntılar ile giderilebilmektedir. Geometrik düzeltme için, yeri uydu görüntüsü ve harita üzerinde kolaylıkla bulunabilen noktalardan (dereler ve yolların kesişim yerleri, kıyı çizgisi vb.) yararlanılmaktadır (Jensen, 1996; Sunar ve Kaya, 1997). Uydu görüntüsünün dönüşümünde kullanılacak polinomun derecesi görüntünün özelliklerine bağlıdır. Musaoğlu, Welch and Usery'e atfen, uydu görüntülerinin dönüşümünde genellikle 1. Derece afin dönüşümünün yeterli olacağını belirtmektedir (Musaoğlu, 1999). Birinci derece polinom eşitlikleri aşağıda gösterilmiştir.

x_i, y_i dönüşüm öncesi nokta koordinatları, x_0, y_0 dönüşüm sonrası nokta koordinatları, $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$ dönüşüm matrisi katsayıları olmak üzere;

$$x_0 = b_1 + b_2 x_i + b_3 y_i \quad (3.1)$$

$$y_0 = a_1 + a_2 x_i + a_3 y_i \quad (3.2)$$

şeklinde hesaplanır.

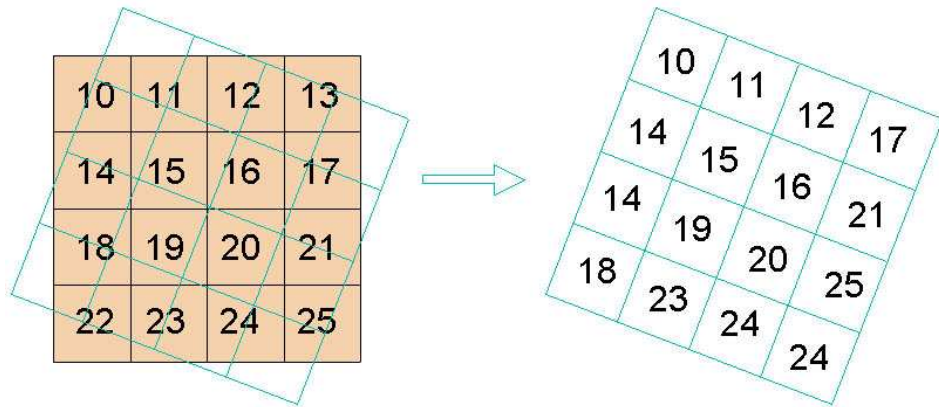
Görüntü koordinatları ile referans veri koordinatları arasındaki dönüşüm hatası, karesel ortalama hata (RMS) ile belirlenir ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$RMS = \sqrt{(x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2} \quad (3.3)$$

x_i, y_i dönüşüm öncesi nokta koordinatları, x_r, y_r dönüşüm sonrası nokta koordinatlarını göstermektedir (Musaoğlu, 1999).

Uydu görüntülerinin yeniden örneklenmesi aşağıda açıklanan 3 şekilde gerçekleştirilmektedir

En Yakın Komşu yöntemi: Geometrik olarak düzeltilmiş görüntünün piksel değerleri, orijinal görüntüdeki en yakın piksel değerinin atanmasıyla belirlenir (Şekil 3.7). Bu yöntemde orijinal görüntüdeki piksel değerleri değişmez (Richard and Jia, 1999).



Şekil 3.7: En yakın komşu yöntemiyle geometrik dönüşüm (Musaoğlu, 1999)

Bilineer Enterpolasyon Yöntemi: Bu yöntemde düzeltilmiş görüntüdeki piksel değerleri, orijinal görüntüdeki piksellerin etrafındaki 4 (2 x 2) pikselin ağırlıklı ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Orijinal görüntüdeki piksellerin ortalama değerleri alındığından, yeni görüntüdeki piksel değerleri gerçek değerler değildir. Bundan dolayı veri kaybı olmaktadır (Lillesand and Kiefer, 2001)

Kübik Katlama Yöntemi: Geometrik dönüşüm uygulanan görüntüdeki piksellerin değerleri, orijinal görüntüdeki piksele 4 x 4 komşuluğundaki en yakın 16 pikselin ağırlıklı ortalaması alınarak elde edilmektedir. Bu yöntem sonucu elde edilen görüntü keskinleşmekte ve gürültü etkisi azalmaktadır (Richard and Jia, 1999).

3.3.2. Görüntü Zenginleştirme

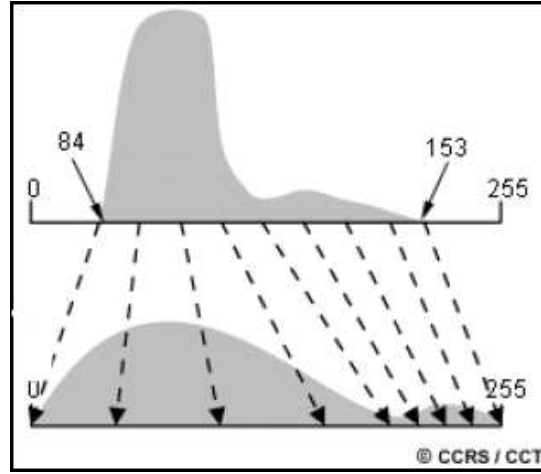
Sayısal görüntülerdeki özellikler arasındaki ayırt edilebilirliği, çeşitli algoritmalarla artırarak görsel yorumlamayı kolaylaştırmak amacıyla uygulanan tekniklere görüntü zenginleştirme teknikleri denilmektedir. Uydu görüntüsü üzerindeki çıplak gözle ayırt edilemeyen belirsiz ve ince detaylarda gizli birtakım özellikler bu teknikler kullanılarak gözlemlenebilir hale dönüştürülebilmektedir (Lillesand and Kiefer, 2001)

3.3.2.1. Kontrast Artımı

Orijinal görüntüde dar bir aralıkta yığılmış parlaklık değerlerini daha geniş bir aralığa yayarak gri renk tonu değerleri arasındaki farklılığı arttırma işlemi Kontrast Artırma olarak tanımlanmaktadır. Görüntülerin kontrastının artırılmasının amacı, belirli gri renk tonu alanlarını daha belirgin hale getirerek ayırt edilebilirlik derecesini artırmaktır (Richards and Jia, 1999).

Ham görüntüde, veriler sayısal verilerin mevcut aralığının küçük bir oranı ile temsil edilmektedir. Kontrast artırma orijinal değerleri değiştirmeyi içermekte ve böylece mevcut aralığın daha fazlası kullanılabilir olmaktadır. Bunun sonucunda da hedefler ve arka planları yada çevresindeki özellikler arasında ayırtedilebilirlik artmaktadır (Smith, 2006).

Doğrusal Kontrast Artımı, Histogram Kontrast Artımı (Şekil 3.8), Logaritmik ve Eksponensiyel Kontrast Artımı, Parçalı Doğrusal Kontrast Artımı, Yoğunluk Dilimleme gibi farklı yöntemleri bulunmaktadır.



Şekil 3.8: Histogram Kontrast Artımı

3.3.2.2. Oran Görüntüleri

Görüntüler yaygın olarak, gölgelerden ve yeryüzünün farklı eğim açısı ve eğim yönlerinden kaynaklanan aydınlanma farklılıkları sergilemektedir. Bu etkilerden dolayı, her bir yeryüzeyi objesinin parlaklığı görüntü üzerinde bir yerden diğerine farklılık göstermektedir. Bu değişim, her ne kadar yeryüzeyinin üç boyutlu görüntüsü için yardımcı olsa da, benzer spektral özellikler ile yorumlamacıların objeleri tanımlayabilme yeteneklerini kısıtlayabilmektedir. 2 spektral bant kullanılarak elde edilen oran görüntüsü objeler arasındaki spektral farklılığı artırarak bu olumsuz etkiyi ortadan kaldıracabilmektedir (Smith, 2006).

Çok kanallı uydu görüntülerinde bir ışınsal kanaldaki parlaklık değerlerinin bunlara karşılık gelen diğer bir kanaldaki parlaklık değerlerine oranlanmasıyla oran görüntüleri elde edilir. Oranlamalar sonucu elde edilen yeni veri grubu ile gri renk tonlarında yapay görüntüler oluşturmak mümkün olup, bu görüntülerde büyük oran değerleri açık gri renk tonlarını, küçük oran değerleri ise koyu gri renk tonlarını göstermektedir. Oran görüntülerinde, benzer objeler aynı oran değerine sahip olduğu için yeryüzünün farklı aydınlanma koşullarından kaynaklanan gölge etkisinin olumsuzlukları ortadan kalkmakta ve cismin gölgede veya güneşte kalması görüntüyü fazla etkilememektedir. Bu yöntemin en büyük sakıncası benzer ışınsal yansıtım eğrilerine sahip cisimlere ait piksel değerleri birbirine oranlandığında aynı cisimmiş gibi yorumlanabilmektedir (Lillesand and Kiefer, 2001).

Bant oranları bitki örtüsü durumunu haritalamada geniş ölçüde kullanılmaktadır. Kullanıcı tarafından objenin parlak ve koyu görüldüğü birer bant seçilir. Genellikle çok yüksek yansıtım olan bant, bant oranının numaratörü olarak kullanılır. Bu nedenle oran değer 1'den yüksek olur. Yakın kızılötesi/Kırmızı bant oranı bitki örtüsü haritalarını oluşturmada oldukça yararlı olmaktadır.

Basit bant oranlarının bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan birisi, hesaplanan değerlerin aralık ve dağılımında ortaya çıkmaktadır. Oran değerleri birden daha küçük ondalık değerlerden birden daha büyük değerlere uzanmaktadır. Değerlerin bu dağılımı, özellikle 8 bit veri değerleri ile işletilen eski görüntü işleme sistemleri için kontrast artımı ve yorumlamada bazı güçlükleri ortaya çıkarmaktadır. Yaygın olarak kullanılan Normalize Edilmiş Bitki İndeksi (NDVI), bu problemi önleyen basit bant oranının farklı bir biçimidir. Ham indeks değerleri, -1 ile + 1 arasında değişmektedir ve veri aralığı simetriktir (Smith, 2006).

Çalışmada kullanılan bitki indeksleri aşağıda verilmiştir.

$$\text{Oran Bitki İndeksi (RVI); } \frac{IR}{R} \quad (3.4)$$

$$\text{Normalize Edilmiş Bitki İndeksi (NDVI); } \frac{IR - R}{IR + R} \quad (3.5)$$

$$\text{Transforme Bitki İndeksi; (TVI); } \left[\frac{IR - R}{IR + R} + 0.5 \right]^{1/2} \times 100 \quad (3.6)$$

Burada; R; Kırmızı Bant, IR; Kızılötesi bandı göstermektedir (Holmgren and Thuresson, 1998)

3.3.3. Sınıflandırma

Sınıflandırmada amaç; sayısal görüntülerde, doğal ııınsal yansıma ve yayma özelliklerine bağılı olarak farklı sayısal değerler içeren nesnelerden, aynı ııınsal özellikler taşıyanları gruplandırmaktır. Genel olarak uydu görüntülerinin sınıflandırılması, değıışik bant kombinasyonları kullanarak benzer ııınsal yansıma

sahip yeryüzü özelliklerinin, özellik uzayında gruplandırılması biçiminde yapılmaktadır (Jensen, 1996; Musaoğlu, 1999).

Bilim adamları sınıflandırma doğruluğunu geliştirmek için yeni sınıflandırma yaklaşımları ve teknikleri geliştirmede büyük eforlar sarfetmektedirler. Buna karşın bir tematik harita içindeki sınıflandırılmış uzaktan algılama verisinin doğruluğu tartışılır durumdadır. Çünkü çalışma alanı içindeki peyzajın karmaşıklığı, seçilen uzaktan algılama verisi, görüntü işleme ve sınıflandırma yaklaşımları gibi çoğu faktör sınıflandırma başarısını etkileyebilmektedir.

Uzaktan algılamada sınıflandırma, karmaşık bir süreçtir ve çok sayıda faktörün dikkate alınmasını gerektirir. Görüntü sınıflandırmanın en önemli adımları,

- uygun bir sınıflama sisteminin tanımlanmasını,
- uygun dalga boylarının seçilmesi
- yeterli sayıda kontrol alanlarının belirlenmesi,
- amacı gerçekleştirecek uygun sınıflandırma yaklaşımlarının ve sınıflandırma algoritmalarının seçimi,
- sınıflandırma sonrası işlem ve doğruluk değerlendirmesini içerir.

Genellikle bir sınıflandırma sistemi, kullanıcı ihtiyacı, seçilen uzaktan algılama verisinin mekansal çözünürlüğü, önceki çalışmalar ile uyumluluk, mevcut görüntü işleme ve sınıflandırma algoritmaları ve zamansal kısıtlamalara bağlı olarak oluşturulur. Böyle bir sistem, ayrıntılı ve ayırtedilebilir nitelikte bilgi sağlayabilmelidir (Lu and Weng, 2007).

3.3.3.1. Görsel Yorumlama

Görsel yorumlama tekniği ile haritalama süreci genellikle, büyüklük, şekil, doku, gölge, ton/reng farklılığı ve komşuluk ilişkileri gibi özelliklerin bir kombinasyonunu ve insan beyninin yeteneklerini kullanarak tematik ünitelerin yorumlanması ve elle sayısallaştırılması temeline dayanmaktadır. Bu faktörlerin bazılarının kullanımı uydu görüntülerinin mekansal çözünürlüğü tarafından engellenebilmektedir. Bu yöntem ile elde edilen haritalar oldukça detaylı olmakta fakat oldukça da zaman alıcı olmaktadır.

Bu durum, yöntemin hem dezavantajı hem de avantajı olmaktadır. (Andersen, 1998; Mathieu et al., 2007).

Görsel teknikler, objelerin doğru olarak tanımlanması ve aralarındaki ilişkileri değerlendirmede insanların doğasında var olan yetenekleri nedeniyle uzaktan algılama görüntülerinin yorumlanmasında son derece etkin olmaktadır. Bu yöntem görsel hava fotoğrafı yorumlaması ile orman envanteri çalışmalarında uzun zamandır yer edinmiştir (Lillesand and Kiefer 2003, Hemphill, 2004; Hajek, 2006)

Borrry et al., görsel yorumlamanın orman tiplerinin sayısal sınıflandırmasından daha güvenilir olduğunu belirtirken, Roy ve diğ. ise görsel yorumlamanın subjektif olduğu ve bu yüzden elde edilen haritaların yorumlamalar arasında farklılıklar göstereceğini vurgulamıştır (Andersen, 1998).

Eğer çalışma alanı belli bir büyüklüğün üzerinde ise, görsel yorumlama çok zaman ve emek alıcı, çok hantal ve kullanışsız bir yöntem olmaktadır. Ayrıca pratik uygulamalar için bilgi tutarlılığı ve tekrarlanabilirlik ifadesi görsel yorumlamayı oldukça sınırlandırmakta ve orman amenajmanında otomatik görüntü analizi işlemlerine büyük bir önem kazandırmaktadır. Buna karşın görsel yorumlamanın, daha sonraki bölümlerde açıklanacak olan sayısal uydu verilerinin görüntü dilimlerine ayrılması gibi sayısal yaklaşımın bir parçası olarak kullanılabileceği belirtilmektedir (Andersen, 1998; Mathieu et al., 2007).

3.3.3.2. Piksel Bazlı Sınıflandırma

İlk olarak 1970’li yıllarda çok kanallı uzaktan algılama verilerinin sınıflandırılması ve yorumlanması için geliştirilen ve uzaktan algılamacılar tarafından yaygın olarak kullanılan piksel bazlı sınıflandırma teknikleri, bir görüntü içindeki her bir pikselin spektral değerlerinin değerlendirilerek benzer spektral yansıtıma sahip olanların özellik uzayında gruplandırılması biçiminde yapılmaktadır.

Sınıflandırmanın bu tipinde, her bir pikselin ait olduğu sınıf hakkındaki karar sadece tek bir kritere dayalı olduğu için “kaba” olarak isimlendirilmektedir. Aynı obje içerisinde spektral olarak farklılık gösteren tek pikseller sınıflandırma sonucunda ayrı sınıflara atanabilmektedir. Piksel bazlı sınıflandırmanın bu çeşit problemleri, uzaktan algılama

görüntülerinin piksel bazlı sınıflandırılmasıyla üretilen haritaların etkinliğini sınırlandırmaktadır (Köhl et al., 2006).

Sınıflandırma yöntemleri kontrollü sınıflandırma ve kontrolsüz sınıflandırma olarak ikiye ayrılmaktadır.

Kontrolsüz sınıflandırma; Kontrolsüz sınıflandırmada, matematik istatistik yöntemlere göre yapılarak oluşan sınıfların gerçekte hangi bölgelere ait olduğu araştırılır (Erdin, 1986). Bu sınıflandırma yöntemi, çalışma alanında yeterli bilginin olmadığı veya bölgenin genel yapısı hakkında ön bilgiye gereksinim duyulan çalışmalarda kullanılmaktadır (Musaoğlu, 1999). Kontrolsüz sınıflandırma, genellikle kümeleme yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu yöntemde, küme merkezleri geçici olarak hesaplanır ve piksellerin dahil olacağı sınıflar belirlenir. Bu işleme, küme merkezlerinin yerlerinde değişim olmayıncaya kadar devam edilir. Ardışık kümeleme ve tekrarlı ardışık kümeleme (**Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique “ISODATA”**) gibi değişik kontrolsüz sınıflandırma yöntemleri vardır (Mather, 1987; Jensen, 1996).

-

Kontrollü Sınıflandırma; Böyle bir teknik ile her bir piksel, yersel ölçümler yada tematik haritalar aracılığıyla görüntü üzerinde daha önce tanımlanmış olan sınıflardan en büyük spektral benzerliğe sahip olduğu sınıf içerisine atanır (Köhl et al., 2006). Kontrollü sınıflandırmada yer kontrolleri önemli rol oynamaktadır. Öncelikle yer verilerine dayalı sınıflar seçilir. Verilerin ait olduğu bölgelerde karakteristik kontrol alanları (ibreli,yapraklı veya ibreli-yapraklı karışık meşcerelerin yer aldığı alanlar, açık alanlar, iskan alanları, sulu alanlar vb.) alınarak, sınıflandırma yeryüzü özelliklerini temsil eden bu kontrol alanlarına dayalı olarak gerçekleştirilir (Musaoğlu, 1999).

Kontrollü sınıflandırmada En Küçük Uzaklık (Minimum Distance), Paralel Kenar (Parallellepiped), En Yüksek Olabilirlik (Maximum Likelihood) yöntemleri kullanılmaktadır (Jensen, 1996).

3.3.3.3. Obje Bazlı Sınıflandırma

Sayısal uzaktan algılama görüntülerinden tematik harita çıkarımı, geleneksel olarak piksel tabanlı istatistiksel sınıflandırma yoluyla gerçekleştirilmektedir. Piksel tabanlı sınıflandırmanın başlıca dezavantajı bir yorumlayıcı için görüntü yorumlamada temel ipuçları arasında olan görüntü bilgisinin şekil ve tekstürel görünüşlerini büyük ölçüde dikkate almamasıdır (Blaschke et al., 2004).

Piksel bazlı yaklaşımların 30 yıllık hakimiyetinden sonra obje bazlı metodları uygulama ve gelişimine doğru olan son 10 yıllık bir süreçte uydu verileri ve bunların analizlerinde önemli gelişmeler yaşanmıştır. Uzaktan algılamacılar tarafından yaygın olarak kullanılan, çok boyutlu bir özellik uzayında tek piksellerin sınıflandırılmasına dayanan ve görüntüdeki konumsal bilgilerin basit bir rol oynadığı piksel bazlı sınıflandırmaların yeni veri gruplarından çok yüksek çözünürlüklü uydu verilerini yorumlamak için uygun olmadığının anlaşılması, bu verileri etkili bir şekilde işlemek için yeni metodlara ihtiyaç duyulmuştur (Pekkarinen, 2002; Hay et al., 2005).

Piksel bazlı sınıflandırmada objeler, obje içindeki komşu piksellerden spektral olarak farklı olan tek pikseller içermesinden dolayı, bunlar farklı olarak sınıflandırılır. Homojen bölgeler oluşturulamaz. Bu durum ormancılık çalışmalarında uydu verilerinin kullanılması durumunda bazı problemlerle karşılaşılmasına neden olmaktadır. Orman örtüsünde sonucu etkileyecek yani sınıflandırma doğruluğunu düşürecek küçük gruplarla sürekli karşılaşmaktadır. Örneğin, uydu görüntüsünden piksel bazlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak meşcere tipleri haritasının elde edilmesinde, meşcereler içindeki reflektansda büyük değişimler ve türlerin spektral düzensizliği nedeniyle problemlerle karşılaşılabilir. Orman amenajmanı pratiğinde meşcere homojen bir poligon olarak yorumlanır. Ancak meşcere tipi tam anlamıyla homojen bir obje değildir. Çok yüksek çözünürlüklü bir uydu görüntüsü üzerinde bir meşcere, içindeki küçük boşluklar ve hacmi % 10'u geçmeyen meşcere içine düzensiz olarak dağılmış birkaç farklı ağaç türü, ışıklı ve gölgeli tepe tacı gibi farklı spektral sınıfların bir kompozisyonu şeklindedir. Bunlar, meşcere haritasında ihmal edildiği halde, piksel seviyesinde yapılan sınıflandırma sonucunda farklı sınıf olarak ayrılabilir. Sonuç olarak da sınıflandırma doğruluğu azalmaktadır.

LANDSAT ve SPOT gibi uydu verilerinde bazı uzaysal filtrelerin kullanımı görüntüyü pürüzsüz hale getirerek bu sorunu belli ölçüde giderebilse de sınıflandırma sonuçlarında sık bir şekilde benekler görülmektedir. Ayrıca, bunlar orijinal görüntü bilgisini hesaba katmayan algoritma tabanlıdır ve daha fazla yanlışlara yol açabilirler. Bu nedenle piksel bazlı görüntü analizlerinin klasik algoritmaları, bahsedilen dezavantajlarından dolayı çok yüksek çözünürlüklü uydu verilerinin sınıflandırılmasında önemini yitirmektedir (Özdemir, 2003; Hemphill, 2004; Pekkarinen, 2002; Hyvönen et al., 2005).

Piksel bazlı sınıflandırmaya alternatif olarak geliştiren yaklaşım, şekil, doku ve spektral bilgiyi göz önüne alan “*obje bazlı sınıflandırma*” yöntemidir.

Bu obje bazlı sınıflandırma yönteminin gelişiminde en önemli unsur, ticari olarak elde edilebilen 5 m ve daha küçük mekansal çözünürlükle karakterize edilen çok yüksek çözünürlüklü sayısal uzaktan algılama görüntülerde artış olmasıdır (Hay et al., 2005).

Obje bazlı sınıflandırmanın temelinde görüntünün anlamlı nesnelere (objelere) dönüştürülmesi yatmaktadır. Sınıflandırma işlemi tek piksellere göre değil bu anlamlı nesnelere dayalı olarak yapılmakta ve böylece, sadece piksel değerlerine göre gerçekleştirilen sınıflandırmada, farklı sınıf olarak ayrılan küçük gruplar, oluşturulan anlamlı nesneler içinde kalmaktadır. Sonuç olarakda, görüntüdeki gürültü/benek etkisi büyük oranda azalmaktadır. Objeye bazlı sınıflandırmalar, piksel tabanlı sınıflandırmalara göre sonuçları daha kolay yorumlama imkanı sağlamaktadır (Antunes et al., 2003; Özdemir, 2005).

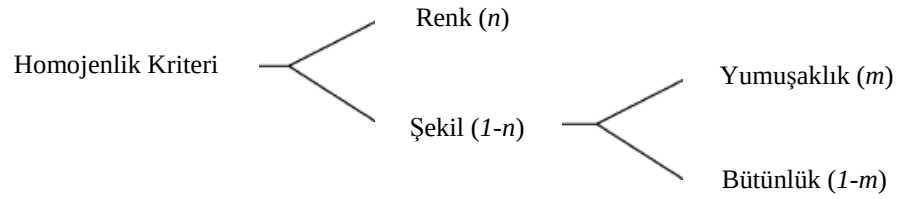
Obje bazlı sınıflandırma, ilk olarak anlamlı alanlar içindeki komşu piksellerin gruplanması şeklindeki bir görüntü dilimleme işlemi ile başlamaktadır

3.3.3.3.1. Görüntü Dilimleme

Görüntü dilimleme, homojenlik temelinde ölçümler dizisinin bir bölümüdür. Sürekli ve homojen bölgeler içinde komşu piksellerin gruplandırılması şeklinde tanımlanabilir. Gruplandırma bir görüntü objesini şekillendiren bir piksel ile başlar ve kullanıcının belirlediği kriterlere ulaşıncaya kadar devam eder. Görüntü dilimleme, görüntü içinde tek bir ünite veya obje olarak göz önünde tutulan piksel gruplarını hesaba katmakta ve amaç görüntüyü homojen nesnelere ayırmaktadır (Antunes et al., 2003; Blaschke et al.,

2004; Marçal et al., 2005). Görüntü objeleri ise, gerçek yeryüzü varlıklarına karşılık gelen bir görüntü üzerindeki objeleri görsel olarak simgeleyen benzer sayısal değerlere sahip bir araya getirilmiş pikseller grubundan oluşmaktadır (Hay et al., 2005).

Görüntü dilimleme işlemi boyunca bir optimizasyon prosedürü, oluşturulan görüntü objelerinin ağırlıklı heterojenliğini ($n \times h$) minimize eder. n objenin büyüklüğü olup ölçek parametresi ile tanımlanır. Görüntü dilimlemede, istenilen objenin temel şekil ve büyüklüğünü belirleyen temel girdi parametresi ölçektir. Ölçek, görüntü üzerinde bir objenin tanımlanabildiği büyüklük yada birleştirme düzeyini tarif etmektedir. Ölçek parametresi büyüdükçe, gruplandırılan objenin büyüklüğü ve objeyi oluşturan pikseller arasında heterojenlik de artmaktadır. h ise homojenlik kriteri olup Şekil 3.9 da gösterildiği gibi ağırlıklandırılabilen alt kriterlerden oluşmaktadır (Dorren et al., 2003; Hajek, 2006).



Şekil 3.9: Homojenlik kriterinin alt kriterleri

Dilimleme aşamasında, mümkün olduğunca gerçeğe yakın belirlenmesi gereken bu parametreler Karakış ve diğ. (2005) tarafından aşağıda başlıklar halinde açıklanmıştır;

Ölçek Parametresi: Bu görüntü dilimlerinin izin verilen ortalama heterojenliğini tanımlamaktadır. Ölçek parametresi ne kadar büyük olursa nesneler de o derece büyük olur. Ölçek dolaylı olarak saptanan objenin ortalama büyüklüğü ile ilgilidir.

Renk / Şekil: Bu parametrelerle renk ve şekil çatışmasının homojenliğinin nesne üretimi etkisi düzeltilebilir. Şekil kriteri ne kadar yüksek olursa, spektral homojenliğinin nesne üretimine etkisi daha az olacaktır.

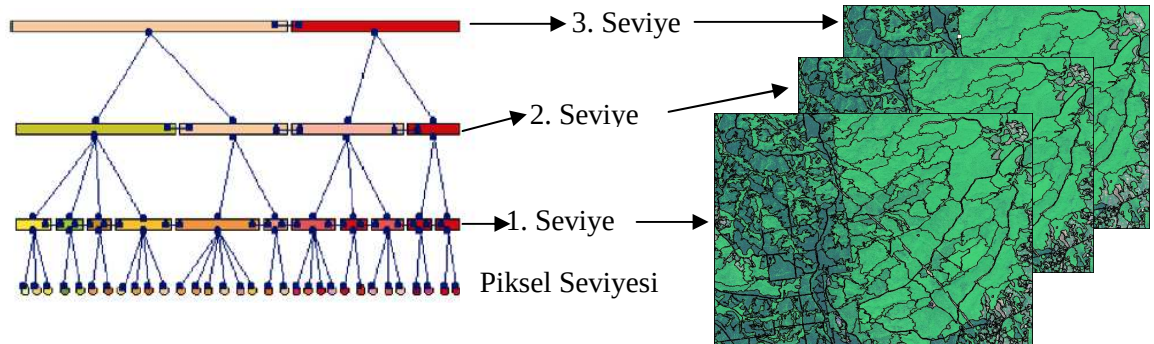
Yumuşaklık / Bütünlük: Şekil kriteri sıfırdan büyük olduğunda kullanıcı, objelerin daha bütün (yoğun) veya daha yumuşatılmış olması gerektiğine karar verebilir.

Yapılan çoğu çalışmalarda, renk kriterinin daha ağırlıklı alınmasıyla daha anlamlı objelerin ortaya çıkarıldığı bulunmuştur. Bu çalışmalarda renk kriteri 0.7 ağırlıkla tanımlanırken, şekil kriteri geri kalan 0.3 ağırlıkla temsil edilmiştir (Herold et al., 2002; Laliberte et al., 2004).

Orman amenajman planlarında temel ünite olarak meşcere tipleri kullanılmaktadır. Çok yüksek çözünürlüklü uydu verilerinin orman envanteri amacıyla kullanılması durumunda, uydu verisinin dilimlere ayrılmasıyla oluşturulacak her bir obje meşcereleri tanımlayabilecektir.

Görüntü dilimlemesi yardımıyla, özellikle çok yüksek çözünürlüklü uydu verilerinin aktüel meşcere kuruluşları ile oldukça iyi bir şekilde örtüşen, mekansal olarak sürekli, ayrık ve homojen bölgelere ayrılabilirdikleri belirlenmiştir (Hyvönen et al., 2005).

Görüntü objeleri özellik uzayında birbiri ile ilgili oldukları yerlerde hiyerarşik bir ağ ile birbirine bağlanabilmektedirler. Bu yüzden farklı ölçek düzeylerine dayalı hiyerarşik bir analiz yaklaşımında, görüntü içindeki ilişkileri anlamak ve görüntüyü daha kolay bir şekilde yorumlamak mümkün olmaktadır (Şekil 3.10) (Benz et al., 2004).



Şekil 3.10: Hiyerarşik bir düzende görüntü objelerinin elde edilmesi

Hiyerarşik bir yapı içerisinde, küçük objeler daha büyük objeleri yapılandırmak için birleştirilebildiği gibi büyük objeler de daha homojen yapıda küçük objelere

bölünebilmektedir. Bu çalışmada, aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya olarak isimlendirilen bu iki yaklaşımdan, küçük objelerin daha büyük objeleri yapılandırmak için birleştirildiği hiyerarşik yaklaşım kullanılmıştır.

Görüntü dilimleme şimdiye kadar uzaktan algılama verilerinin işlenmesinde nadiren kullanılmıştır. Görüntü dilimleme yöntemi Ketting ve Landgrebe tarafından 1970' li yıllarda ortaya konulmuştur. Ancak bazı araştırmacılar tarafından ormancılık açısından avantajlarından bahsedilse de ormancılık amaçları için uydu görüntülerini yorumlama aracı olarak fazla tercih edilmemiştir. Ancak yeni nesil yüksek çözünürlüklü ticari uyduların daha yüksek mekansal çözünürlüğe sahip görüntülerin (IKONOS, QUICKBIRD gibi) modern orman envanteri gereksinimleri için uygun veri sağlama potansiyellerine sahip olduğunun anlaşılması ve ilk ticari obje bazlı analiz yazılımı eCognition'ın Definiens firması tarafından üretilmesiyle son birkaç yıldır konuya eğilim artmıştır (Andersen, 1998; Chubey et al., 2006)

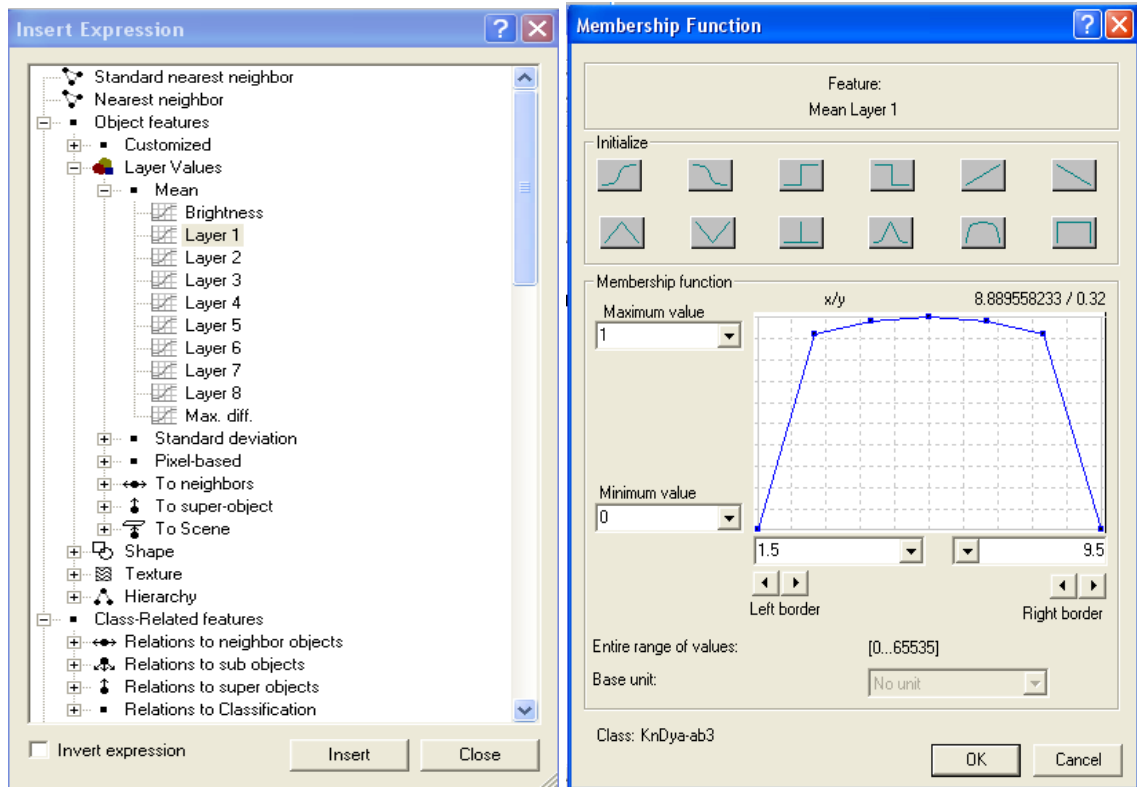
Definiens programı, çok çözünürlüklü görüntü dilimleme yaklaşımı temeline dayanmaktadır. Çok sayıda tekrarlı adımlarla daha küçük görüntü objeleri daha büyük olanın içine dahil edilmektedir. Görüntü dilimleme algoritmaları, ölçek faktörü ve homojenlik kriterleri tarafından kontrol edilmektedir .

Definiens yazılımı, standart en yakın komşu (standard nearest neighbour) ve üyelik ilişkisi (membership) olmak üzere iki sınıflandırma yöntemi ile çalışma olanağı sağlamaktadır.

3.3.3.3.2. Üyelik ilişkisi sınıflandırma sistemi

Üyelik ilişkisi sınıflandırma sistemi, objelerin spektral, şekil ve doku karakteristiklerine bağlı olarak her bir sınıfa bir dizi kural tabanlı sınıflandırıcıların tanımlanmasını içermektedir. Bulanık üyelik yöntemi nesnelerin belli bir sınıfa ait olduğu veya belli bir seviyede olmadığı yerdeki önemli özellik aralıklarını tanımlar. Definiens sınıf tanımlama arabirimi (arayüzü, algoritması), tek tek ya da “ve”, “veya”, “benzer” gibi bir dizi mantıksal terimler ile kombine edilerek objeleri sınıflandırmak için kullanılabilen katman, şekil ve doku karakteristiklerini kapsayan 70 ayrı parametre kullanılarak her bir sınıfın tanımlanmasına imkan vermektedir (Anon 2006, syf 249).

Bu parametrelerin üyelik ilişkisi değerleri, her bir parametre için “den daha büyük”, “den daha küçük”, “aralığında”, “yaklaşık olarak aralığında” gibi tanımlamaların oluşturulmasına olanak veren bir üyelik ilişkisi fonksiyon eğrisi kullanılarak her bir sınıf için tanımlanmaktadır (Şekil 3.11). Bu tanımlamalardan sonra üyelik ilişkisi parametreleri bir bulanık mantık sistemi tarafından sınıflandırma işlemi sırasında “kesinlikle hayır” dan “biraz hayır” a ve “kesinlikle evet” den “biraz evet” arasında sürekli aralığı temsil eden 0 ve 1 arasındaki değerler ile yorumlanmaktadır

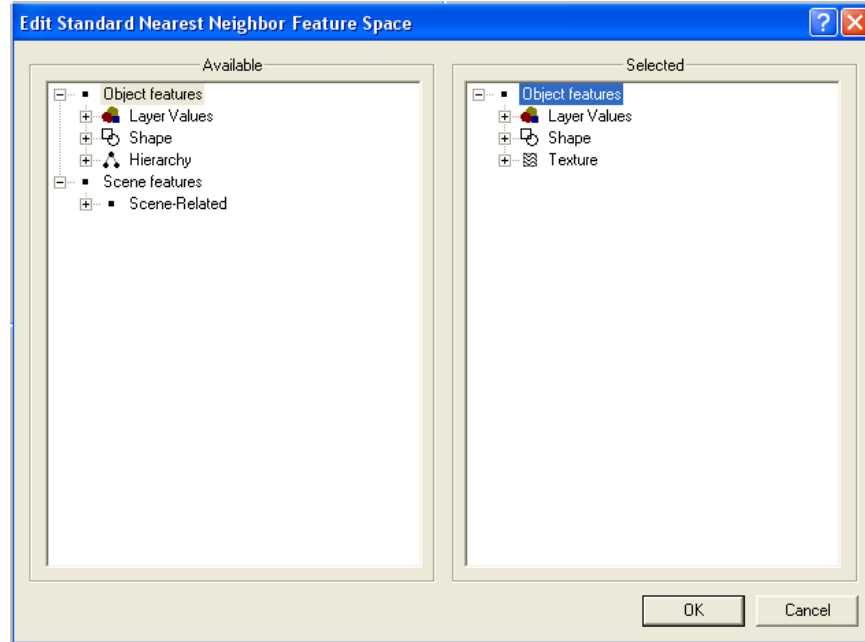


Şekil 3.11: Obje bazlı sınıflandırmada obje özellikleri ve üyelik fonksiyonu

3.3.3.3. Standart En Yakın Komşu Sınıflandırma Sistemi

Kullanıcılar tarafından tanımlanan kural tabanlı sınıflandırma parametrelerine bağlı olan üyelik ilişkisi sınıflandırma yönteminden farklı olarak, Definiens en yakın komşu sınıflandırması, örnek verilerden bu sınıflandırıcıları otomatik olarak üreten basitleştirilmiş bir prosedür sunmaktadır. Birkaç obje özelliği, belirli bir sınıfı tanımlamak için kullanıldığı zaman özellikle faydalı olan, çok boyutlu özellik uzayında komşu objeler arasındaki ilişkiyi daha iyi değerlendirebilme avantajı da sağlamaktadır.

En yakın komşu yönteminde her bir sınıf için yeterli sayıda örneklerin seçiminden sonra, standart en yakın komşu yönteminin özellik uzayında sınıflandırma kriterlerinin belirlenmesi sınıflandırma işleminin diğer önemli adımıdır. Yine sınıflandırma işleminde kullanılmak üzere, katman, şekil ve doku karakteristiklerini kapsayan 70'e yakın sınıflandırıcının herhangi biri yada değişik kombinasyonları en yakın komşu özellik uzayının biçimlendirilmesiyle seçilebilir (Şekil 3.12). Bu seçenekler, sınıflandırma algoritmasının oluşturulmasında kullanıcıya çok sayıda alternatif sunuyor olmasına rağmen, bu kriterlerin bir çoğunun bir arada kullanılması uydu görüntüsünün tam çerçevesinde, işlem süresinin oldukça zaman alması ve basit bir sınıflandırma için birkaç gün sürebiliyor olması nedeniyle pratikte uygulanabilir gözükmemektedir.



Şekil 3.12: Sınıflandırmada kullanılacak obje özelliklerinin seçimi

3.3.3.4. Sınıflandırma Sonuçlarının Doğruluk Değerlendirmesi

Görüntü sınıflandırmanın son adımını, her bir piksel yada poligon içerisinde tanımlanmış bilginin değerlendirilmesiyle üretilen tematik harita katmanının doğruluk değerlendirmesini içermektedir.

Uzaktan algılamada sınıflandırma sonuçlarının doğruluğu, seçilen referans verilerle sınıflandırılmış uydu verisi arasındaki uyumun belirlenmesi olarak ifade edilmektedir. Bu nedenle doğruluk değerlendirme, çalışma alanına ait doğruluğu kesin olarak

bilinen referans verilerle (meşcere tipi haritaları gibi tematik haritalar, GPS ölçmeleri, arazi çalışmaları) sınıflandırılmış uydu görüntüsünün karşılaştırılması biçiminde yapılmaktadır (Jensen, 1996).

Uydu verilerinden türetilen tematik haritaların doğruluk değerlendirmesi, sonuç haritanın genel görsel yorumlanmasına dayanılarak gerçekleştirilebildiği gibi, doğruluk değerlendirmesinde yaygın olarak hata matrisi hesaplanmasını içeren geleneksel metot kullanılmaktadır (Lockhart, 2003). Bu amaçla sınıflandırılmış uydu verisi üzerinden seçilen görüntü objeleri ile bunlara karşılık gelen referans veriler karşılaştırılarak bir hata matrisi elde edilmektedir. Hata matrisinin sütunları referans verileri, satırları ise sınıflandırılmış görüntüyü temsil etmektedir. Bu hata matrisi Kappa katsayısı ile istatistiksel olarak analiz edilmektedir. Kappa katsayısı, hata matrisinin satır ve sütun toplamaları ve köşegeni üzerindeki elemanlar kullanılarak hesaplanmakta ve 0 ile 1 arasında değerler almaktadır (Jensen, 1996)

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_{i+} \times x_{+i})} \quad (3.7)$$

Burada;

K ; Kappa Katsayısını

r ; Matrisin satır sayısını

x_{ii} ; i nci satır ve i nci sütundaki köşegen değerini

x_{+i} ; i nci sütunun toplam değerini

x_{i+} ; i nci satırın toplam değerini

N ; Toplam örnek sayısını göstermektedir.

3.4. ENVANTER YÖNTEMİ

Ülke veya bölgesel bazda gerçekleştirilen çok geniş alanları kapsayan orman envanterinde kullanılan, farklı çözünürlükte uydu görüntüleri, değişik ölçekte hava fotoğrafları, haritalar ve uydu görüntüleri gibi bilgi kaynaklarını kombine etmek

amacıyla geniş olarak çok kaynaklı orman envanteri yöntemi kullanılmaktadır. Çok kaynaklı envanter yönteminin “Regresyon Tahmini ile Çok Aşamalı Örneklem Yöntemi” ve “Katmanlı Çok Aşamalı Örneklem Yöntemi” olmak üzere iki farklı uygulama biçimi bulunmaktadır. Regresyon Tahmini İle Çok Aşamalı Örneklem Yönteminin, öncelikle kolay ölçülebilen yardımcı değişken ile bağlı değişken arasındaki korelasyonun kuvvetli olmasına dayanması, yöntemin pratikte uygulanışını kısıtlamaktadır (Özdemir ve diğ., 2004). Bundan dolayı, Özdemir (2003) tarafından, *regresyon tahmini ile çok aşamalı örneklem yönteminin* ülkemiz koşullarda uygulanmasının kısıtlı olduğu buna karşın *katmanlı çok aşamalı örneklem yönteminin* Türkiye UOE için daha uygun olacağı belirtilmiştir.

Kullanılan bilgi kaynaklarına göre çok aşamalı örneklem yöntemi, iki aşamalı, üç aşamalı ve hatta dört aşamalı olarak uygulamak mümkündür (Özdemir ve diğ., 2004)

Çalışmada;

- sadece yersel ölçümlere dayalı tek aşamalı sistematik örneklem
- Uydu verileri ve yersel ölçümlerin kombine edildiği katmanlı iki aşamalı sistematik örneklem

olmak üzere iki farklı envanter yöntemi kullanılmıştır.

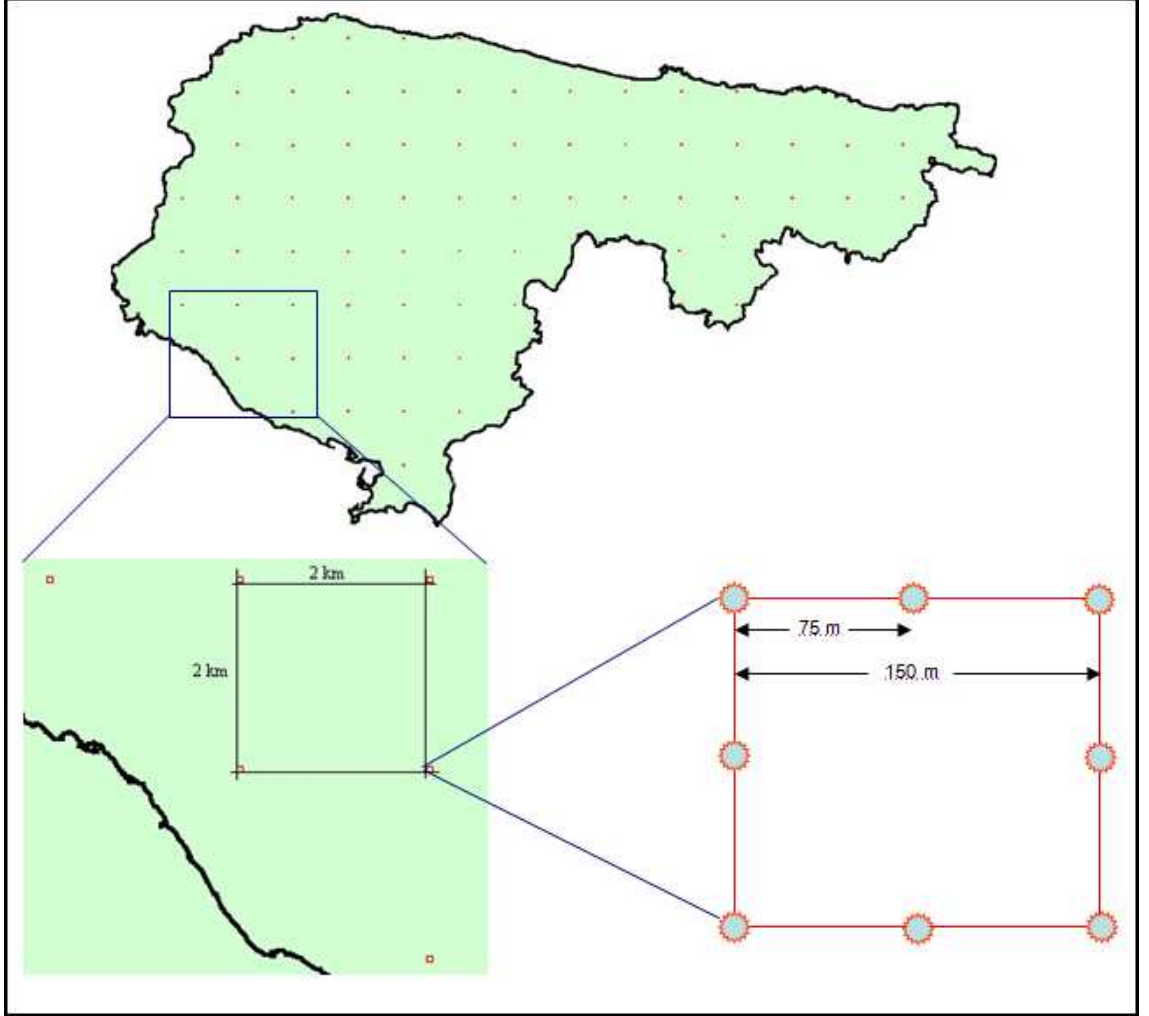
3.4.1. Yersel Ölçümlere Dayalı Tek Aşamalı Sistematik Örneklem

Yöntemin örneklem deseni çalışma alanına 5x5 km aralıklarla sistematik olarak atılmış yersel örneklem ünitelerine (trakt) dayanmaktadır. Her bir deneme alanı kümesi, 2.25 ha büyüklüğünde bir alana sahiptir. Örneklem ünitelerinde, bir sonraki bölümde ayrıntılı bir şekilde anlatılacak olan alan ve ağaç servetinin tahminine yönelik ölçümler yapılmıştır. Alan tahminleri, örneklem ünitelerinin sınırları boyunca yer alan orman tiplerinin ölçülen uzunluklarının deneme alanı kümesinin çevresine oranlanması ile her bir tipin o üniteye temsil ettiği alanların hesaplanması şeklinde yapılmıştır. Ağaç servetinin tahminine yönelik ölçümler, taktlar üzerine yerleştirilmiş daire şeklindeki sekizer adet örnek alanda gerçekleştirilmiştir.

3.4.1.1. Örneklem Sistemi

Çalışmada kullanılan örneklem sistemi, 5 x 5 km aralık ve mesafe ile çalışma alanının tamamını kapsayan gridlerin kesişim yerlerine yerleştirilmiş 150 x 150 m büyüklükte

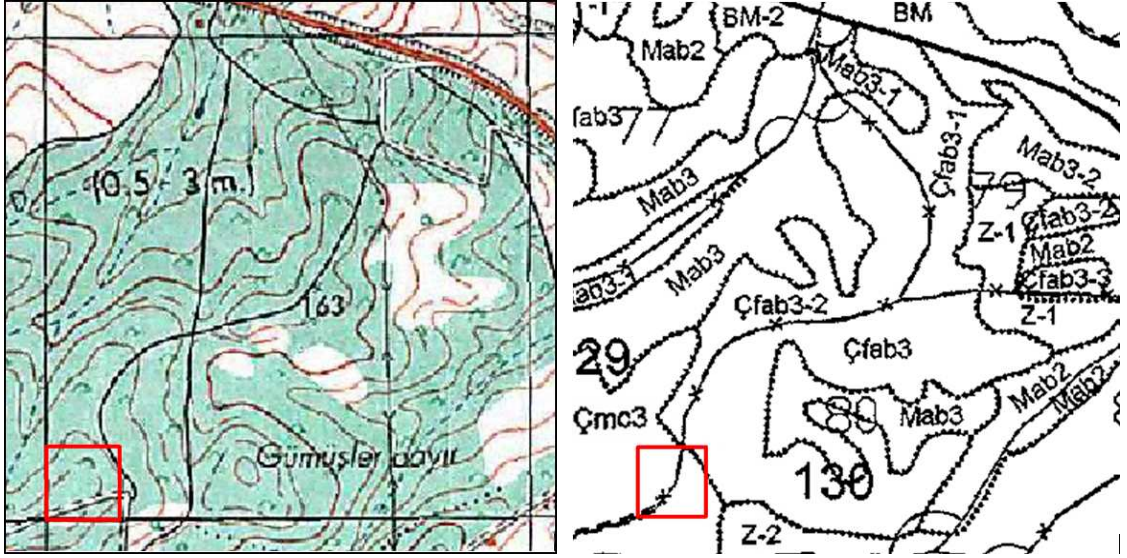
traktlardan oluşmaktadır. Her bir trakt daire şeklinde 8 adet örnek alan içermektedir (Şekil 3.13). Bu şekilde çalışma alanı içerisine toplam 73 trakt düşmektedir. Bunlardan ormanlık alanlara düşen toplam 49 adedinde ölçüm yapılmış, geriye kalan 24 trakt açık alanlara isabet etmiştir.



Şekil 3.13: Örnekleme sistemi ve trakt

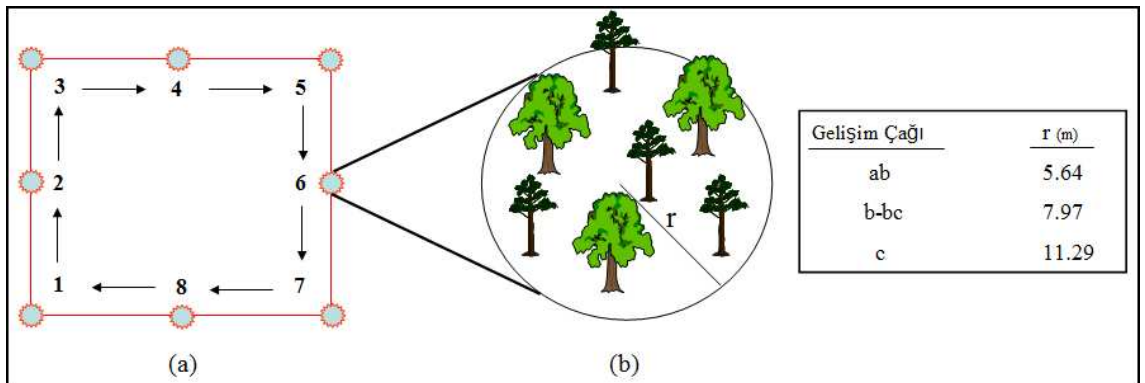
3.4.1.2. Örnek Alanların Belirlenmesi ve Ölçümler

Topografik haritalar ve meşcere haritaları üzerine işaretlenmiş olan ve koordinatları bilinen traktların yerleri arazide GPS yardımıyla bulunmuştur (Şekil 3.14).



Şekil 3.14: 45 nolu trakt'ın topografik ve mescere haritası üzerinde konumu

Meşcere servetini belirlemeye yönelik olarak yapılan arazi çalışmaları sırasında sabit büyüklükte örnek alanlardan yararlanılmıştır. Sınır ağaçlarının etkisini azaltmak amacıyla örnek alanlar daire şeklinde alınmıştır. Ülkemiz orman amenajmanı pratiğinde alan örneklemesinde kullanılan sabit büyüklükler meşcere kapalılığı ve gelişim çağına göre değişmektedir. Çalışmada, gelişim çağı a ve ab olan meşcerelerde örnek alan büyüklüğü 100 m^2 , b ve bc gelişim çağlarında ise 200 m^2 , c gelişim çağında ise 400 m^2 olarak alınmıştır (Şekil 3.15).



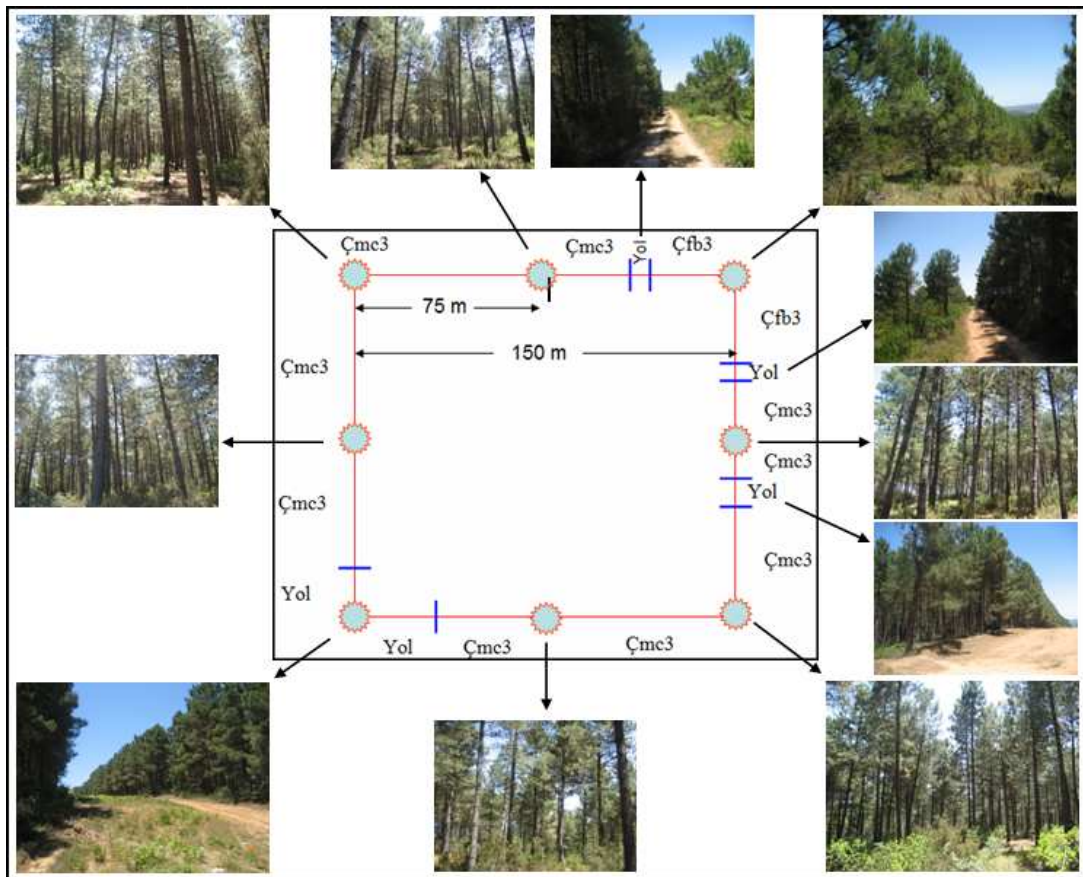
Şekil 3.15: Örnek alanların trakt üzerinde dağılımı (a) ve yersel örnek alan (b)

Her trakta, $5 \times 5 \text{ km}$ 'lik gridlerin kesişim yerlerine isabet eden trakt köşesi 1 nolu örnek alan merkezi olarak alınmıştır. Her bir traktın 1 nolu örnek alanından başlanarak kademeli olarak 8 tane örnek alanda, örnek alana giren tüm ağaçların 1.30 göğüs

yüksekliğindeki çapları ile 2-3 adet ağacın ise boyları ölçülerek envanter karnelerine kaydedilmiştir.

1 nolu örnek alanda ölçümlerin tamamlanmasından sonra, diğer örnek alanların merkezleri pusula ve 25 m'lik mesafe ipi yardımıyla bulunmuştur. Bunun için bir örnek alandan diğerine, Kuzey yönünde 0°, Doğu yönünde 90°, Güney yönünde 180°, Batı yönünde 270°'lik açı ve 75 m mesafe ile gidilerek örnek alan merkezlerine ulaşılmıştır.

Ayrıca çalışmada belirlenen orman örtüsü sınıflarına ilişkin alansal değerlerin sadece yersel ölçümlere dayalı olarak belirlenebilmesi amacıyla, bir örnek alan merkezinden hareketle diğer örnek alanların yerleri tespit edilirken arazi sınıfındaki değişimler dikkate alınmıştır. Bu amaçla, bir örnek alandan diğerine gidilirken meydana gelen değişimlerin tipi (meşcere tipindeki değişim, yol ve açık alanlarla karşılaşılması gibi) ve bu değişimlerin kaçınıcı metrede oldukları belirlenerek bunlara ilişkin bilgiler ilgili envanter karnelerine kaydedilmiştir (Şekil 3.16).



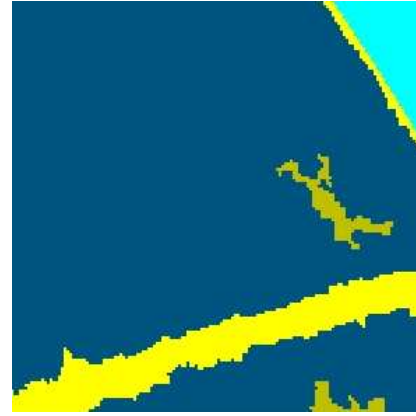
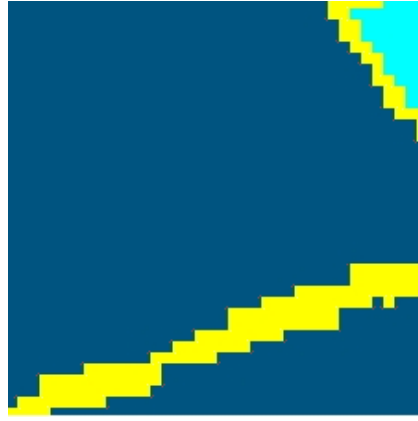
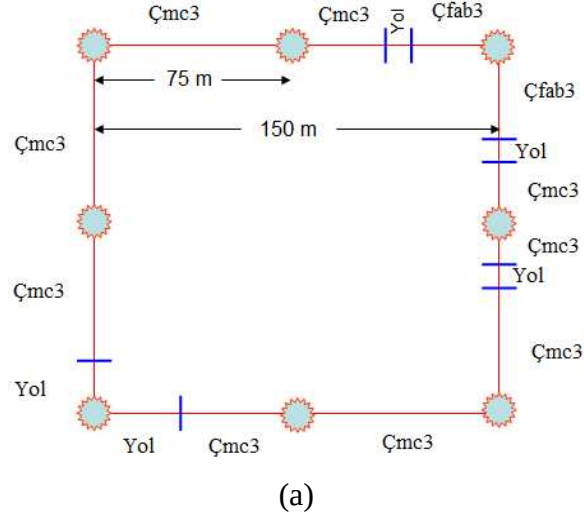
Şekil 3.16: Bir trakt üzerindeki arazi sınıfında meydana gelen değişimler

hesaplanması ve kullanılan formüllere ilişkin açıklamalar, aşağıda katmanlı iki aşamalı örnekleme yönteminde ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.4.2. Katmanlı İki Aşamalı Örnekleme

Özdemir (2003) tarafından Türkiye UOE için, uydu verileri (LANDSAT TM), hava fotoğrafları ve yersel ölçmeleri birleştiren Katmanlı Üç Aşamalı Örnekleme Yönteminin nasıl uygulanacağı, küçük bir alanda model olarak verilmiştir. Bu modele göre; birinci aşamada n adet envanter ünitesi belirlenmiş ve toplum belirli kurallara göre I adet homojen katmana ayrılmıştır. Her bir katmana isabet eden ünite sayısı belirlenmiştir. İkinci aşamada her bir birinci aşama katmanı için ayrı ayrı belirlenecek katsayılar yardımıyla, ikinci aşamada alınacak ünitelerin sayısı hesaplanmıştır. Birinci aşama katmanlarının tekrar kendi içinde homojen katmanlara ayrılmasıyla oluşan yeni ikinci aşama katmanlarına isabet eden ünitelerin sayısı belirlenmiştir. Üçüncü aşamada, ikinci aşamanın katmanları tekrar örneklenerek son aşamada örneklenecek üniteler belirlenmiştir. En son seçilen ünitelerde yersel ölçmelerle amaçlanan özellikler belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan Katmanlı İki Aşamalı Örnekleme Yönteminde, toplum birinci aşamada, IKONOS uydu görüntüsü kullanılarak önce genel arazi kullanım sınıflarına göre homojen katmanlara ayrılmıştır. Sonra, birinci aşama katmanları tekrar kendi içinde homojen alt sınıflara ayrılarak ikinci aşama katmanları oluşturulmuştur. İkinci aşama katmanlarına ait üniteler 5 x 5 km aralık ve mesafe ile çalışma alanının tamamını kapsayan gridlerin kesişim yerlerine yerleştirilmiş 150 x 150 m büyüklükteki görüntülerden oluşmaktadır. En son seçilen bu ünitelerden ikinci aşama katmanlarının alanları hesaplanmış ve bu katmanlara ilişkin amaçlanan hektardaki ortalama ağaç servetleri ise üniteler üzerine denk gelen 8 adet örnek alanlarda gerçekleştirilen yersel ölçmelerle belirlenmiştir (Şekil 3.18). Yukarıda açıklanan yöntemden farklı olarak, kullanılan formüllerde katmanların ünite sayısı yerine katmanlara ilişkin alan değerleri kullanılmıştır.



Şekil 3.18: Katmanlı iki aşamalı örnekleme (a- 45 no lu trakt ve örnek alanlar b- 45 no lu trakta ait sınıflandırılmış IKONOS c- Sınıflandırılmış IKONOS PAN-SHARPENED)

3.4.2.1. Alanların Hesaplanması

Katmanlı iki aşamalı örnekleme yöntemi ile alanların hesaplanmasında, her bir trakt'ı temsil eden ve 150x150 m büyüklüğündeki ikinci aşama ünitelerini oluşturan sınıflandırılmış uydu görüntüsünden yararlanılmıştır. Sınıflandırma işlemi sonucunda ayrılan ve ikinci aşama katmanını oluşturan sınıfların alanları öncelikle, trakt'lar düzeyinde ortaya konulmuştur. Sınıfların genel alanları ise, her bir sınıfın tüm traktlar üzerinde temsil ettiği oranın genel alan ile çarpılması ile bulunmuştur. Yönteme ilişkin formül aşağıda verilmiştir.

$$A_i = A \sum_{k=1}^k \frac{a_{ik}}{a} \quad (3.9)$$

a_{ik} = i ' inci sınıfın k ' inci traktaki alanı

a = çalışma alanına düşen traktların toplam alanı

A = çalışma alanının toplam alanı

A_i = i ' inci sınıfın genel alanı

3.4.2.2. Ağaç Servetinin Hesaplanması

Ağaç servetinin hesabı, trakt'lar üzerinde yer alan örnek alanlarda gerçekleştirilen yersel ölçümlere dayanmaktadır. Ayrılan sınıflara ilişkin hektardaki ortalama ve genel alandaki ağaç servetlerinin hesaplanmasında kullanılan formüller aşağıda verilmiştir.

$$\bar{v}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{k=1}^{n_i} v_{ik} \quad (3.10)$$

$\bar{v}_i$ = i 'inci sınıfın ortalama ağaç serveti (m^3/ha)

v_{ik} = i 'inci sınıfın k ' nıncı trakta ortalama ağaç serveti (m^3/ha)

n_i = i 'inci sınıfa düşen örnek alan sayısı

$k = 1, 2, 3, 4, \dots, b_i$

$$V_i = A_i \cdot \bar{v}_i \quad (3.11)$$

V_i = i 'inci sınıfın genel alandaki ağaç serveti (m^3)

A_i = i 'inci sınıfın alanı (ha)

$$\bar{M} = \sum_{i=1}^I \frac{A_i}{A} \bar{v}_i \quad (3.12)$$

$\bar{M}$ = toplumun ortalama ağaç serveti (m^3/ha)

A = toplumun genel alanı (ha)

4. BULGULAR

4.1. IKONOS VE IKONOS PAN-SHARPENED UYDU GÖRÜNTÜLERİ YARDIMIYLA MEŞCERE TİPLERİNİN AYRILMASINA İLİŞKİN BULGULAR

4.1.1. Uydu Görüntülerinin Geometrik Düzeltilmesi

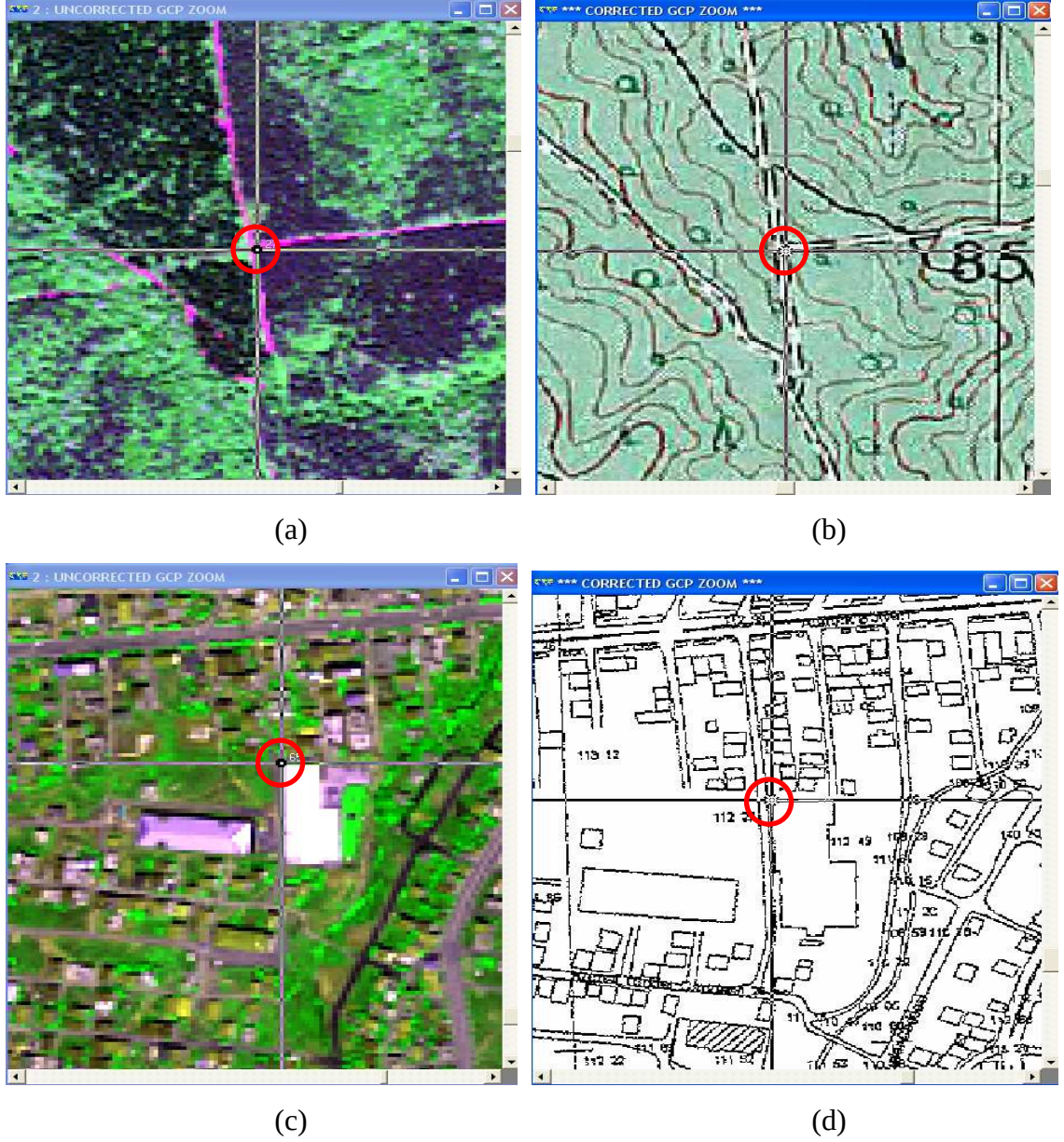
Uydu görüntülerinin diğer veri grupları ile bir arada değerlendirilebilmesi ve yeryüzünde konuma dayalı üretilen bilgilerle veri entegrasyonunun sağlanabilmesi için geometrik olarak düzeltilmesi yani diğer veri grupları ile aynı koordinat sisteminde olmak üzere yeryüzünü tanımlayan bir projeksiyon sisteminde koordinatlandırılması gereklidir (Kaya ve diğ., 2002; Özdemir, 2003).

Uydu görüntülerinin geometrik dönüşümleri için önceden UTM koordinat sistemine oturtulmuş 1/25000 ölçekli topografik haritalar ve 1/5000 ölçekli hali hazır haritalar kullanılmıştır. Dönüşüm için, görüntü üzerinde açık bir biçimde görünen ve de harita üzerinde karşılığı olan yer kontrol noktalarına ihtiyaç bulunmaktadır. Bunun için, kıyı çizgisi, yollar ve derelerin kesiştiği yerler, bina köşeleri gibi hem görüntüler hem de haritalar üzerinde açıkça ayırt edilebilen noktalar belirlenmiştir (Şekil 4.1).

Dönüşümde kullanılacak yer kontrol noktalarının belirlenmesinde; noktaların mümkün olduğunca bütün çalışma alanına homojen biçimde dağıtılmasına ve yeterli doğruluğu sağlayacak şekilde nokta seçilmesine dikkat edilmiştir. Dönüşüm eşitlikleri birinci dereceden polinom olarak seçilmiştir. Dönüşümde, orijinal piksel değerleri değişmediği ve bantlar arasındaki ilişkiler korunduğu için *en yakın komşu yöntemi* tercih edilmiştir.

Seçilen yer kontrol noktalarının haritalar üzerindeki koordinat değerleri kullanılarak, uydu görüntüleri UTM koordinat sistemine referanslandırılmıştır. Daha sonra meşcere tipleri haritası üzerine vektör olarak çizilmiş çalışma alanı sınırı, görüntü üzerine

transfer edilmiş ve bu sınır dışında kalan alanlar maskelenmiştir. Geometrik dönüşüm hataları, 5 m'den az hesaplanmıştır.



Şekil 4.1: Uydu görüntüsünün geometrik düzeltilmesi (a, c- uydu görüntüsü b- 1/25000 ölçekli topografik harita d- 1/5000 ölçekli hali hazır)

4.1.2. Bant Oranları İle Elde edilen Görüntüler

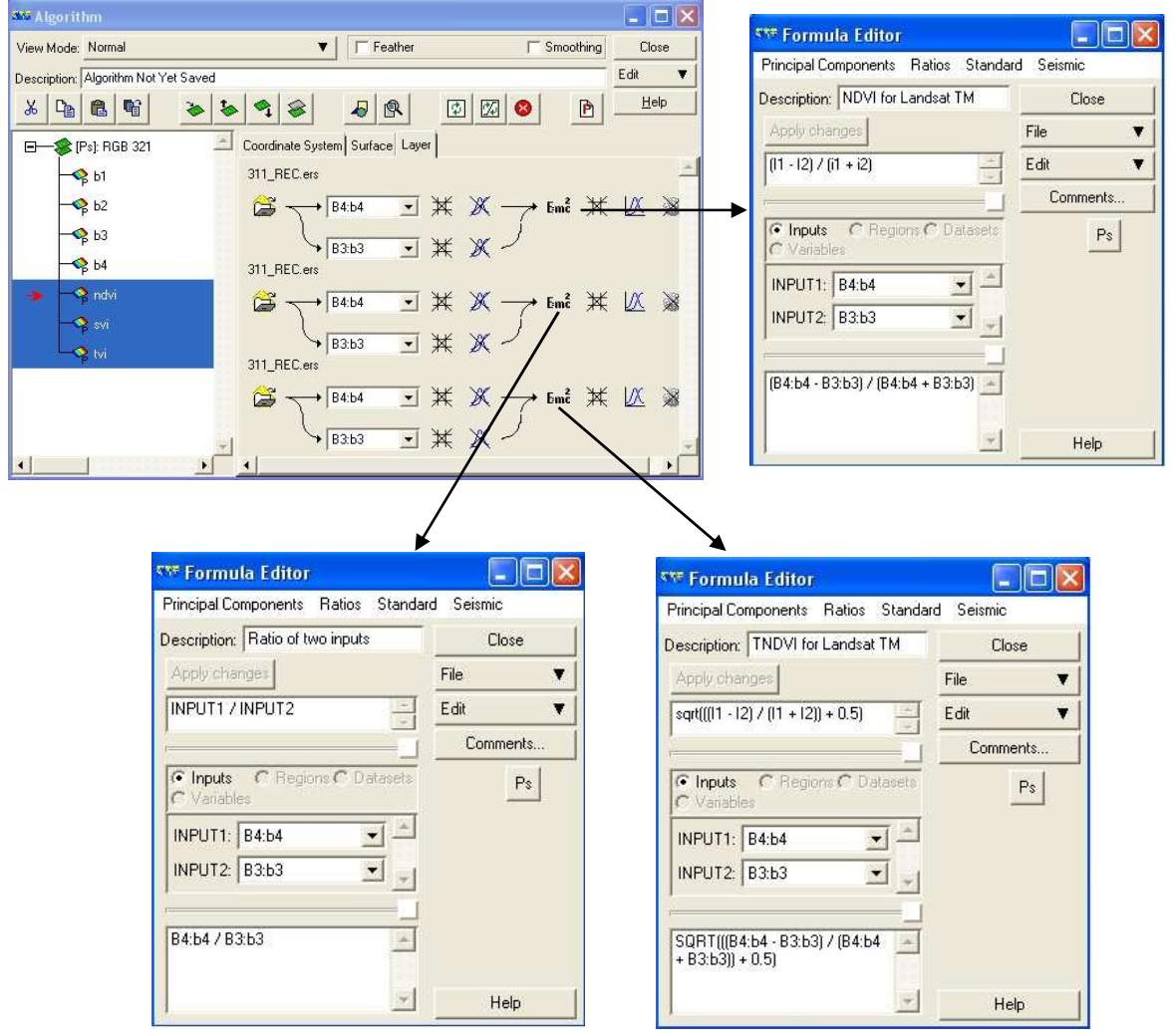
Daha önceki bölümde ayrıntılı bir şekilde açıklandığı gibi, çok kanallı uydu görüntülerinde bir ışınsal banttaki parlaklık değerinin bunlara karşılık gelen diğer bir banttaki parlaklık değerine oranlanmasıyla oran görüntüleri elde edilir. Oran görüntülerinde, benzer cisimler aynı oran değerine sahip olduğu için yeryüzünün farklı

aydınlanma koşullarından kaynaklanan gölge etkisinin olumsuzlukları ortadan kalkmakta ve cismin gölgede veya güneşte kalması görüntüyü fazla etkilememektedir (Lillesand and Kiefer, 2001).

Çok kanallı görüntülerde farklı kanallar vejetasyon alanlarının belirginliğini artırmak için kombine edilebilmektedir. Bu kombinasyonlardan biri yakın kızılötesi bandın, kırmızı banda oranlanmasıdır. Bu, *oran bitki indeksi* (RVI) olarak bilinmektedir. Bitki örtüsü ile kaplı alanlar, yakın kızılötesi bantta yüksek yansıtım değerine fakat kırmızı bantta düşük yansıtım değerine sahip olmasından dolayı, bitki örtüsü ile kaplı alanlar açık alanlara nazaran daha yüksek RVI değerlerine sahip olacaktır. Yaygın olarak kullanılan diğer bitki indeksleri de, *normalize edilmiş bitki indeksi* (NDVI) ve *transforme bitki indeksi* (TVI) dir (Sanderson, 2009).

Çalışmada IKONOS uydu görüntüsü için, ER Mapper programının formül editörü kullanılarak RVI, yine ER Mapper programında LANDSAT görüntüsü için geliştirilmiş hazır formül editörü kullanılarak NDVI ve TVI'den oluşan yeni veri grupları oluşturulmuştur (Şekil 4.2). IKONOS PAN-SHARPENED görüntüsü için ise, NDVI ve TVI görüntüsü oluşturulmuştur. Elde edilen farklı görüntülere *Histogram Kontrast Artımı* uygulanmıştır.

Oluşturulan bu oran görüntüleri, ayrı birer bant olarak kombine edilerek hem görüntü dilimlerinin oluşturulması hem de görüntüleri sınıflandırma işlemi sırasında kullanılmıştır. Ayrıca, bitki indeksleri görsel yorumlamada ayırt edilebilirliği artırmak içinde kullanılmıştır.



Şekil 4.2: Bant oranları formül editörü

4.1.3. Uydu Verilerinin Sınıflandırılması

Uydu verilerinin sınıflandırılmasında, piksel bazlı (piksel-based classification) sınıflandırmanın IKONOS gibi çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında, Malzeme ve Yöntem kısmında ayrıntılı bir şekilde açıklanan dezavantajlarından dolayı önemini kaybetmiş olduğu için bu çalışmada obje bazlı (object-based classification) sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde sınıflandırma, tek pikseller yerine görüntü dilimlerine dayalı olarak gerçekleştirilmektedir.

Uydu görüntülerinin obje bazlı yöntemine göre sınıflandırılması 7 aşamada gerçekleştirilmiştir;

- 1- Girdi (IKONOS uydu görüntüsü)
- 2- Çok çözünürlüklü görüntü dilimleme ve hiyerarşik görüntü objelerinin oluşturulması
- 3- Sınıf hiyerarşisinin oluşturulması
- 4- Seçilen örnek objelerin her bir sınıfa tanımlanması ve standart en yakın komşu yöntemi
- 5- Sınıflandırmada kullanılacak değişkenlerin tanımlanması
- 6- En iyi sonuçlar için adımların tekrar edilmesi
- 7- Son sınıflandırma

ErMapper programında çeşitli görüntü işleme teknikleri uygulanan IKONOS uydu görüntülerinin her bir bandı GEO.TIFF formatına export edilerek, Definiens programında obje bazlı sınıflandırma için hazır hale getirilmiştir.

4.1.3.1. Görüntü Dilimleme

Objeye bazlı sınıflandırma, ilk olarak anlamlı alanlar içindeki komşu piksellerin gruplanması şeklindeki bir görüntü dilimleme işlemi ile başlamaktadır. Çalışmada görüntü dilimleme işlemi, çok çözünürlüklü görüntü dilimleme algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Görüntü dilimlemede ilk adım, kullanılacak spektral bantların seçimi ve bunların işleme katılım düzeylerinin belirlenmesini içermektedir. Çalışmanın görüntü dilimleme işleminde, IKONOS uydu görüntülerinin 4 bandı (Mavi, Yeşil, Kırmızı ve Yakın Kızılötesi) ve bant oranıyla elde edilen NDVI bitki indeksi kullanılmış ve bu bantların işleme katılım oranı eşit düzeyde ağırlıklandırılmıştır.

Görüntü dilimleme işlemi, birbirleriyle ilişkili farklı parametrelerden oluşmaktadır. Bu işlem ile üretilen görüntü objelerinin ortalama büyüklüğünü tanımlayan ölçek parametresi ve bunun yanı sıra homojenlik kriterleri olan renk ve şekil kriterlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Görüntü dilimleme işlemi sırasında öncelikle;

- En uygun görüntü dilimleme ölçeği nedir?

- En uygun görüntü dilimleme parametreleri (şekil ve renk ağırlıklandırması) nelerdir?

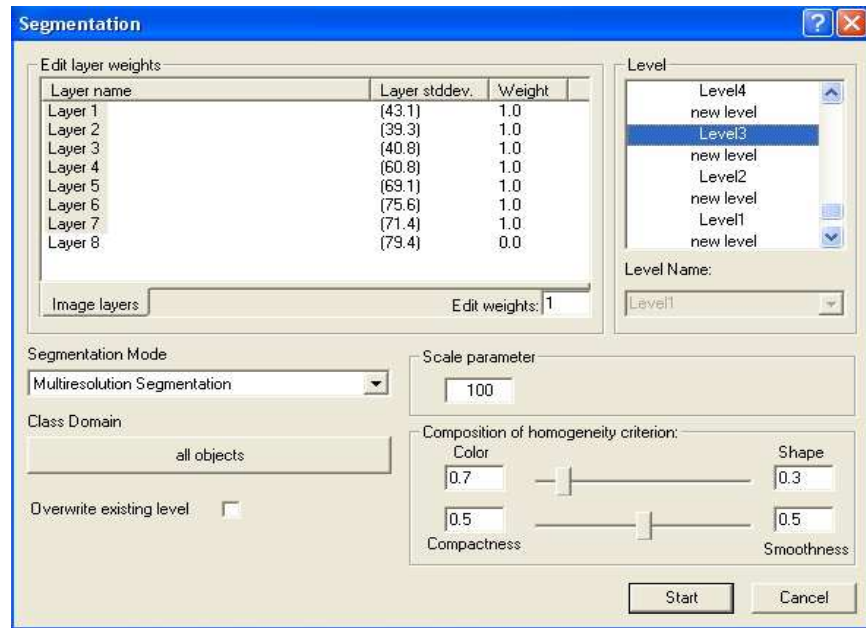
şeklindeki sorulara cevap aranmalıdır (Rego, 2003).

En uygun görüntü dilimleme parametreleri ortaya çıkarılacak objelerin özelliklerine bağlı olarak saptanabilir. Bu sorulara cevap verebilmek için öncelikle, görüntü dilimleme ile çıkarılacak olan görüntü objelerinin temsil edeceği hedef yeryüzü objelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yeryüzü objeleri amaca göre farklı sınıflar olarak tanımlanabilir. Bunun için, bu objeler çalışma amacına uygun bir sistem halinde arazi kullanım sınıfları olarak karakterize edilmelidir.

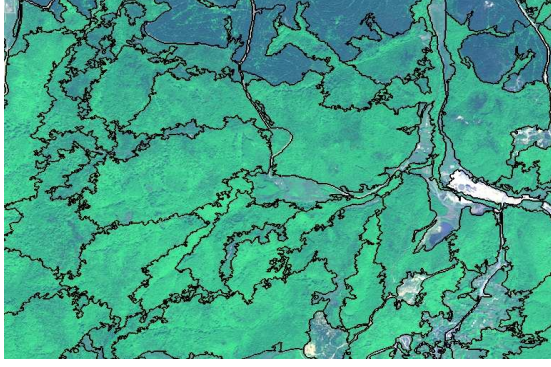
Çalışma alanındaki farklı arazi kullanım sınıfları içinden, hedef obje bir bütün olarak orman alanlarıdır. Yani çalışmanın genel ve en büyük ölçeğe sahip objesi orman alanlarıdır. Orman alanları da kendi içinde daha küçük ölçeklerde çok sayıdaki alt objelerden oluşmaktadır. Çalışmada orman alanları kendi içinde farklı iki seviyede daha küçük objelere indirgenmiş ve en küçük ölçekli homojen bölgelerin standart amenajman planlarının en küçük birimlerini oluşturan meşcere tiplerini temsil etmesine karar verilmiştir. Bu nedenle görüntü dilimleme işleminin, hiyerarşik görüntü objesi ağını oluşturmak için farklı ölçek parametreleri ve homojenlik kriterleri kullanılarak üç seviyede gerçekleştirilmesinin uygun olacağı düşünülmüştür.

Çalışmada obje meşcere ya da daha büyük orman parçaları ve diğer arazi kullanım şekilleri olduğu için uygun ölçek ve homojenlik kriterleri bunları ortaya çıkarabilecek şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla öncelikle, hiyerarşik görüntü dilimleme ağının birinci seviyesini oluşturacak olan, çalışma alanındaki meşcereleri temsil edecek görüntü dilimlerinin oluşturulabilmesi için gerekli olan en uygun ölçek parametresi ve homojenlik kriterleri belirlenmiştir (Şekil 4.4). Bu da görüntü dilimleme ile elde edilen görüntü objesinin kalitesinin yani hedef yersel objeleri temsil yeteneğinin görsel denetimi ile kabul edilebilir düzeye ulaşıncaya kadar gerçekleştirilen çok sayıda sistematik deneme yanılma işlemi ile belirlenmiştir. (Şekil 4.5). Bu amaçla IKONOS uydu görüntüleri için, farklı ölçek parametreleri kullanılarak 30'un üzerinde ayrı görüntü dilimleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Ormancılık pratiğinde geleneksel tekniklerde hava fotoğraflarının yorumlanarak meşcerelerin belirlenmesinde kullanılan görsel yorumlama teknikleri, çalışmada oluşturulan görüntü dilimlerinin uygunluğunun denetlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Meşcereler görüntü üzerinde ağaç türü, boy farklılıkları ve tepe yapısı gibi faktörler itibariyle farklılıklar göstermekte ve meşcere sınırları bu faktörlere bağlı olarak görsel olarak ayırt edilebilmektedir. Bu amaçla, uydu görüntülerinin RGB = 4,3,2 bant kombinasyonları (4-yakın kızılötesi bant 3- kırmızı bant 2- yeşil bant) kullanılarak görsel yorumlama için meşcere sınırları daha belirgin hale gelmiştir (Şekil 4.6).



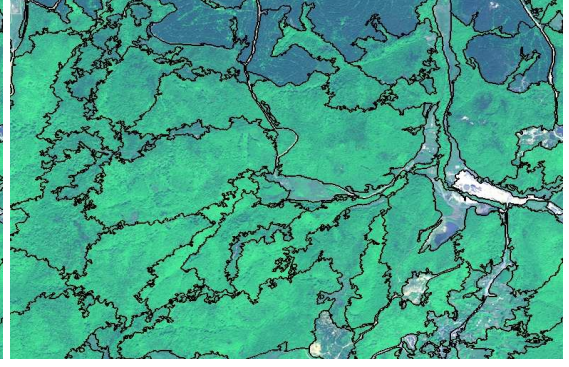
Şekil 4.4: En uygun ölçek parametreleri ve homojenlik kriterlerinin belirlenmesi



A: 175

B: 0.9

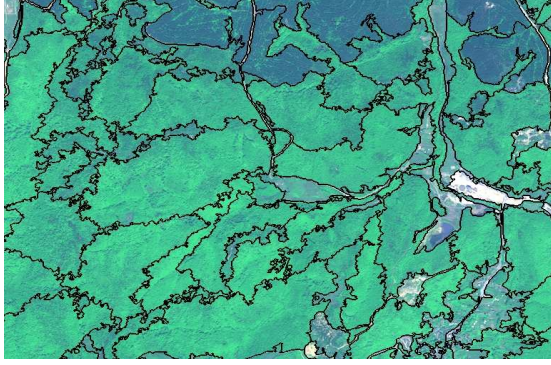
C: 0.1



A: 175

B: 0.1

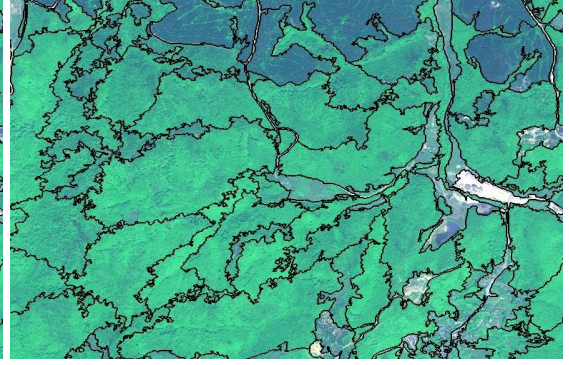
C: 0.9



A: 150

B: 0.9

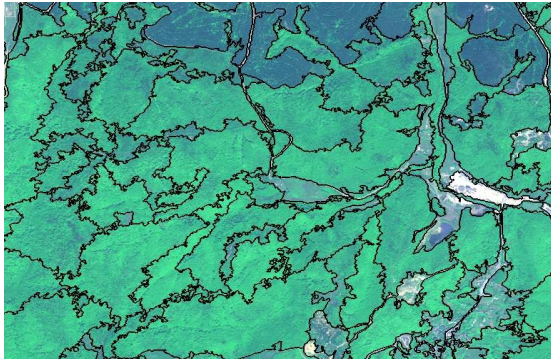
C: 0.1



A: 150

B: 0.1

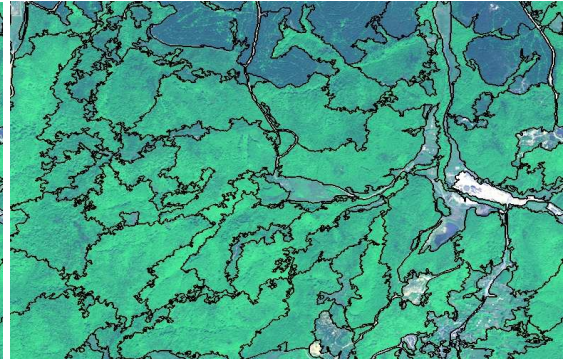
C: 0.9



A: 125

B: 0.8

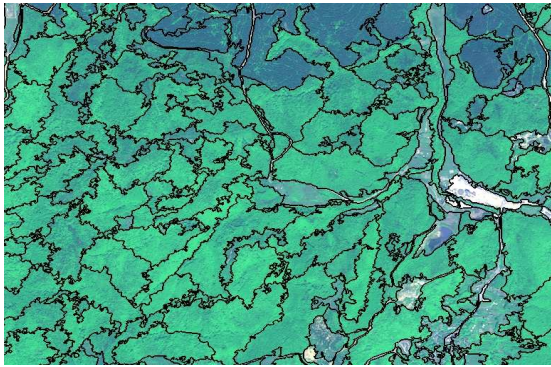
C: 0.2



A: 125

B: 0.2

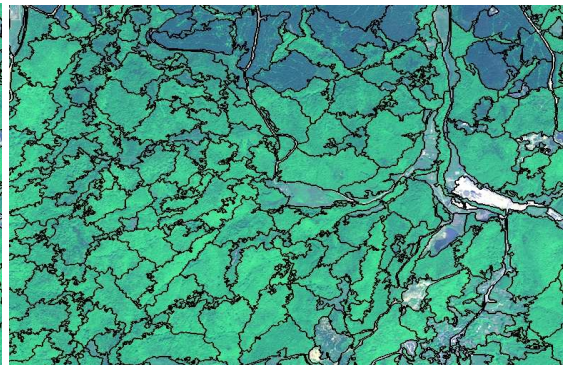
C: 0.8



A: 100

B: 0.8

C: 0.2

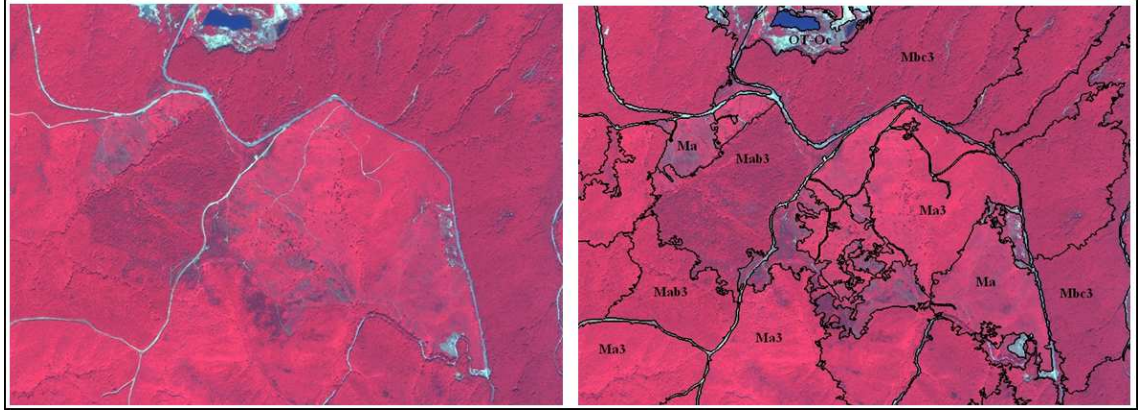


A: 100

B: 0.2

C: 0.8

Şekil 4.5: Farklı ölçek parametresi ve renk/şekil faktörlerine göre görüntü dilimleri (A: ölçek parametresi B: renk faktörü C: şekil faktörü)



(a)

(b)

Şekil 4.6: Oluşturulan görüntü dilimlerinin görsel olarak denetimi (a- uydu görüntüsü RGB=4,3,2 b- görüntü dilimleri ve meşcere tipleri)

IKONOS ve IKONOS PAN-SHARPENED görüntülerine farklı mekansal çözünürlüklerinden dolayı ayrı olarak görüntü dilimleme işlemi uygulanmıştır ve görüntü dilimleme parametreleri görüntüler arasında farklılıklar göstermektedir. Her iki görüntü için kararlaştırılan en uygun ölçek parametreleri ve homojenlik kriterleri Tablo 4.1’ de verilmiştir.

Tablo 4.1: Kararlaştırılan ölçek parametreleri ve homojenlik kriterleri

Uydu Görüntüsü	Seviye	Ölçek Parametresi	Homojenlik Kriterleri	
			Renk/Şekil	Yumuşaklık/Bütünlük
Ikonos	I	100	0.7/0.3	0.5/0.5
		125	0.8/0.2	0.5/0.5
	II	125	0.8/0.2	0.5/0.5
		150	0.9/0.1	0.5/0.5
	III	150	0.9/0.1	0.5/0.5
		175	0.9/0.1	0.5/0.5
Ikonos Pan-Sharpended	I	200	0.8/0.2	0.5/0.5
	II	250	0.8/0.2	0.5/0.5
	III	300	0.8/0.2	0.5/0.5

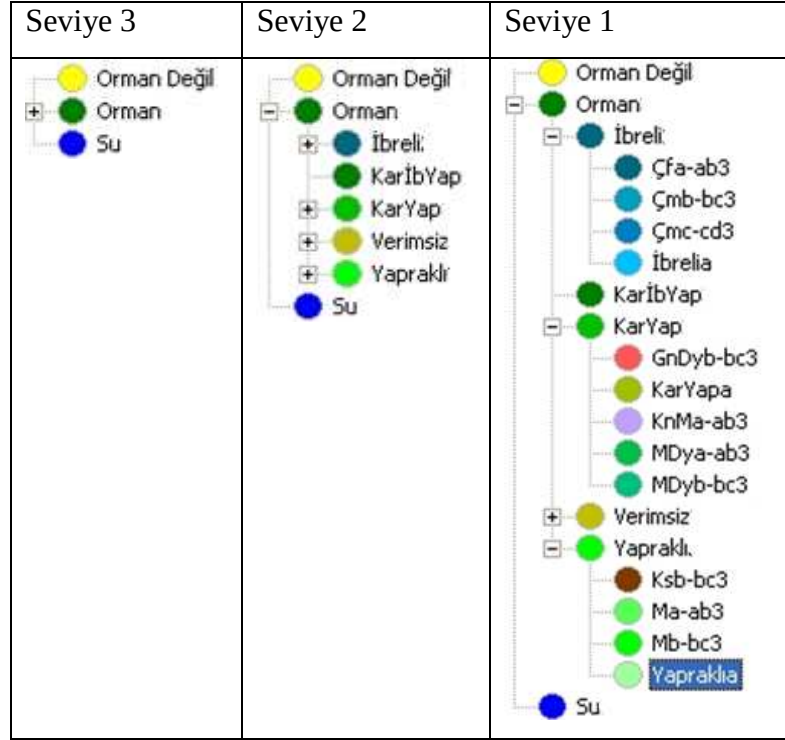
4.1.3.2. Uydu Görüntülerinin Standart En Yakın Komşu Yöntemine Göre Sınıflandırılması

Obje bazlı sınıflandırmada görüntü dilimleme aşamasını görüntülerin sınıflandırılması işlemi takip etmektedir. Obje bazlı sınıflandırma, standart en yakın komşu ve bulanık

üyelik ilişkisi olmak üzere iki farklı sınıflandırma yöntemi ile gerçekleştirilebilmektedir. Ayrılacak sınıf sayısının çok fazla olduğu durumlarda, çok sayıda obje özellikleri kullanımı gerekliliğinden dolayı, üyelik ilişkisi fonksiyonu yaklaşımının iyi çalışmadığı ve çok boyutlu özellik uzayında en yakın komşu yaklaşımı kullanılarak sınıflandırmanın çok daha iyi yürütülebildiği belirtilmektedir (Maxwell, 2005). Meşcere düzeyinde gerçekleştirilecek sınıflandırma işleminde tanımlanmış çok sayıda alt sınıf mevcut olması nedeniyle, çalışmada uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında kullanıcı için daha hızlı ve basitleştirilmiş bir sınıflandırma süreci sağlayan standart en yakın komşu yöntemi tercih edilmiştir.

Çalışmada kullanılan sınıflandırma sistemi, bir parçanın ait olduğu bütünün ve onun alt bölümlerinin belli bir coğrafi koordinat sisteminde hiyerarşik olarak tanımlanabilmesi düşüncesini içermektedir. Bu amaçla sınıflandırma süreci, farklı ölçek parametrelerine göre 3 farklı seviyede elde edilen görüntü dilimlerinin, 3 genel sınıfa ayrılması ile başlayan ve amenajman planlarındaki meşcere tiplerine karşılık gelen alt sınıflar ile sonlanan genelden özele doğru bir hiyerarşik düzeni içermektedir.

İlk aşamada uydu görüntüleri, orman-orman değil-su olmak üzere çalışma alanını 3 adet genel arazi kullanım sınıfına ayıracak şekilde sınıflandırılmıştır. İlk aşamada orman sınıfı olarak ayrılan alanlar, ikinci aşamada Yapraklı-İbrelili-Karışık Yapraklı-Verimsiz (orman içi açıklıklar ve kapalılığın %10'un altında olduğu bozuk orman alanları) olarak 5 sınıfa ayrılmıştır. İkinci seviyede 5 sınıfa ayrılmış orman alanları üçüncü aşamada, final sınıflandırma olarak her bir sınıf kendi içinde ağaç türü, gelişim çağı ve kapalılık kıstasları itibarıyla farklılık gösteren ve meşcere olarak isimlendirilen alt sınıflara ayrılmıştır (Şekil 4.7).

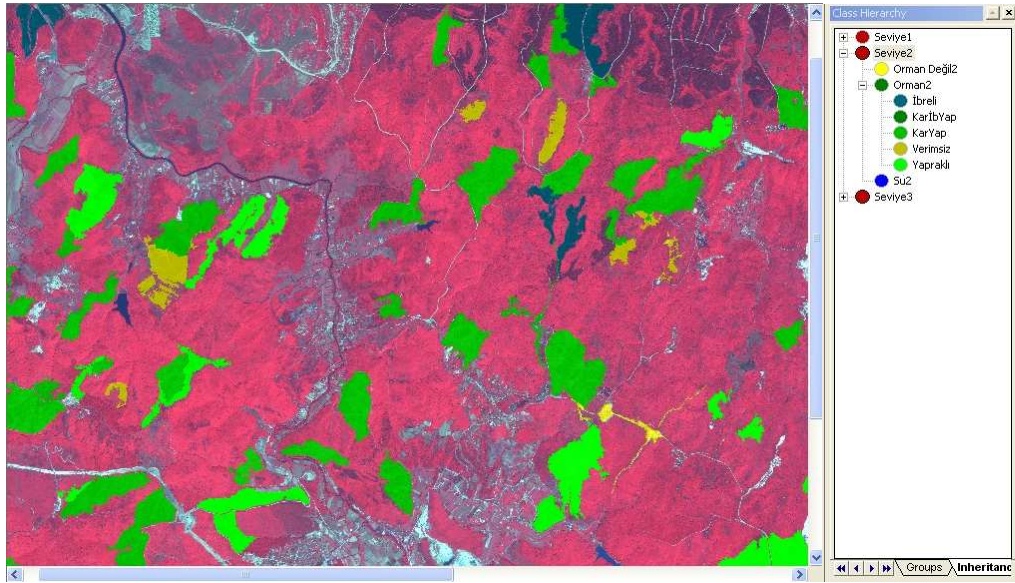


Şekil 4.7: Hiyerarşik sınıflandırma sistemi

Üç adet hiyerarşik seviyede elde edilen sınıflardan, bir önceki aşamada oluşturulan sınıflar sonraki aşamalarda elde edilen sınıfları kapsamaktadır. Bu teknik, farklı görüntü dilimleme seviyelerindeki sınıflara bağlantı kurulma imkanı sağlayan hiyerarşik bir iş ağının oluşturulmasına olanak sağlamaktadır. Bu hiyerarşik sınıflandırma işleminde genel prosedür, öncelikle çıkarımı daha kolay olan sınıfları tanımlamak, sonra da diğer sınıfları oluşturulurken ek bilgi olarak bunlardan faydalanılmasıdır. Arazi kullanım tiplerinin farklı seviyelerde hiyerarşik olarak sınıflandırılması çalışmalarının çoğu bu süreci benimsemektedir (Rego et al., 2007). Hiyerarşik sınıflandırmanın gerçekleştirildiği her bir seviye, kullanılan sınıflar, alt sınıfların alanları ve sınıflandırma için kullanılan seçeneklerin sayısı gibi faktörler itibarıyla birbirinden farklılıklar göstermektedir. Sınıf sayısı ve sınıflandırma için kullanılan seçeneklerin sayısı artarken, alt sınıfların alanları azalmaktadır.

İlk aşamada sınıflandırma işlemi, ölçek parametresi IKONOS uydu görüntüsünde 150 ve 175, IKONOS PAN-SHARPENED görüntüsünde 300 kullanılarak 3. seviyede gerçekleştirilen görüntü dilimleme işlemi ile elde edilen görüntü objelerinin sınıflandırılmasını içermektedir. “orman - orman değil - su” olmak üzere 3 adet genel sınıf içinde tanımlanması amaçlanan birinci aşamada sınıflandırma işlemi, IKONOS

uydu görüntülerinin 5 bandı (kırmızı, yeşil, mavi, yakın kızıl ötesi ve NDVI) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Standart en yakın komşu yöntemi ile sınıflandırma, yaygın olarak kullanılan geleneksel piksel bazlı yaklaşımın kontrollü sınıflandırma tekniğine benzerlik göstermektedir. Belirlenen sınıfları temsil eden “örnek objelerin” tanımlanması gerekmektedir. Birinci seviyedeki sınıflandırma için gerekli örnek objeler, meşcere haritalarından yararlanılarak seçilmiştir. Seçilen yeterli sayıdaki örnek objeler ait oldukları sınıflara tanımlanmıştır (Şekil 4.8).

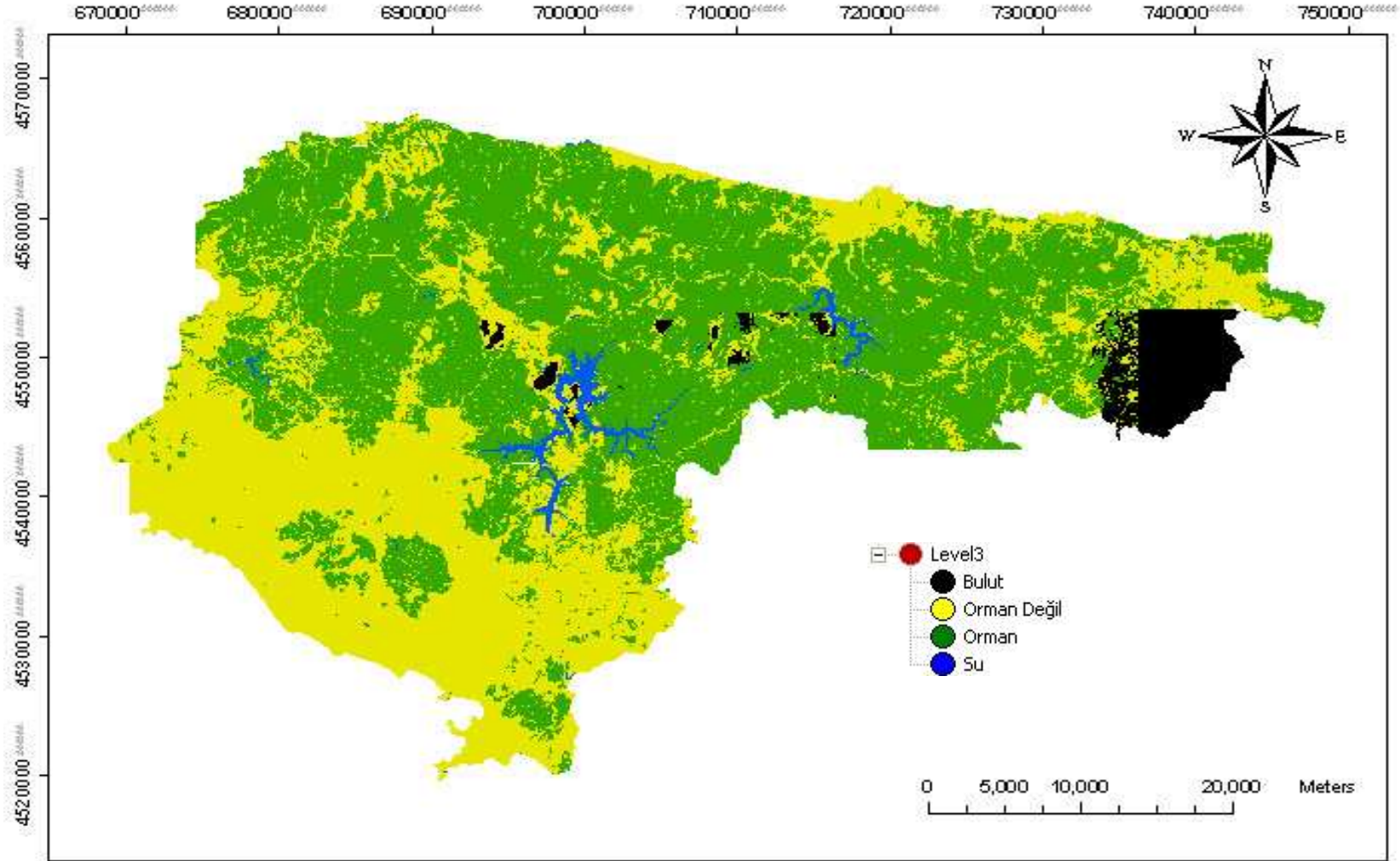


Şekil 4.8: Örnek objelerin sınıflara tanımlanması

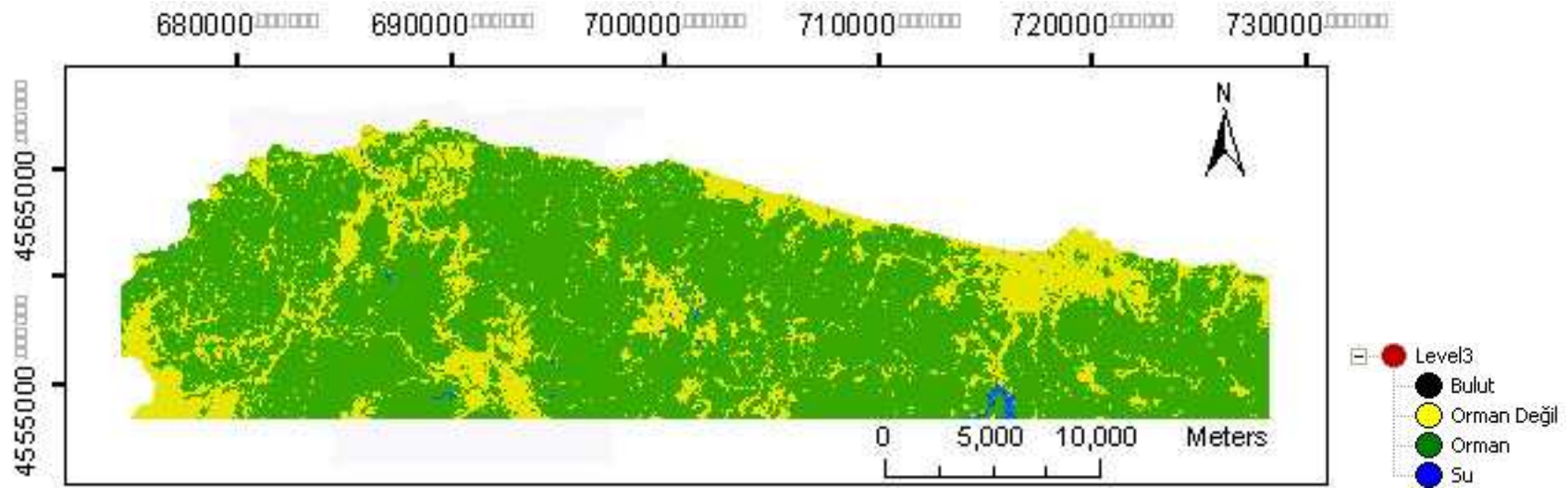
Sınıflandırma işlemine başlamadan önce, görüntü objelerinin yansıtım değerleri, şekil ve doku karakteristiklerine bağlı olarak her bir sınıf için, sınıflandırmada kullanılacak değişkenlerin belirlenmesi gerekir. Sınıflandırma sırasında, spektral, şekil ve doku parametrelerinin sahip olduğu bir çok değişkenin kullanılması sınıflandırma sonucu üzerinde olumlu etki yapacak olmasına karşın, burada belirlenen sınıfların üretilmesini sağlayacak bu değişkenlerin sınıflandırıcının özellik uzayında seçilmesi, her bir sınıfa atanması ve sınıflandırma işlemi sırasında harcanan zaman oldukça önemli olmaktadır. En yakın komşu yöntemi oldukça hızlı bir sınıflandırma imkanı sunuyor olsa da, seçilecek bu değişkenlerin özelliklerine ve sayılarına bağlı olarak sınıflandırma süresi kısa ya da çok uzun olabilmektedir. Hemphill (2004) tarafından yapılan çalışmada, doku parametresine ait sadece “texture after haralick” değişkeni kullanılarak gerçekleştirilen basit bir sınıflandırmada, sınıflandırma süresinin bilgisayarlarında özelliklerine bağlı olarak birkaç gün aldığı belirtilmiştir.

Genel olarak orman-orman değil ve su sınıflarının spektral özelliklerinin birbirinden çok farklı olduğu ve sınıflandırmanın kolay olduğu bilinmektedir. Bu nedenle sınıflandırmada değişken olarak, IKONOS görüntülerinin 4 bandı ve NDVI oran görüntüsünün ortalama yansıtım değerleri kullanılmıştır. Yani en yakın komşu yönteminin özellik uzayı sadece belirtilen bantların ortalama yansıtım değeri değişkeninden oluşturulmuştur. Oluşturulan standart en yakın komşu sınıflandırıcısının özellik uzayı, her bir sınıfa atandıktan sonra ilk sınıflandırma sonucu elde edilmiştir.

Elde edilen ilk sınıflandırma sonuçları değerlendirilerek hatalı sınıflandırılmış objeler, doğru sınıflara manuel olarak tanımlanarak sınıflandırma işlemi tekrarlanmıştır. Görüntüyü yeniden sınıflandırma kararı, görsel yorumlara dayalı olarak verilmiştir. İlk hiyerarşik seviyede, bu manuel tanımlama ve yeniden sınıflandırma, özellikle verimsiz ve orman içi açıklıklarla ziraat alanları arasında yaşanan hatalı sınıflandırmaların mümkün olduğunca giderilmesi için kullanılmıştır. Birkaç kez tekrarlanan yeniden sınıflandırma işleminden sonra birinci seviye ilişkin sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10)

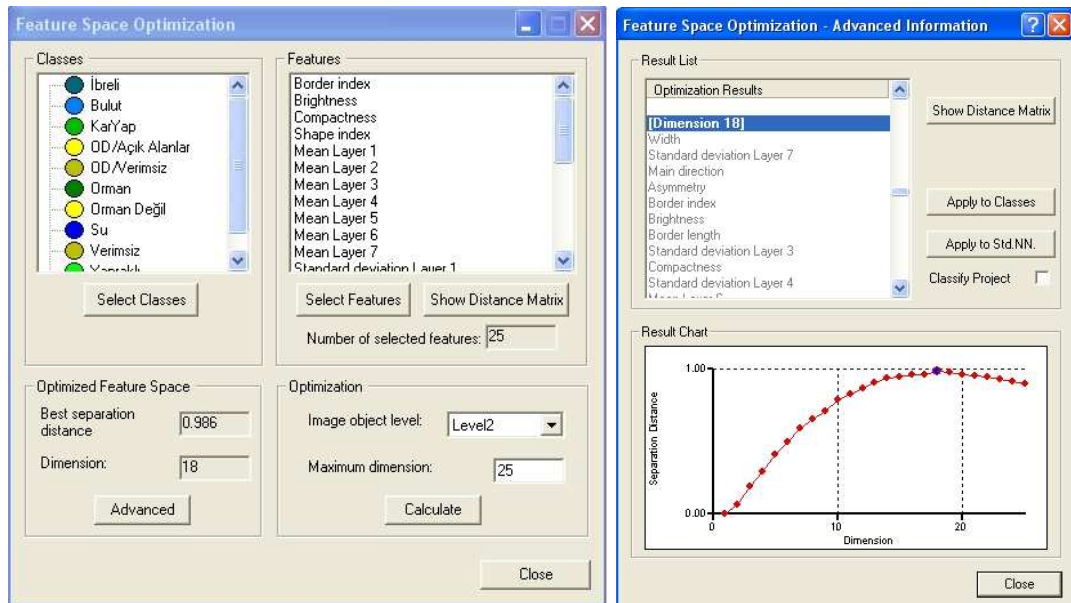


Şekil 4.9: Sınıflandırılmış uydu görüntüsü (IKONOS, Seviye III)



Şekil 4.10: Sınıflandırılmış uydu görüntüsü (IKONOS PAN-SHARPENED, Seviye III)

İkinci aşamada sınıflandırma işlemi, ölçek parametreleri IKONOS uydu görüntüsünde 125 ve 150, IKONOS PAN-SHARPENED görüntüsünde 250 değerleri girilerek dilimlenen görüntülere dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle ilk aşamada gerçekleştirilen sınıflandırma sonucu ayrılan *Orman*, *Orman Değil* ve *Su* sınıfları (ana sınıflar), seviyeler arasında oluşturulan hiyerarşik ağ yapısı ile üçüncü seviyeden ikinci seviyeye doğrudan aktarılmıştır. Orman alanları ikinci seviyede *Yapraklı*, *İbrelili*, *Karışık Yapraklı*, *Karışık İbrelili-Yapraklı*, *Verimsiz* olmak üzere yine *en yakın komşuluk yöntemi* ile daha homojen 5 adet alt sınıfa bölünmüştür. Orman Değil sınıfı ise, orman alanları içinden orman değil olarak yanlış ayrılan görüntü objelerini doğru sınıflarına atamak için *OD/Açık Alanlar* ve *OD/Verimsiz* olmak üzere 2 sınıfa bölünmüştür. Böylece ikinci seviyede toplam 8 adet sınıf oluşturulmuştur. Sınıflandırma işlemini başlatmadan önce, yine oluşturulan her bir sınıf için örnek objeler tanımlanmıştır. Daha sonra da, en yakın komşuluk yönteminin özellik uzayını temsil edecek değişkenler belirlenmiştir. İkinci seviyedeki sınıflandırma işlemi için yansıtım değerleri ve şekil parametrelerine ilişkin değişkenler kullanılmıştır. Toplam 74 adet olan bu değişkenlerden sınıflandırmada kullanılacak en uygun kombinasyonu, Definiens programının ilgili sınıflandırma seviyesi için özellik uzayının optimizasyonu aracı kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Sınıflandırmada kullanılacak değişkenlerin kararlaştırılması

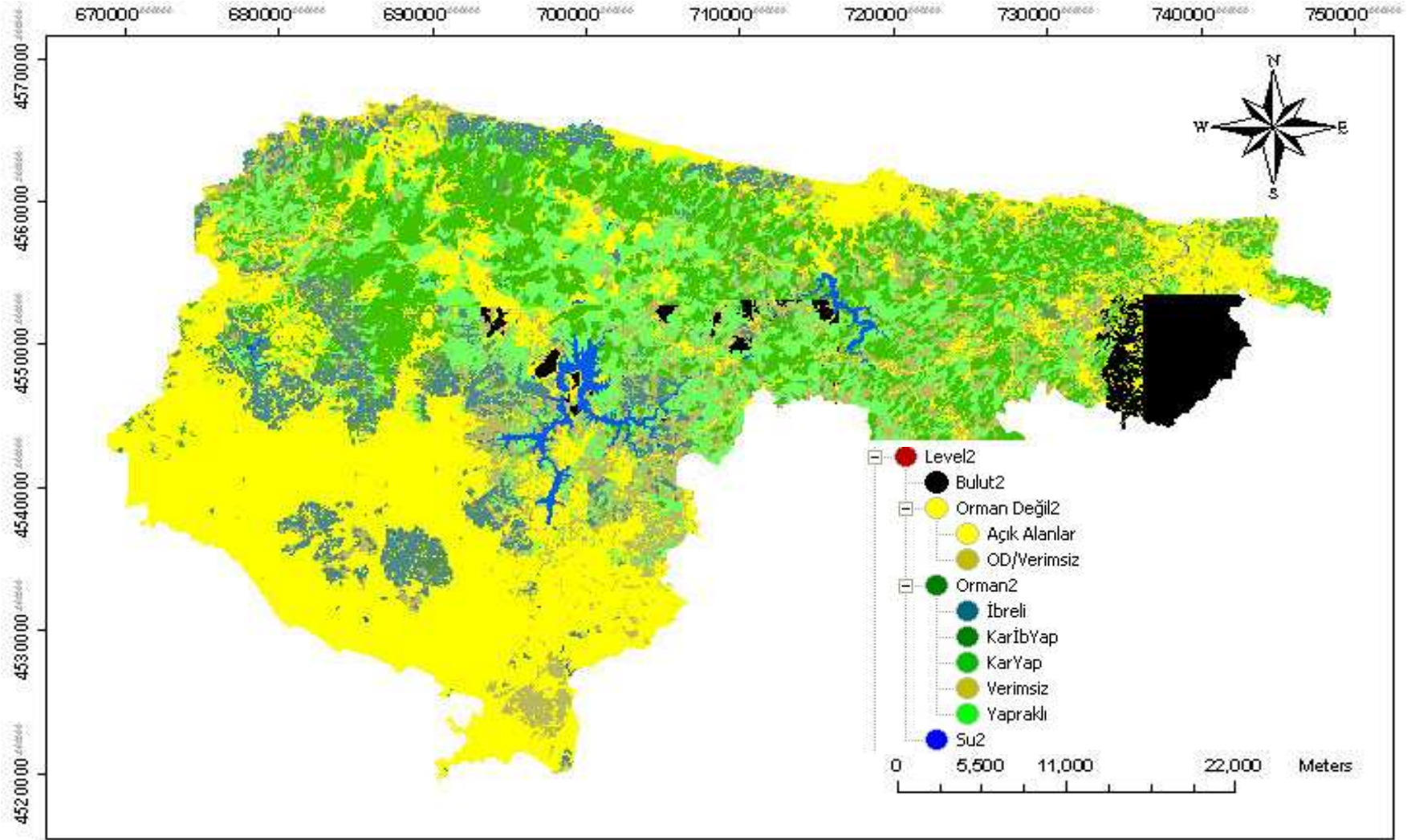
Belirlenen değişkenlerle en yakın komşuluk yönteminin özellik uzayı yeniden düzenlenerek, oluşturulan sınıflandırma algoritması her bir sınıfa atandıktan sonra ikinci seviye için ilk sınıflandırma sonuçları elde edilmiştir. Sınıflandırma sonuçlarının değerlendirilerek hatalı sınıflandırılmış bazı objelerin doğru sınıflara tanımlanması ve yeniden sınıflandırma şeklinde gerçekleştirilen birkaç tekrarlamaadan sonra final sınıflandırma sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 4.12, Şekil 4.13).

Birinci seviyede ölçek parametreleri 100 ve 125 ile 200 değerleri kullanılarak dilimlenen görüntülerde, *Yapraklı*, *İbrelî*, *Karışık Yapraklı*, *Karışık İbrelî-Yapraklı*, *Verimsiz*, *OD/Açık Alanlar* ve *OD/Verimsiz* sınıfları hiyerarşik sınıflandırma sisteminde önceki seviyelerde üretilen ana sınıflardan doğrudan alınmıştır. Yapraklı, İbrelî, Karışık Yapraklı, Karışık İbrelî-Yapraklı sınıflarını üçüncü seviyede her biri çalışma alanında mevcut meşcere tiplerine göre bir alt sınıfa ayrılmıştır. Ancak çalışma alanında Gnab3, Dşc3, Çsb3, Çsbc2, Çsbc3, Çsc3, Gbc3, MÇzbc3, MÇkb3, MÇfb3 gibi çok küçük alanları kaplayan meşcereler, yeteri kadar yer kontrol noktaları ve örnek objeler ile temsil edilemeyecekleri için sınıflandırmada dikkate alınmamıştır. Verimsiz ve OD/Verimsiz sınıfları ile *a0* (yeni kesim yapılmış ve henüz gençliğin gelmediği alanlar), *OT* (orman içi açıklıklar), *BDy* (Kapalılığın %10'dan az olduğu yapraklı türler ve maki elemanları ile kaplı alanlar), *BDi* (Kapalılığın %10'dan az olduğu ibrelî meşcereler) olmak üzere 4 adet alt sınıfa ayrılmıştır. Sınıflandırma için gerekli örnek objeler, arazi çalışmaları sırasında her bir sınıfın geniş alanlarda homojen olarak yayılış yaptığı alanlardan seçilen yer kontrol noktalarından ve meşcere haritalarından yararlanılarak seçilmiştir. Her bir sınıf için seçilen örnek objelerin sayısı, çalışma alanında kapladığı alan büyüklükleri oranında fazla olmuştur. Örnek objeler, ağaç türü, gelişim çağı ve kapalılık kriterleri itibarıyla birbirlerinden farklı olan alanlardan seçilmiştir. İlk iki seviyede açıklanan işlemler üçüncü seviyede de gerçekleştirilerek, yine en yakın komşuluk yöntemi kullanılarak sınıflandırma işlemi tamamlanmıştır (Şekil 4.14, Şekil 4.15)

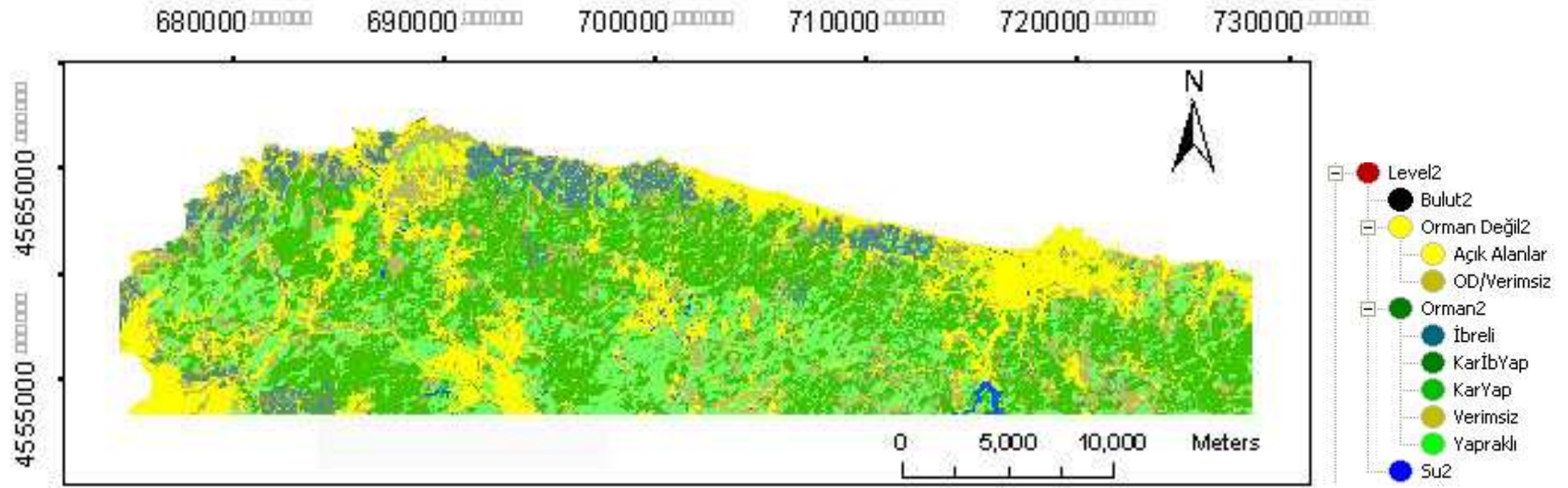
Çalışmada IKONOS uydu verilerinin amenajman planlarının düzenlenmesinde meşcere haritalarının hazırlanması amacıyla değerlendirilmesinin yanı sıra ulusal orman envanteri gibi büyük ölçekli alanlarda orman örtüsünün sınıflandırılması amacıyla kullanılabilme olanakları da değerlendirilmiştir.

UOE gibi geniş alanları kapsayan çalışmalarda uydu verilerinden yararlanılması durumunda, çalışma amacına bağlı olarak oluşturulacak sınıflara karar verilirken kabul edilebilir doğrulukta sınıfların elde edilebildiği ölçüde ayrıntıya gidilebilir. Bu durum ayrılacak sınıfların belirlenmesinde anahtar konumundadır.

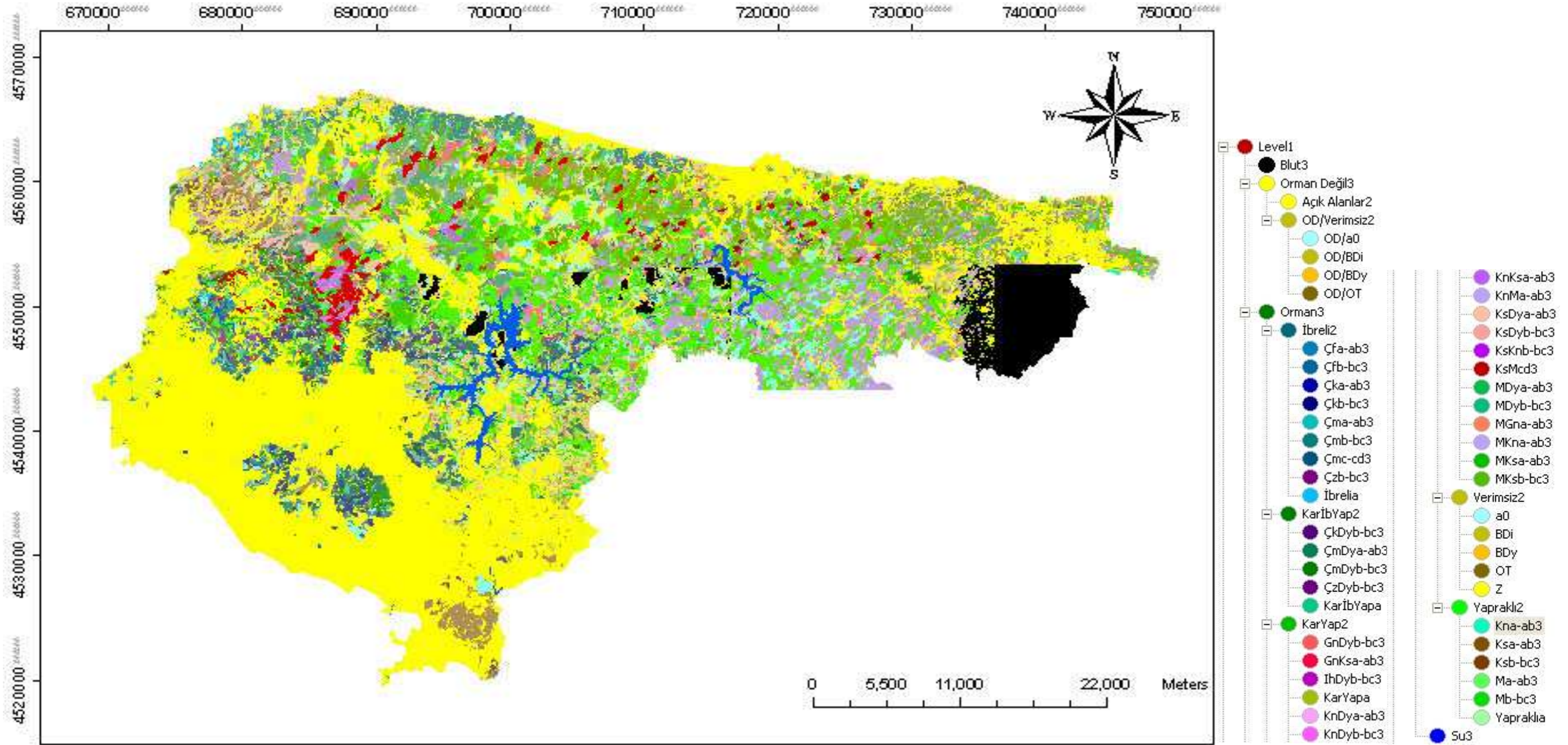
Çalışmada, yukarıda belirtilen duruma göre orman örtüsü ile kaplı alanların, *Yapraklı, İbrelî, Karışık Yapraklı, Karışık İbrelî Yapraklı ve Verimsiz* olmak üzere 5 adet genel sınıfa ayrılmasına bunlardan da ilk dördünün kendi içlerinde Genç (a ve ab çağındaki yapraklı türlerden oluşan meşcereler), Orta Yaşlı (b ve bc çağındaki yapraklı türlerde oluşan meşcereler) ve Yaşlı (c ve cd çağındaki yapraklı türlerden oluşan meşcereler) olmak üzere 3 alt sınıfa ayrılmasına karar verilmiştir. Ayrıca henüz kapalılığın oluşmadığı genç meşcereler de ayrı olarak ortak bir sınıf (a) altında toplanmıştır. Böylece belirtilen amaç için orman örtüsünün toplam 14 sınıfa ayrılmasının uygun olacağı kararlaştırılmıştır. Buna ilişkin sınıflandırma sonuçları Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 de verilmiştir.



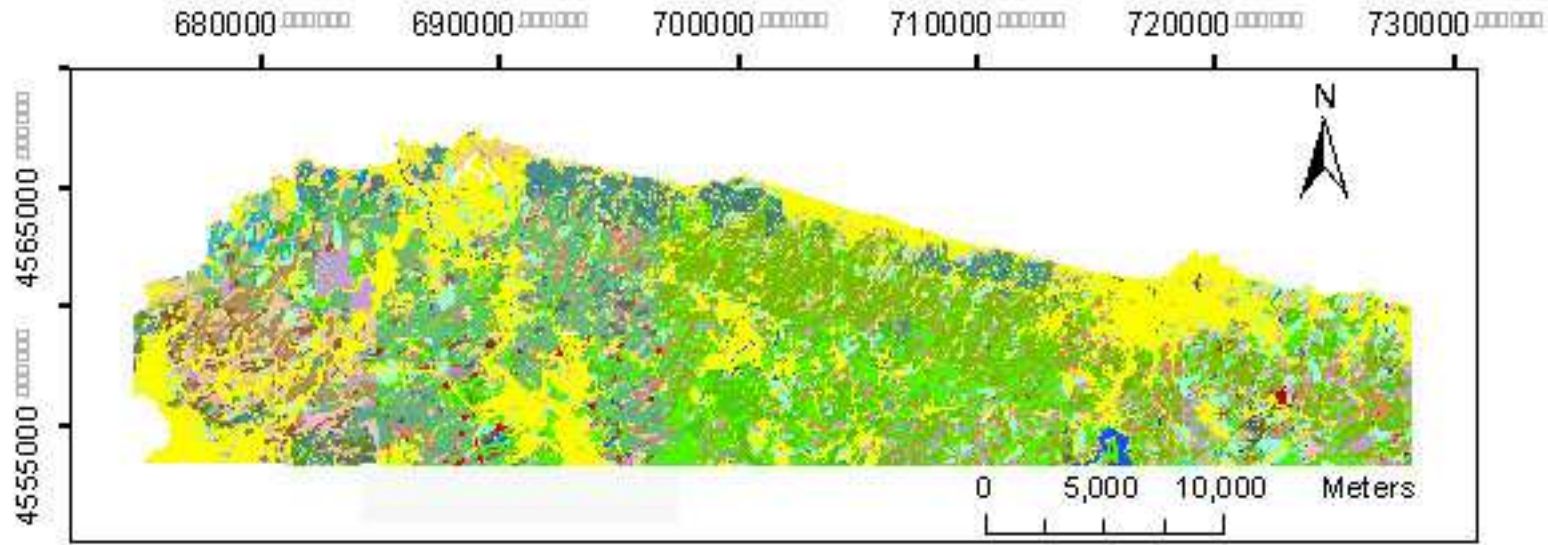
Şekil 4.12: Sınıflandırılmış uydu görüntüsü (IKONOS, Seviye II)



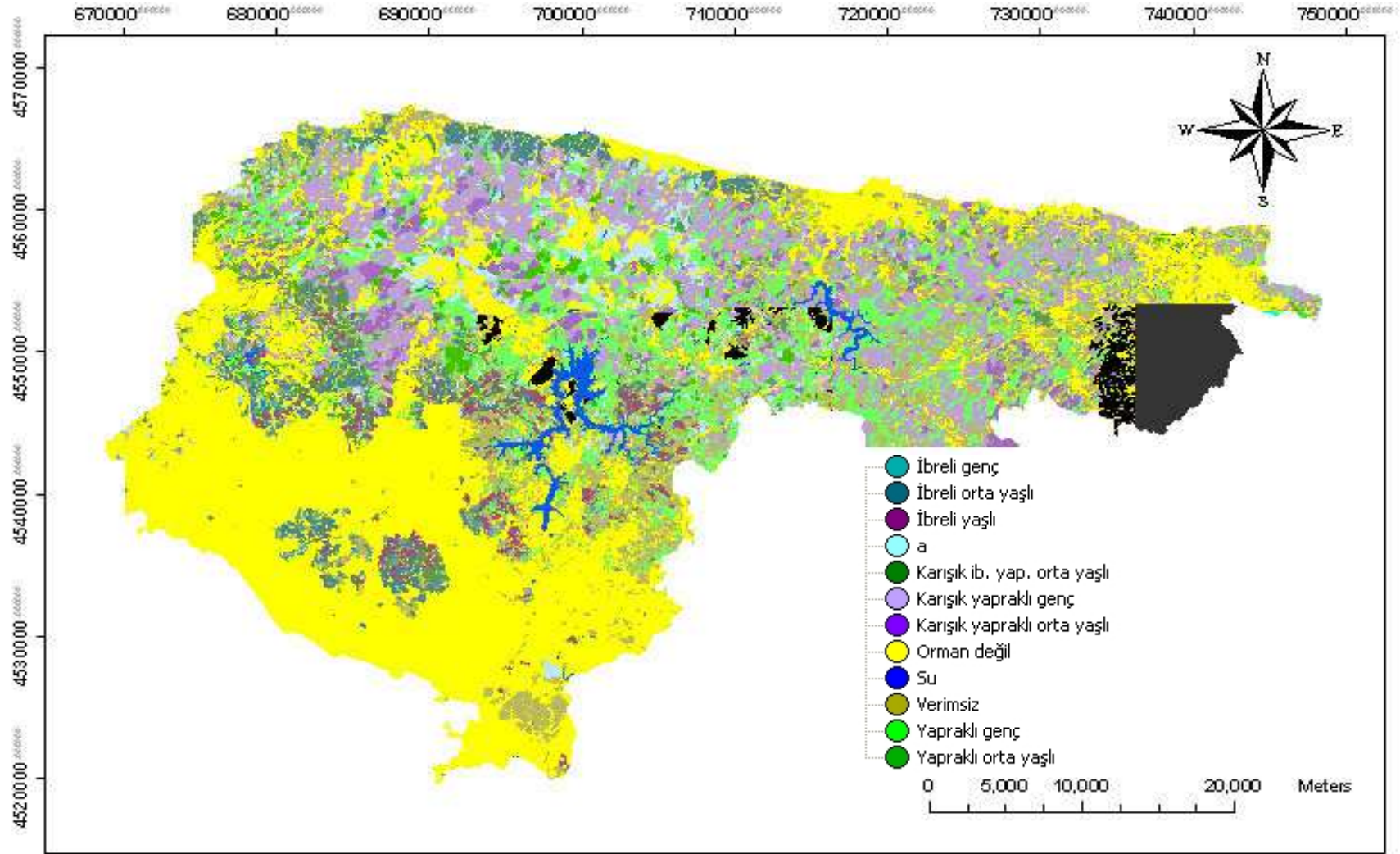
Şekil 4.13: Sınıflandırılmış uydu görüntüsü (IKONOS PAN-SHARPENED, Seviye II)



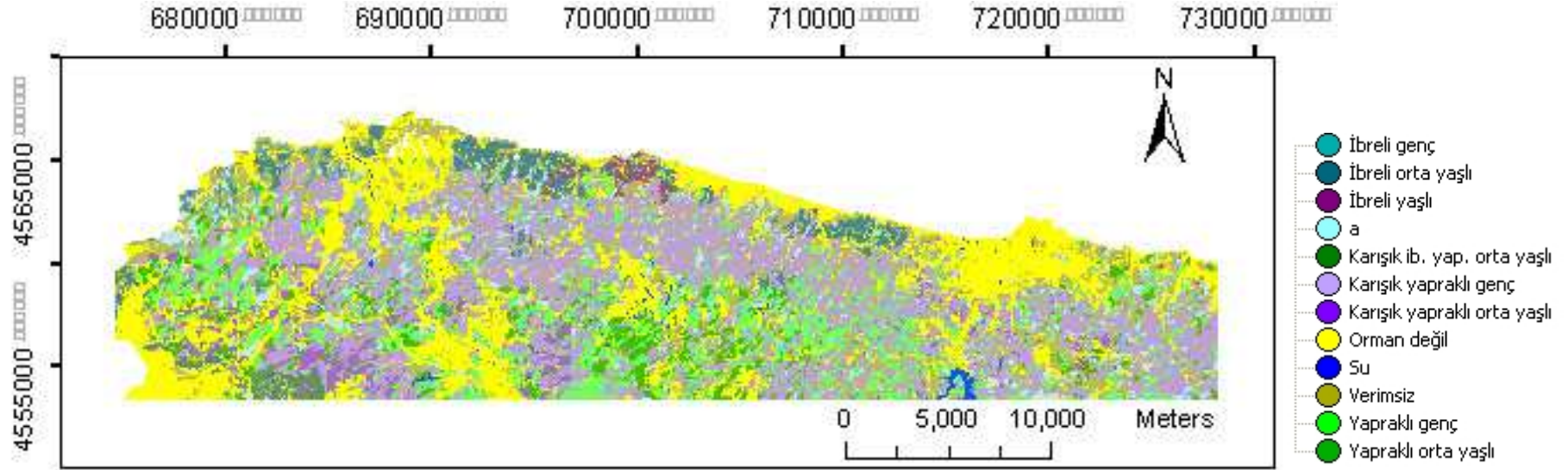
Şekil 4.14: Sınıflandırılmış uydu görüntüsü (IKONOS, Seviye I)



Şekil 4.15: Sınıflandırılmış uydu görüntüsü (IKONOS PAN-SHARPENED, Seviye I)



Şekil 4.16: UOE amacıyla sınıflandırılmış uydu görüntüsü (IKONOS)



Şekil 4.17: UOE amacıyla sınıflandırılmış uydu görüntüsü (IKONOS PAN-SHARPENED)

4.1.3.3.Sınıflandırma Sonuçlarının Doğruluk Değerlendirmesi

Sınıflandırılmış uydu görüntüsünün gerçeği yansıtıp yansıtmadığı hakkında bir karara varabilmek amacıyla yapılan doğruluk değerlendirmesinde, referans veriler olarak meşcere tipleri haritası ve arazi çalışmaları sırasında alınan denetim noktalarından faydalanılmıştır. Bu denetim noktalarından yararlanılarak bir hata matrisi oluşturulmuştur (Tablo 4.2, Tablo 4.3, Tablo 4.4, Tablo 4.5). Sınıflandırılmış uydu görüntüsüne ilişkin, Toplam Doğruluk (TD), Kappa Katsayısı (KIA), Kullanıcı Doğruluğu (KD) ve Üretici Doğruluğu (ÜD) hesaplanarak sınıflandırma doğruluğu denetlenmiştir (Tablo 4.6, Tablo 4.7, Tablo 4.8, Tablo 4.9) .

ÜD, seçilen test noktalarından bir sınıfta doğru olarak sınıflandırılmış noktaların referans veriler üzerinde o sınıfa düşen toplam nokta sayısına oranıdır. ÜD, sınıflandırılan görüntüde, her sınıfa ayrılan alanların % olarak ne kadarının doğru sınıfa ait olduğunu göstermektedir.

KD, seçilen test noktalarından bir sınıfta doğru olarak sınıflandırılmış noktaların sınıflandırılmış uydu görüntüsü üzerinde o sınıfa düşen toplam nokta sayısına oranıdır. Gerçek arazi kullanım durumuna göre, her bir sınıfın sınıflandırma başarısını göstermektedir.

TD, her bir sınıfta doğru olarak sınıflandırılmış noktaların toplamının, toplam test noktalarına oranıdır. KIA ise, malzeme ve yöntem bölümünde verilen Formül 3.7' den yararlanılarak hesaplanmıştır.

Uydu verisinin sınıflandırma sonucunun doğru ve güvenilir kabul edilebilmesi için, sınıflandırma doğruluğunun %80 ve üzerinde olması gerektiği belirtilmektedir (Köse ve diğ., 2002).

Tablo 4.2: Sınıflandırılmış uydu görüntüsünün doğruluk değerlendirmesi (IKONOS, Seviye I)

İKONOS SINIFLAN- DIRMA	REFERANS VERİLER																											Sütun T.		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	R	S	T	U	V	Y	Z	AA	AB	AC	AD		AE	AF
A	38	3	2			1	4			1	6														1					56
B	2	13																												15
C			11	1					1			1																		14
D	1		1	3			1				1																			7
E	2				4	1	1										1								1			1		11
F	2	1	1			10	1			1	1			3																20
G	3					8	16		2	2	8	1					1								2					43
H	1					1	3	2																						7
I						2		1	2																					5
J						1	2			4	2				1										1					11
K	2						4			2	11	2	1		1		1								2					26
L						1					1	4																		6
M	1												2																	3
N						1					1			2																4
O		2	1			1	1								7															12
P													1		1	2														4
R					2		2										4											1		9
S																		4			1		1							6
T																			8	3			1							12
U																		1	2	8		3				1				15
V																				1	2	1								4
Y																			1	2	1	5	1							10

Z																					2	4			1				7
AA																							3	2		1	3		9
AB	1				2		3				1						1							8	1	2	3		22
AC																				2		1			2		2		7
AD																								1	2		3	3	9
AE					1																			3	2		3	32	41
AF																												5	5
Satır Toplamı	53	19	16	4	9	27	38	3	5	10	32	8	4	5	10	2	8	5	11	16	4	12	7	7	21	5	9	45	5

A=Ma-ab3, B=Mb-bc3, C=Ksa-ab3, D=Ksb-bc3, E=Yapraklıa, F=MDya-ab3, G=GnKsa-ab3, H=GnKsa-ab3 a I=KsDya-ab3, J=MGna-ab3, K=MKna-ab3, L=KnMa-ab3, M=KnDya-ab3, N=KsKna-ab3, O=MDyb-bc3, P=MKsb-bc3, R=Karışık Yapraklıa, S=Çma-ab3, T=Çmc-cd3, U=Çmb-bc3, V=Çka-ab3, Y=Çkb-bc3, Z=ÇkMb-bc3, AA=a0, AB=BDy, AC=BDi, AD=OT, AE=Orman Değil, AF=Su

Tablo4.3: Sınıflandırılmış uydu görüntüsünün doğruluk değerlendirmesi (IKONOS PAN-SHARPENED, Seviye I)

IKONOS (PAN-SHARPENED) SINIFLANDIRMA	REFERANS VERİLER																										Sütun T.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	O	R	S	T	U	V	Y	Z	AA	AB	AD	AE	AF	
A	33	3	2			2	2		1	1	2			1									1				48
B	3	10					1							1													15
C			9						1			1															11
D	1		1	3																							5
E	1				3										1								1		1		7
F	2		1			13	3		2	1	1			1													24
G	2					5	14			2	2				1												26
H						2		2																			4
I						2		1	3				1														7
J	2						3			4	1												1				11
K	1						3			1	7												2				14
L						1					2	2															5
M						1							2	1													4
O		1	1									1		10													13
R					2		2				1				3										1		9
S																4			1	1							6
T																	7	2									9
U																1	2	7		2							12
V																1		1	3								5
Y																		3		4	2						9
Z																				1	3						4
AA																						2		1	3		6
AB					1		1				1				1				1				7	2	2		16
AD																						1	2	3	2		8
AE																						2	2	3	22		29
AF																										3	3
Satır Toplamı	45	14	14	3	6	26	29	3	7	9	17	4	3	14	6	6	9	13	5	8	5	5	16	9	31	3	

Tablo 4.4: UOE amacıyla sınıflandırılmış uydu görüntüsünün doğruluk değerlendirmesi (IKONOS)

IKONOS SINIFLAN- DIRMA	REFERANS VERİLER												Sütun T.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
A	51	4	14							1			70
B	4	16	2										22
C	10	1	106	2					2	5			126
D	1	2	3	10									16
E					7	2		1					10
F					2	18	3	1		1			25
G						3	8				1		12
H						2		4		1			7
I	2		3						11	1	2		19
J	1		4			3			3	25	11		47
K									1	8	32		41
L												5	5
Satır Toplamı	69	23	132	12	9	28	11	7	17	42	45	5	

A=Yapraklı genç, B=Yapraklı orta yaşlı, C=Karışık yapraklı genç, D=Karışık yapraklı orta yaşlı, E=İbrelî genç, F=İbrelî orta yaşlı, G=İbrelî yaşlı, H=Karışık ibrelî yapraklı orta yaşlı, I=a, J=Verimsiz, K=Orman değil, L= Su

Tablo: 4.5: UOE amacıyla sınıflandırılmış uydu görüntüsünün doğruluk değerlendirmesi (IKONOS PAN-SHARPENED)

IKONOS PAN-SHARPENED SINIFLAN- DIRMA	REFERANS VERİLER												Sütun T.
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
A	44	3	10	1						1			59
B	5	13	1	1									20
C	8		81	2					1	3			95
D	1	1	1	10									13
E					9	2							11
F					1	16	2	2					21
G						2	7						9
H						1		3					4
I	1		3						9	1	2		16
J			2		1				2	18	7		30
K										7	22		29
L												3	3
Satır Toplamı	59	17	98	14	11	21	9	5	12	30	31	3	

Tablo 4.6: Seviye II' nin sınıflandırma sonucuna ilişkin hesaplanan istatistikler

Seviye II	IKONOS	SINIFLAR	ÜD	KD	IKONOS PAN-SHARPENED	SINIFLAR	ÜD	KD
		Yapraklı	0.79	0.81		Yapraklı	0.80	0.84
		Karışık Yap.	0.85	0.84		Karışık Yap.	0.86	0.86
		İbrelili	0.92	0.90		İbrelili	0.95	0.95
		Karışık İb.Yap.	0.57	0.57		Karışık İb.Yap.	0.75	0.60
		Verimsiz	0.53	0.60		Verimsiz	0.60	0.60
		Orman Değil	0.80	0.71		Orman Değil	0.76	0.70
		Su	1.00	1.00		Su	1.00	1.00
		Toplam Doğruluk= %80 Kappa= 0.73				Toplam Doğruluk= %82 Kappa= 0.76		

Tablo 4.7: Seviye I' in sınıflandırma sonucuna ilişkin hesaplanan istatistikler(IKONOS)

IKONOS	Seviye 1	SINIFLAR	ÜD	KD	SINIFLAR	ÜD	KD
		A	0.68	0.72	P	0.50	1.00
		B	0.87	0.68	R	0.44	0.50
		C	0.79	0.69	S	0.67	0.80
		D	0.60	0.75	T	0.67	0.73
		E	0.36	0.44	U	0.53	0.50
		F	0.50	0.37	V	0.50	0.50
		G	0.37	0.42	Y	0.50	0.42
		H	0.29	0.67	Z	0.57	0.57
		I	0.40	0.40	AA	0.33	0.43
		J	0.36	0.40	AB	0.36	0.38
		K	0.50	0.34	AC	0.29	0.40
		L	0.67	0.50	AD	0.33	0.33
		M	0.67	0.50	AE	0.78	0.71
		N	0.50	0.40	AF	1.00	1.00
		O	0.58	0.70			
		Toplam Doğruluk= %55 Kappa= %52					

Tablo 4.8: Seviye I' in Sınıflandırma sonucuna ilişkin hesaplanan istatistikler(IKONOS PAN-SHARPENED)

IKONOS PAN-SHARPENED	Seviye 1	SINIFLAR	ÜD	KD	SINIFLAR	ÜD	KD
		A	0.69	0.73	R	0.33	0.50
		B	0.67	0.71	S	0.67	0.57
		C	0.82	0.64	T	0.78	0.78
		D	0.60	1.00	U	0.58	0.54
		E	0.43	0.50	V	0.60	0.60
		F	0.54	0.50	Y	0.44	0.50
		G	0.54	0.48	Z	0.75	0.60
		H	0.50	0.67	AA	0.33	0.40
		I	0.43	0.43	AB	0.44	0.44
		J	0.36	0.44	AD	0.38	0.33
		K	0.50	0.41	AE	0.76	0.71
		L	0.40	0.50	AF	1.00	1.00
		M	0.50	0.67			
		O	0.77	0.71			
		Toplam Doğruluk= %59 Kappa=%53					

Tablo 4.9: UOE amaçlı sınıflandırma sonucuna ilişkin hesaplanan istatistikler

IKONOS	SINIFLAR	ÜD	KD	IKONOS PAN-SHARPENED	SINIFLAR	ÜD	KD
	A	0.73	0.74		A	0.75	0.75
	B	0.73	0.70		B	0.65	0.77
	C	0.84	0.80		C	0.85	0.80
	D	0.63	0.83		D	0.77	0.71
	E	0.70	0.78		E	0.82	0.82
	F	0.72	0.64		F	0.76	0.76
	G	0.67	0.73		G	0.78	0.78
	H	0.57	0.57		H	0.75	0.60
	I	0.58	0.65		I	0.56	0.75
	J	0.53	0.60		J	0.60	0.60
	K	0.78	0.71		K	0.76	0.71
	L	1.00	1.00		L	1.00	1.00
	Toplam Doğruluk= %73 Kappa= %68				Toplam Doğruluk= %76 Kappa= % 72		

4.2. ALANLAR, AĞAÇ SERVETLERİNİN HESABI VE İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRMELERE İLİŞKİN BULGULAR

UOE gibi geniş alanları kapsayan çalışmalarda uydu verilerinden yararlanılması durumunda, katmanlı örneklemede son katmanı oluşturacak sınıflara karar verilirken kabul edilebilir doğrulukta sınıfların elde edilebildiği ölçüde ayrıntıya gidilebilir. Buna göre çalışma alanı, IKONOS uydu görüntüsünden yararlanılarak son katmanlama da yeterli doğrulukta, Yapraklı genç, Yapraklı orta yaşlı, Karışık yapraklı genç, Karışık yapraklı orta yaşlı, İbrelili genç, İbrelili orta yaşlı, İbrelili yaşlı, Karışık ibrelili yapraklı orta yaşlı, kapalılığın oluşmadığı genç meşcereler (a), Verimsiz, Orman değil ve Su olmak üzere 12 adet sınıfa ayrılabilmiştir. Bu nedenle Alan ve ağaç servetine ilişkin hesaplamalar bu sınıflar itibarıyla ortaya konulmuştur.

4.2.1. Yersel Ölçümlere Dayalı Tek Aşamalı Sistemik Örnekleme

Malzeme ve yöntem başlığı altında açıklandığı gibi, ilgili sınıflara ilişkin alan değerlerinin belirlenmesi, ilk etapta sınıfların traktlar üzerinde sınır hatlarının uzunluğunun ölçümü ve traktlar da mevcut sınıfların oransal değerlerinin hesaplanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Formül 3.8 den faydalanılarak hesaplanan alan değerleri Tablo 4.10' da verilmiştir.

Tablo 4.10: Sadece yersel ölçümlere dayalı olarak hesaplanan alanlar

Sınıflar	Alan (ha)	Sınıflar	Alan (ha)
A	22586.31	G	7423.55
B	6827.33	H	1414.57
C	25263.46	I	11562.04
D	2267.98	J	9481.10
E	2209.53	K	92239.11
F	8113.30	L	

Ağaç servetinin hesaplanabilmesi için gerekli ölçümler, trakt'lar üzerinde yer alan ve büyüklükleri gelişim çağlarına göre değişen 100, 200 ve 400 m² büyüklüğündeki örnek alanlardan elde edilmiştir.

Her bir örnek alan için hacim hesaplanmasında yöresel hacim tablosundan yararlanılmıştır. Bu amaçla, çalışma alanında yer alan 10 adet orman işletme şefliklerine ait amenajman planlarında yer alan hacim tablolarından, çalışma alanının geneli için ortak bir hacim tablosu oluşturulmuştur (Tablo 4.11).

Tablo 4.11: Çalışma alanı için dikili gövde hacim tablosu

Çap Kademesi		AĞAÇ TÜRÜ				
Genişliği (cm)	Ortalama (cm)	Meşe (m ³)	Kayın (m ³)	Gürgen (m ³)	Kestane (m ³)	Diğer Yap. (m ³)
8-11,9	10	0.044	0.045	0.039	0.034	0.042
12-15,9	14	0.104	0.114	0.083	0.094	0.095
16-19,9	18	0.181	0.210	0.145	0.155	0.165
20-23,9	22	0.287	0.318	0.226	0.225	0.260
24-27,9	26	0.482	0.525	0.480	0.360	0.481
28-31,9	30	0.670	0.705	0.659	0.473	0.665
32-35,9	34	0.872	0.911	0.871	0.610	0.871
36-39,9	38	1.110	1.150	1.115	0.745	1.112
40-43,9	42	1.334	1.465	1.480	1.013	1.399
44-47,9	46	1.728	1.747	1.743	1.274	1.735
Genişliği (cm)	Ortalama (cm)	Kızılçam (m ³)	Karaçam (m ³)	Sahil Çamı (m ³)	Radiata (m ³)	Fıstık Çamı (m ³)
8-11,9	10	0.032	0.033	0.030	0.028	0.030
12-15,9	14	0.068	0.070	0.070	0.068	0.064
16-19,9	18	0.119	0.124	0.141	0.142	0.112
20-23,9	22	0.186	0.195	0.236	0.240	0.175
24-27,9	26	0.271	0.284	0.361	0.368	0.253
28-31,9	30	0.373	0.392	0.518	0.532	0.348
32-35,9	34	0.494	0.520	0.707	0.728	0.459
36-39,9	38	0.633	0.667	0.927	0.955	0.588
40-43,9	42	0.780	0.871	1.187	1.221	0.720
44-47,9	46	0.911	1.106	1.393	1.472	

Oluşturulan hacim tablosundan yararlanılarak her bir örnek alan için hacimler hesaplanarak hektara çevrilmiştir. Her bir trakt üzerine düşen 8 adet örnek alanın ait olduğu sınıflar itibariyle ortalaması alınarak, hektardaki ağaç servetleri traktlar için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin sınıflar itibariyle dağılımı Tablo 4.12’de verilmiştir.

Tablo 4.12: Hesaplanan hektardaki ağaç servetlerinin sınıflara dağılımı

Sınıflar	Ağaç Serveti (m ³ /ha)
Yapraklı genç i=1; b ₁ =18	0.000; 0.00; 58.800; 46.770; 0.00; 70.433; 0.000; 45.650; 0.000; 0.000; 0.000; 0.000; 0.000; 40.066; 0.000; 18.100; 35.052; 0.000
Yapraklı orta yaşlı i=2; b ₂ =6	169.400; 165.552; 120.781; 71.350; 132.010; 98.700
Karışık yapraklı genç i=3; b ₃ =16	60.450; 56.275; 0.000; 0.000; 0.000; 0.000; 0.000; 0.000; 44.233; 39.624; 25.762; 0.000; 0.000; 0.000; 64.875; 0.000
Karışık yapraklı orta yaşlı i=4; b ₄ =4	149.933; 104.200; 70.925; 183.600
İbrelili genç i=5; b ₅ =2	45.00; 30.764
İbrelili orta yaşlı i=6; b ₆ =7	125.725; 128.716; 115.908; 35.000; 41.733; 129.488; 142.917
İbrelili yaşlı i=7; b ₇ =3	111.043; 146.667; 253.354
Karışık ibrelili yapraklı orta yaşlı i=8; b ₈ =2	68.225; 58.780

Sınıfların ve çalışma alanının tamamı için, hektardaki ortalama ve genel alandaki ağaç servetleri malzeme ve yöntem bölümünde verilen formüller yardımıyla hesaplanmıştır. Buna göre, Formül 3.10 yardımıyla sınıfların ortalama ağaç servetleri ($\bar{y}_i$) sırasıyla, 17.493, 126.299, 18.201, 127.165, 37.882, 102.784, 170.355, 63.503 olarak hesaplanmıştır. Formül 3.11 yardımıyla sınıfların genel alandaki ağaç servetleri (V_i) sırasıyla, 395098.486, 862283.888, 480252.205, 334492.582, 83701.413, 833916.308, 1264636.888, 96508.819 olarak hesaplanmıştır. Formül 3.12' ye göre de hektardaki ortalama ağaç serveti ($\bar{M}$) 56.07 olarak bulunmuştur. Verimsiz ile henüz kapallılığın oluşmadığı genç meşcere sınıfları değerlendirme dışında bırakılmıştır (Tablo 4.13).

Tablo 4.13: Sadece yersel ölçümlere dayalı olarak hesaplanan ağaç servetleri

Sınıflar	$\bar{v}_i$	$\bar{M}$	V_i
A	17.493	56.070	395098.486
B	126.299		862283.888
C	18.201		480252.205
D	127.165		334492.582
E	37.882		83701.413
F	102.784		833916.308
G	170.355		1264636.888
H	63.503		96508.819

4.2.2. Katmanlı İki Aşamalı Örneklemeye

Katmanlı iki aşamalı örneklemeye yöntemi ile alan ve ağaç servetlerinin belirlenmesinde, yersel ölçümler ile IKONOS ve IKONOS PAN-SHARPENED uydu görüntüsünün kombine edilmesi ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Alanların belirlenmesinde, sadece yersel ölçümlere dayalı yöntemden farklı olarak, ikinci aşama ünitelerine ait sınıflandırılmış uydu görüntüleri dikkate alınmıştır. İlgili sınıflar için Formül 3.9 yardımıyla bulunan alan değerleri Tablo 4.14’de verilmiştir.

Tablo 4.14: Katmanlı iki aşamalı örneklemeye yöntemi ile hesaplanan alanlar

IKONOS	Sınıflar	Alan (ha)	Sınıflar	Alan (ha)
	A	21697.82	G	7318.34
	B	5962.22	H	2197.84
	C	24678.93	I	9177.15
	D	2022.48	J	9258.98
	E	1835.43	K	97558.35
	F	7680.75	L	
IKONOS PAN-SHARPENED	Sınıflar	Alan (ha)	Sınıflar	Alan (ha)
	A	22375.87	G	6722.12
	B	6055.75	H	1940.65
	C	25111.48	I	8803.05
	D	2104.31	J	10965.82
	E	2069.24	K	96120.40
	F	7119.60	L	

Formül 3.11 ve 3.12 yardımıyla sınıfların genel alandaki ağaç servetleri ile, çalışma alanının hektardaki ortalama ağaç servetleri hesaplanarak Tablo 4.15’de verilmiştir.

Tablo 4.15: Katmanlı iki aşamalı örnekleme yöntemine dayalı olarak hesaplanan ağaç servetleri

IKONOS	Sınıflar	$\bar{v}_i$	$\bar{M}$	V_i
	A	17.493	56.430	394075.975
	B	126.299		900673.239
	C	18.201		463016.748
	D	127.165		304759.908
	E	37.882		69529.745
	F	102.784		789456.793
	G	170.355		1246712.901
	H	63.503		149947.586
IKONOS PAN-HARPENED	Sınıflar	$\bar{v}_i$	$\bar{M}$	V_i
	A	22375.87	54.550	391417.444
	B	7224.81		912485.347
	C	26876.77		489189.110
	D	2396.58		304759.908
	E	2069.24		78387.038
	F	7119.60		731779.585
	G	6722.12		1145143.639
	H	1940.645		132400.528

4.2.3. Amenajman Planı Değerleri

Çalışma alanına ilişkin en güncel ve doğru bilgileri, hava fotoğrafları ve 300x300 m aralık mesafe ile dağıtılmış sistematik örnek alan ölçümlerinin kombine edilmesiyle elde edilen amenajman planları sağlamaktadır. Bu nedenle çalışma alanında farklı yöntemlerle elde edilen verilerin karşılaştırılmasında referans bilgi kaynağı olarak amenajman planlarından elde edilen değerler kullanılmıştır. Amenajman planlarından alınan ilgili sınıflar için alan ve ağaç serveti değerleri Tablo 4.16 ve Tablo 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4.16: Sınıflara ilişkin amenajman planlarından belirlenen alanlar

Sınıflar	Alan (ha)	Sınıflar	Alan (ha)
Yapraklı genç (A)	24151.30	Kar. ibr. yap. genç (H1)	37.30
Yapraklı orta yaşlı (B)	4036.90	Kar. ibr. yap. orta yaşlı (H)	823.20
Yapraklı yaşlı (B1)	30.10	Kar. ibr. yap. yaşlı (H2)	272.10
Kar. yapraklı genç (C)	30151.60	Kar. yap. ibr. orta yaşlı (H3)	282.30
Kar. yapraklı orta yaş. (D)	3240.01	a (I)	15038.40
Kar. yapraklı yaşlı (D1)	196.50	Verimsiz (J)	7578.40
İbrelî genç (E)	1528.00	Orman değil (K)	90829.37
İbrelî orta yaşlı (F)	6569.80	Su (L)	
İbrelî yaşlı (G)	4623.00		

Tablo 4.17: Sınıflara ilişkin amenajman planlarından belirlenen ağaç servetleri

Sınıflar	$\bar{v}_i$	$\bar{M}$	V_i
A	14.097	43.930	340453.954
B	121.908		492128.949
B1	254.858		7671.237
C	16.627		501324.220
D	122.234		396039.233
D1	280.459		55110.239
E	32.659		49902.753
F	97.862		642935.150
G	147.087		683312.654
H1	18.495		689.868
H	117.004		96317.294
H2	175.601		47780.897
H3	78.435		22142.24

4.2.4. İstatistiksel değerlendirmeler

Bu bölümde SPSS programı kullanılarak, öncelikle amenajman planı, yersel ölçümler ve katmanlı iki aşamalı örnekleme yöntemi ile elde edilen alan ve ağaç serveti değerlerine ilişkin minimum, maksimum, ortalama ve standart hata değerlerine ilişkin istatistikler tanımlanmıştır. Sonra, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerin

yakınlığı test edilmiştir. Daha sonra da, yersel ölçüm ve katmanlı iki aşamalı örnekleme ile elde edilen değerler, referans veri olarak kabul edilen amenajman planı değerleri ile eşleştirilmiş t testi uygulanarak tek tek denetlenmiştir.

Alan değerlerine ilişkin olarak istatistiksel değerlendirmeler Tablo 4.18, Tablo 4.19 ve Tablo 4.20’de verilmiştir.

Tablo 4.18: Alan değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
Amenajman Planı	11	823.200	90829.370	17142.73	26244.432
Yersel Ölçüm	11	1414.570	92239.110	17217.12	26074.630
Yersel Ölçüm+İkonos	11	1835.430	97558.350	17217.12	27689.519
Yersel Ölçüm+İkonos Pan-Sharpended	11	1940.650	96120.400	17217.12	27299.164
Valid N (listwise)	11				

Tablo 4.19: Alan değerlerine ilişkin bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki

		Amenajman Planı	Yersel Ölçüm	Yersel ölçüm +İkonos	Yersel Ölçüm +İkonos Pan-Sharpended
Amenajman Planı	Pearson Korelasyonu	1	.995**	.992**	.993**
	Anlamlılık (2-terafı)	.	.000	.000	.000
	N	11	11	11	11
Yersel Ölçüm	Pearson Korelasyonu	.995**	1	.999**	.999**
	Anlamlılık (2-terafı)	.000	.	.000	.000
	N	11	11	11	11
Yersel Ölçüm+İkonos	Pearson Korelasyonu	.992**	.999**	1	1.000**
	Anlamlılık (2-terafı)	.000	.000	.	.000
	N	11	11	11	11
Yersel Ölçüm+İkonos Pan-Sharpended	Pearson Korelasyonu	.993**	.999**	1.000**	1
	Anlamlılık (2-terafı)	.000	.000	.000	.
	N	11	11	11	11

** Corelation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

Tablo 4.20: Alan değerlerine ilişkin eşleştirilmiş t testi

	Eşleştirilmiş Farklar					t	df	Anlamlılık (2-tarafılı)
	Ortalama	Std. Sapma	Ort. Std. Hata	95% Güven Düzeyinde				
				Alt Sınır	Üst Sınır			
Eşleştirme Amenajman P. 1 -Yersel Ölçüm	-74.391	2524.796	761.255	-1770.57	1621.790	-.098	10	.924
Eşleştirme Amenajman P 2 -Yer. Ölç.+İkonos	-74.392	3661.134	1103.873	-2533.98	2385.192	-.067	10	.948
Eşleştirme Amenajman P. 3 -Yer. Ölç.+İkonos Pan-Sharpened	-74.392	3441.788	1037.738	-2386.62	2237.833	-.072	10	.944

Ağaç serveti değerlerine ilişkin olarak istatistiksel değerlendirmeler Tablo 4.21, Tablo 4.22 ve Tablo 4.23’de verilmiştir.

Tablo 4.21: Genel alandaki ağaç serveti değerlerine ilişkin tanımlayıcı istatistikler

	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
Amenajman Planı	8	49902.753	683312.7	400301.8	231883.544
Yersel Ölçüm	8	83701.413	1264637	543861.3	411777.578
Yersel Ölçüm+Ikonos	8	69529.745	1246713	539771.6	404933.482
Yersel Ölçüm+Ikonos Pan-Sharpended	8	78387.038	1145144	523195.3	377715.817
Valid N (listwise)	8				

Tablo 4.22: Genel alandaki ağaç serveti değerlerine ilişkin bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki

		Amenajman Planı	Yersel Ölçüm	Yersel ölçüm +Ikonos	Yersel Ölçüm +Ikonos Pan- Sharpended
Amenajman Planı	Pearson Korelasyonu	1	.904**	.881**	.885**
	Anlamlılık (2-tarflı)	.	.002	.004	.004
	N	8	8	8	8
Yersel Ölçüm	Pearson Korelasyonu	.904**	1	.997**	.992**
	Anlamlılık (2-tarflı)	.002	.	.000	.000
	N	8	8	8	8
Yersel Ölçüm+Ikonos	Pearson Korelasyonu	.881**	.997**	1	.997**
	Anlamlılık (2-tarflı)	.004	.000	.	.000
	N	8	8	8	8
Yersel Ölçüm+Ikonos Pan-Sharpended	Pearson Korelasyonu	.885**	.992**	.997**	1
	Anlamlılık (2-tarflı)	.004	.000	.000	.
	N	8	8	8	8

Tablo 4.23: Genel alandaki ağaç serveti değerlerine ilişkin eşleştirilmiş t testi

	Eşleştirilmiş Farklar					t	df	Anlamlılık (2-taraflı)
	Ortalama a	Std. Sapma	Ort. Std. Hata	95% Güven Düzeyinde				
				Alt Sınır	Alt Sınır			
Eşleştirme Amenajman P. 1 -Yersel Ölçüm	-143560	225170.420	79609.77	-331807	44687.63	-1.803	7	.114
Eşleştirme Amenajman P. 2 -Yer. Ölç.+Ikonos	-139470	228697.652	80856.83	-330666	51726.19	-1.725	7	.128
Eşleştirme Amenajman P. 3 -Yer. Ölç.+Ikonos Pan-Sharpened	-122894	203627.077	71993.04	-293130	47342.95	-1.707	7	.132

Amenajman planı, yersel ölçüm, yersel ölçüm ile IKONOS kombinasyonu ve yersel ölçüm ile IKONOS PAN-SHARPENED kombinasyonuna göre bulunan alan değerleri arasında ilişki, 0.99 olarak oldukça yüksek bulunmuştur. Sadece yersel ölçüm ve katmanlı iki aşamalı örnekleme yöntemine göre bulunan değerlerin, amenajman planı değerleri ile karşılaştırıldığı eşleştirilmiş t testi sonuçlarına göre, yersel ölçüm, yersel ölçüm ve IKONOS kombinasyonu, yersel ölçüm ve IKONOS PAN-SHARPENED kombinasyonu değerleri ile amenajman planı değeri arasında anlamlılık seviyesi sırasıyla 0.924, 0.948 ve 0.944 çıkmıştır.

Yersel ölçüm, yersel ölçüm ile IKONOS kombinasyonu ve yersel ölçüm ile IKONOS PAN-SHARPENED kombinasyonuna göre bulunan ağaç serveti değerleri amenajman planı değeri ile karşılaştırıldığında en yüksek ilişki, yersel ölçüm ve amenajman planları arasında (0.904) çıkmıştır. Yersel ölçüm ile IKONOS kombinasyonu ve yersel ölçüm ile IKONOS PAN-SHARPENED kombinasyonunun amenajman planları arasındaki ilişki de 0.881 ve 0.885 olarak oldukça yüksektir. Eşleştirilmiş t testi sonuçlarına göre, yersel ölçüm, yersel ölçüm ve IKONOS kombinasyonu, yersel ölçüm ve IKONOS PAN-SHARPENED kombinasyonu değerleri ile amenajman planı değeri arasında anlamlılık seviyesi sırasıyla 0.114, 0.128 ve 0.132 çıkmıştır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Farklı meşcere tipleri olarak küçük parçalardan oluşan ve yüksek heterojen yapıda orman formuna sahip ülkemizde, düşük mekansal çözünürlüklerinden dolayı LANDSAT ve SPOT gibi uydu görüntülerinden detaylı orman haritalarının çıkarımı için faydalanılamayacağı yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur. Bu uydu görüntülerinden UOE gibi çok geniş alanları kapsayan çalışmalarda faydalanılabileceği belirtilmiştir.

Son yıllarda çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin elde edilmesiyle, bu uydu görüntülerinden detaylı orman haritalarının çıkarımının teknik olarak mümkün olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, UOE de, “çok kaynaklı orman envanteri” yönteminin en uygun seçenek olduğu ve yeni nesil bu görüntülerin yersel ölçmelerle kombine edilerek UOE’ inde önemli bir bilgi kaynağı olarak kullanılabileceği belirtilmektedir.

İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü’nün Şile ve Kanlıca Orman İşletme Müdürlüğü sınırları içerisinde kalan bu çalışmada, ulusal bazda yapılacak envanter çalışmasında, uzaktan algılama verilerinden biri olan IKONOS uydu görüntüsünden yararlanılarak orman alanlarının otomatik olarak sınıflandırılması ve bu geniş orman alanlarına ilişkin alan ve ağaç serveti değerlerinin belirlenmesi olanakları araştırılmıştır. Bu amaçla, katmanlı iki aşamalı örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Bunun gerçekleştirilmesinde, 4x4 m mekansal çözünürlüklü IKONOS ve 1x1 m mekansal çözünürlüklü IKONOS PAN-SHARPENED uydu verileri ile trakt sistemine dayalı olarak gerçekleştirilen yersel ölçümlerden elde edilen verilerden yararlanılmıştır. Ayrıca detaylı orman haritalarının çıkarımında çok yüksek çözünürlüklü IKONOS uydu görüntüsünün kullanımını değerlendirebilmek amacıyla PAN-SHARPENED ve orijinal uydu görüntüsünün bir karşılaştırmasını içerecek şekilde, meşcere tipleri düzeyinde ayırım yapıp yapılamayacağı test edilmiştir. Bunun için, uydu görüntülerine obje bazlı sınıflandırma yöntemi uygulanmıştır.

Obje bazlı sınıflandırma görüntü dilimleme ve sınıflandırma olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Görüntü dilimleme, obje bazlı sınıflandırma için ilk ve en önemli adımdır. Görüntü dilimlemenin başarısı, sınıflandırma sonuçlarının doğruluğu üzerinde oldukça etkili olmaktadır. Kullanıcı görüntü dilimleme işlemi için, öncelikle en uygun ölçek parametresi ve homojenlik kriterlerine karar vermek zorundadır. Bu işlem kullanıcının tecrübesine bağlı olduğu için subjektif olmaktadır. Elde edilen görüntü dilimlerinin uygunluğu görsel olarak denetlenir ve eğer kullanıcı için görsel olarak uygun gözükmiyorsa elde edilen görüntü dilimi yetersizdir.

Uydu görüntüleri öncelikle, çok çözünürlüklü görüntü dilimleme algoritması kullanılarak çok sayıda farklı ölçek parametresi ve homojenlik kriterlerine göre görüntü dilimlerine ayrılmıştır. Çalışmada oluşturulan 3 hiyerarşik seviye için, görüntü dilimleri görsel olarak uygun sonuçlar elde edilinceye kadar deneme yanılma yöntemi kullanılarak ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen görüntü dilimleri değerlendirildiğinde homojenlik kriterlerinden renk kriterinin oranının şekil kriterinden yüksek alındığı (0.9/0.1, 0.8/0.2, 0.7/0.3) durumlarda yer yüzü objeleri temsil eden uygun görüntü objelerinin çıkarılabildiği görülmüştür.

Daha önce gerçekleştirilen çalışmaların çoğunda, görüntü dilimleme işlemi ile çalışma amacına göre yer yüzü objelerini temsil eden görüntü dilimlerinin oluşturulmasında renk kriteri oranının daha yüksek alındığı görülmüştür. (Herold et al, 2002; Laliberte et al, 2004; Mathieu and Aryal, 2005; Hajek, 2006; Asan ve diğ., 2007; Furuya et al, 2007; Mathieu et al, 2007; Renaud et al, 2007; Chen et al, 2009).

PAN-SHARPENED görüntüler, orijinal görüntülere göre önemli ölçüde gelişmiş detayları göstermektedir. Bu gelişmiş detaylar çoğu arazi örtüsü tipleri için sınırları daha belirgin hale getirmektedir. Çalışma alanında genç meşcerelerin ve karışık meşcereler yoğun olarak bulunmaktadır. Görüntü dilimleme işlemi bu meşcereleri temsil eden uygun görüntü dilimlerinin oluşturulmasında, a ve ab gelişim çağlarındaki genç yapraklı, ibreli ve karışık meşcerelerin sınırlarının birbirinden ayrılamaması ve her gelişim çağında karışık meşcerelerin kendi içinde sınırlarının birbirinden ayrılamaması gibi zorluklarla karşılaşmıştır. Böyle alanların sınırlarının PAN-SHARPENED görüntülerde daha belirgin olması nedeniyle, bu alanları temsil eden görüntü

dilimlerinin PAN-SHARPENED görüntülerinden çıkarımının uygun olduğu ve elde edilen sonuçların görsel denetimi, orijinal görüntüye göre daha yüksek yersel çözünürlük nedeniyle daha rahat yapılabildiği görülmüştür. Orta yaşlı ve yaşlı meşcerelerin bulunduğu alanlarda iki görüntü arasında fark olmadığı ve her ikisinin de kullanılabileceği anlaşılmıştır.

Orijinal ve PAN-SHARPENED görüntülerinden elde edilen görüntü dilimlerinin uygunluğunun görsel olarak denetimi ve meşcere haritalarıyla karşılaştırmaları sonucunda, oluşturulan 3 hiyerarşik seviyedeki farklı büyüklüklerde objelerin tanımlanmasının tatmin edici düzeyde gerçekleştirilebildiği görülmüştür (Bkz, Bölüm 3.1.4.1).

Kullanılan obje bazlı sınıflandırma işleminde görüntü dilimleme aşamasını uydu görüntülerinin en yakın komşu yöntemine göre kontrollü olarak sınıflandırılması işlemi izlemiştir. Sınıflandırma işlemi, orijinal IKONOS uydu görüntüsünde çalışma alanının tamamını kapsamaktadır. IKONOS PAN-SHARPENED görüntülerinde ise orijinal görüntülerle karşılaştırılmasını sağlayacak şekilde, orman alanlarının yoğun olarak bulunduğu çalışma alanının kuzey kısımlarını kapsayan PAN-SHAPPENED görüntülerinin sınıflandırılmasıyla yetinilmiştir.

Obje bazlı sınıflandırmada, farklı ölçek parametreleri ve homojenlik kriterlerine göre elde edilen farklı büyüklükteki objelerin, hiyerarşik olarak bir birleriyle bağlantılı şekilde birkaç seviyede oluşturulması ile ortaya konulan yapı, arazi örtüsüne ait haritaların genel sınıflar ve bunlara ilişkin alt sınıflar halinde ortaya çıkarılmasında büyük bir kolaylık sağlamaktadır.

Çalışmada obje bazlı hiyerarşik sınıflandırma 3 seviyede gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada öncelikle çalışma alanı 3 adet genel arazi kullanım sınıfına (*orman*, *orman değil* ve *su*) ayrılmıştır. Orijinal IKONOS uydu görüntüsünün ilk aşama sınıflandırma sonuçları Şekil 4.9' da, PAN-SHARPENED sınıflandırma sonuçları Şekil 4.10' da verilmiştir. Genel olarak, *Orman*, *Orman Değil* ve *Su* sınıfının uydu görüntülerinin otomatik sınıflandırılması ile birbirinden yüksek doğrulukla ayrılabilirdiği bilinmektedir. Ülkemiz koşullarında, Koç (1997), Yeşil ve diğ. (1999), Musaoğlu (1999), Özdemir

(2003), Özkan (2003) ve Asan ve diğ. (2007) tarafından yapılan çalışmalarda, IKONOS uydu görüntüsüne göre daha kaba mekansal çözünürlüklere sahip LANDSAT ve SPOT gibi uydu görüntüleri kullanılarak da hem piksel bazlı hem de obje bazlı sınıflandırma yöntemleri ile *Orman*, *Orman Değil* ve *Su* sınıfının birbirlerinden rahatlıkla ayrılabilirdiği görülmektedir. Bu nedenle çalışmada elde edilen ilk aşama sınıflandırma sonuçlarına doğruluk değerlendirmesi yapılmamış, sadece görsel değerlendirme ile yetinilmiştir. Görsel değerlendirmeler sırasında, gençleştirme alanları, orman içi açıklık ve bozuk orman alanları ile tarım ve iskan gibi orman dışı alanların birbirleriyle karıştığı ancak sınıflandırma sonucunun yeterli düzeyde olduğu görülmüştür.

İkinci aşamada gerçekleştirilen sınıflandırma işleminde, öncelikle ilk aşamada oluşturulan 3 adet sınıf, seviyeler arasında oluşturulan hiyerarşik ağ yapısı ile üçüncü seviyeden ikinci seviyeye doğrudan aktarılmıştır. Daha sonra orman alanları, genel orman tiplerine göre *Yapraklı*, *İbrelili*, *Karışık Yapraklı*, *Karışık İbrelili-Yapraklı*, *Verimsiz* sınıflarından oluşan 5 adet alt sınıfa ayrılmıştır. OD/Verimsiz ve OD/Açık Alanlar olarak iki sınıfa ayrılan *Orman Değil* sınıfı ve *Su* sınıfıyla birlikte ikinci aşamada toplam 8 sınıftan oluşmaktadır. İkinci aşama sınıflandırma sonuçları orijinal IKONOS görüntüsü için Şekil 4.12' de, PAN-SHARPENED görüntüsü için Şekil 4.13' de verilmiştir. Tablo 4.6' da verilen doğruluk değerlendirmesi sonucuna göre, sınıflandırma doğrulukları, IKONOS görüntüsü için %80 (Kappa=0.73), PAN-SHARPENED görüntüsü için %82 (Kappa=0.76) dır. Sınıflandırma doğrulukları %80 ve üzeri olduğunu için, sınıflandırma sonucu güvenilir çıkmıştır. IKONOS ve IKONOS PAN-SHARPENED görüntülerinin sınıflandırılmasıyla elde edilen her bir sınıf için hesaplanan ÜD ve KD, *Yapraklı* (0.79-0.81/0.8-0.84), *İbrelili* (0.92-0.90/0.95-0.95), *Karışık Yapraklı* (0.85-0.84/0.86-0.86), sınıflarının ayrımının mükemmele yakın olduğunu, fakat *Verimsiz* (0.53-0.60/0.60-0.60) sınıfına dahil edilen orman içi açıklık, bozuk yapraklı, bozuk ibrelili ve yeni kesilmiş alanların *Orman Değil* (0.80-0.71/0.76-0.70) sınıfına dahil edilen alanlar ile karışmasından dolayı bu iki sınıfın ayrımının zor olduğunu göstermektedir. Ayrıca *Karışık İbrelili-Yapraklı* (0.57-0.57/0.75-0.60) sınıfının çalışma alanında küçük alan kaplaması ve karışımında ibrelili türün yoğunluğu nedeniyle yer yer *İbrelili* sınıfı ile karışmasından dolayı ÜD ve KD düşük çıkmıştır. IKONOS ve IKONOS PAN-SHARPENED görüntülerinin ikinci seviye sınıflandırma sonucu

doğruluk değerlerinin birbirine yakın olması nedeniyle aralarında anlamlı bir fark olmamıştır.

Üçüncü aşamada, birinci seviye için gerçekleştirilen sınıflandırma işleminde öncelikle *Yapraklı, İbrelî, Karışık Yapraklı, Karışık İbrelî-Yapraklı, Verimsiz, OD/Açık Alanlar ve OD/Verimsiz* sınıfları hiyerarşik sınıflandırma sisteminde bir önceki seviyede üretilen ana sınıflardan doğrudan alınmıştır. Daha sonra, Yapraklı, İbrelî, Karışık Yapraklı, Karışık İbrelî-Yapraklı sınıfları meşcere tipleri düzeyinde alt sınıflara ayrılmıştır. Üçüncü aşama sınıflandırma sonuçları orijinal IKONOS görüntüsü için Şekil 4.14’ de, PAN-SHARPENED görüntüsü için Şekil 4.15’ de verilmiştir. Sınıflandırma sonuçlarına ilişkin toplam doğruluk değerleri IKONOS görüntüsü için %55 (Kappa=0.52), PAN-SHARPENED görüntüsü için %59 (Kappa=0.53) olarak, %80 kabul edilebilir düzeyine göre oldukça düşük hesaplanmıştır. Standart amenajman planlarında, meşcere tipleri ağaç türü, doğal gelişim çağı ve kapalılık sınıflarına ait simge ve rakamları yan yana getirmek suretiyle ifade edilmektedir. Çalışma alanında ağaç türü ve kapalılık sınıfı itibariyle aynı fakat doğal gelişim çağı farklılığından dolayı ayrı meşcereler olarak ayrılması gereken a ve ab gelişim çağındaki meşcereler benzer yansıtım ve şekil değerleri göstermesinden dolayı otomatik sınıflandırma ile ayrı birer sınıf olarak birbirlerinden ayırt etmek mümkün olmamıştır. Aynı şekilde b ve bc, c ve cd çağındaki meşcerelerde birbirinden ayırt edilememiştir. Bu nedenle sınıflandırma işlemi sırasında bu meşcereler aynı sınıf altında birleştirilmiştir. Henüz kapalılığın oluşmadığı alanlarda tür ayırımına gidilmemiş, böyle alanlar İbrelî a, Yapraklı a, Karışık Yapraklı a olarak simgelenmiştir. Ancak bu alanların da ayrı sınıflar olarak birbirinden ayrılması mümkün gözükmemektedir. Bu sınıflara ilişkin ÜD ve KD her iki görüntüde de oldukça düşük hesaplanmıştır.

Saf yapraklı ve saf ibrelî türlerden oluşan sınıflar nispeten yüksek ÜD ve KD ile sınıflandırılmış olsa da, karışık yapraklı türlerden oluşan sınıflar oldukça düşük ÜD ve KD ile sınıflandırılmıştır. Amenajman pratiğinde bir türün karışıma girebilmesi için hacmen, toplam hacmin en az %10’ nu temsil etmesi gerekir. Karışık meşcerelerin simgelenmesinde, dominant ağaç türü başa alınmaktadır. Buna göre, örneğin KnMab3 ve MKnab3 gibi aynı ağaç türü, gelişim çağı ve kapalılık sınıfından oluşan, sadece türlerin karışıma katılma oranları nedeniyle ayrı meşcere tipleri olarak ayrılması

gereken bunun gibi alanları uydu görüntüsünden otomatik sınıflandırma ile ayırmak mümkün gözükmemektedir. Yine çalışma alanında bulunan çok sayıda karışık meşcere, aynı ağaç türlerini barındırıyor olması nedeniyle sınıflar arasındaki spektral yansıtım ve şekil kriterlerindeki benzerliklerden dolayı birbirlerinden amenajman planlarındaki meşcere standartlarına göre tam olarak ayrılamadıkları görülmüştür. Ayrıca karışık meşcereler, karışım oranına bağlı olarak yer yer saf meşcereler olarak sınıflandırılmıştır. Bu şekilde karışık alanların sınırlarının görüntü dilimleme işlemi ile ayrımı da oldukça güç olmuştur.

Kapalılık sınıflarına göre, aynı kapalılık sınıfını temsil eden %70 kapalılığa sahip bir meşe meşceresi ile %100 kapalılığa sahip meşe meşceresi amenajman pratiğinde aynı meşcere tipi olarak kabul edilmektedir. Bunlar sınıflandırma işleminde her zaman farklı sınıflar olarak atanmıyor olsa da, bazen yanlış sınıflandırılabilirdikleri görülmüştür. Oluşabilecek bu yanlış sınıflandırmalar bir ölçüde, son sınıflandırma sonucuna ulaşmadan önce gerçekleştirilen görsel denetim ve doğru sınıflara manüel olarak atanması yoluyla giderilebilmektedir.

Görüntü dilimleme işleminin başarısı, kullanılacak sınıflandırma yönteminin seçimi (en yakın komşu yöntemi, üyelik ilişkisi ya da ikisinin kombinasyonu), kullanılan referans haritaların doğruluğu, oluşturulan görüntü dilimlerini sınıflandırma işlemi sırasında örneklemek için kullanılan yer kontrol noktalarının yoğunluğu ve noktaların seçimindeki başarı gibi faktörler sınıflandırma doğruluğunu iyileştirebilmektedir. Ancak sınıflandırma doğruluğu üzerinde bu iyileştirmenin, yukarıda açıklanan nedenlerden dolayı meşcere tiplerinin ayrımını sağlayacak şekilde anlamlı düzeyde olmayacağını söylemek mümkündür.

Sınıflandırma sonuçları, PAN-SHARPENED ve orijinal uydu görüntüsünün karşılaştırılması yönünden değerlendirildiğinde bir birine yakın toplam doğruluk ve kappa değerleri göstermiştir. Buna göre, obje bazlı sınıflandırma yaklaşımının en yakın komşu yöntemi kullanılarak, spektral yansıtım değerleri ve şekil kriterlerine göre 3 hiyerarşik seviyede gerçekleştirilmiş olan arazi örtüsü sınıflarının ayrılmasında, orijinal uydu görüntüsü ve PAN-SHARPENED uydu görüntüleri arasında fark gözükmediği anlaşılmaktadır. IKONOS uydu görüntüsünün, pankromatik bantla birleştirilmesiyle

elde edilen görüntü çözünürlüğündeki artış sınıflandırma sonuçları üzerinde anlamlı düzeyde artış ya da azalmaya neden olmamıştır.

Meşcere düzeyinde yapılan sınıflandırma sonuçları doğruluğunun PAN-SHARPENED görüntüsünde biraz yüksek çıkması üzerinde, sınıflandırma işleminden önce gerçekleştirilen görüntü dilimleme işleminin PAN-SHARPENED görüntülerinde daha başarılı olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Çünkü daha önce de belirtildiği gibi, sınıflandırma doğruluğu üzerinde görüntü dilimleme işleminin başarısı oldukça etkili olmaktadır. Özellikle çalışma alanında oldukça geniş alanlar kaplayan genç meşcerelerin ve karışık meşcerelerin görüntü dilimleme ile sınırlarının ayrılmasında PAN-SHARPENED görüntülerinin daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Ancak görüntü dilimleme ve sınıflandırma sürecinin daha uzun sürmesi PAN-SHARPENED görüntüsü için dezavantaj teşkil etmektedir.

Yapılan önceki çalışmalarda, çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin bitki örtüsünün haritalanmasında kullanımında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Renaud et al. (2007), yaptıkları çalışmada IKONOS uydu görüntüsünden anlamlı yersel özelliklerin çıkarımında obje bazlı sınıflandırmanın etkinliğini test etmişlerdir. Bitki örtüsü topluluklarının ayrıntılı olarak ayrımının denetlendiği ikinci aşamada oluşturulan 15 adet sınıf için sınıflandırmanın toplam doğruluğu %64 ($Kappa=0.52$) olarak bulunmuştur. 10 sınıfa indirgenerek gerçekleştirilen sınıflandırmanın toplam doğruluğu ise %77 ($Kappa=0.74$) hesaplanmıştır. IKONOS uydu görüntüsünden, hava fotoğraflarının yorumlanmasıyla üretilen bitki örtüsü haritaları kadar detaylı haritaların sağlanmayacağı sonucuna varılmıştır.

Bock et al. (2005), QuickBird görüntüsünden obje bazlı sınıflandırma tekniği kullanılarak, öncelikle %81 toplam doğrulukla 8 genel bitki örtüsü sınıfı çıkarmıştır. Sınıf sayısı arttığında, 43 bitki örtüsü sınıfı için %48' lik bir toplam doğruluk değeri elde edilmiştir. Ayrılacak sınıf sayısı arttıkça, istenilen doğrulukta sınıflandırma sonucuna ulaşamamıştır.

Hajek (2006) yaptığı çalışmada, 4x4 m mekansal çözünürlüklü orijinal IKONOS uydu görüntüsü ve 1x1 m mekansal çözünürlüklü IKONOS PAN-SHARPENED uydu

görüntülerinin sınıflandırma sonuçlarını değerlendirmiştir. Akçaağaç, Meşe, Ladin, Huş ve Larix meşcerelerinden oluşan meşcere düzeyinde sınıflara ilişkin sınıflandırma sonuçlarının ortalama doğruluğu IKONOS için %83 (Kappa=0.80), IKONOS PAN-SHARPENED için ise %83 (Kappa=0.81) olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar orijinal görüntü ile PAN-SHARPENED görüntü arasında ağaç türleri kompozisyonunun tanımlanmasında anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir.

Maxwell (2005), orijinal QUICKBIRD ve PAN-SHARPENED uydu görüntüsü kullanılarak obje bazlı sınıflandırma yaklaşımını test etmiştir. Kent alanına ait arazi örtüsünün sınıflandırılması amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada sınıflandırma doğrulukları her iki görüntü için %83.75 (Kappa= 0.762) ve %84.25 (Kappa= 0.765) bulunmuştur. Bu sonuç, orijinal ve PAN-SHARPENED görüntünün sınıflandırma sonuçları arasında anlamlı bir fark olmadığını ortaya koymuştur.

İlgili literatürler ve yapılan bu çalışma sonucunda, IKONOS ve IKONOS PANSARPENED uydu görüntülerinin meşcere düzeyinde otomatik sınıflandırılmasıyla elde edilen sonuçlar, geleneksel olarak hava fotoğraflarının görsel yorumlanması ile elde edilen meşcere haritaları kadar iyi sonuçlar vermediği anlaşılmaktadır. Her ne kadar obje bazlı sınıflandırma işleminin ilk adımını oluşturan görüntü dilimleme işlemi başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmiş olsa da, özellikle meşcere düzeyinde sınıflandırma sonuçlarının başarısı aynı oranda yüksek olmamıştır. Bu çalışma ile üretilen meşcere düzeyindeki sınıflandırma sonuçları, düşük doğruluk değerleri nedeniyle kullanım için yeterli olmasa da bu araştırmanın sonucu olarak bazı belirgin sonuçlardan bahsetmek mümkündür.

Çalışma amacına bağlı olarak gerçek yeryüzü objelerini temsil edecek görüntü dilimlerinin üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Çok karmaşık yani heterojenliğin çok yüksek olduğu, bu nedenle ilgili arazi örtüsü sınıflarının sınırlarının ayrımının zor olduğu alanlarda PAN-SHARPENED görüntülerin kullanılması başarı oranını artırabilmektedir. Burada en büyük güçlük, amaca uygun ölçek parametreleri ve homojenlik kriterlerinin seçiminde yaşanmaktadır.

Görüntü dilimleme işleminin bu başarısı dikkate alınarak, hava fotoğraflarının görsel yorumlanması ve meşcere sınırlarının manüel olarak sayısallaştırılmasıyla çıkarılan taslak haritalar yerine, görüntü dilimleme işlemi ile otomatik olarak çıkarılan sınırların kullanım olanakları araştırılmalıdır. Otomatik olarak çıkarılacak taslak haritalardan üretilen gerçek meşcere tipleri haritasının, geleneksel yöntemlerle elde edilen meşcere tipleri haritası ile karşılaştırılması ve başarı oranlarının değerlendirilmesi önemli görülmektedir.

Objeye bazlı sınıflandırma yöntemi, geleneksel yöntemlere göre kısa zamanda doğru ve detaylı bitki örtüsü haritaları üretmek için etkili bir yol olarak görülmektedir. Meşcere tipleri haritalarının çıkarımı için bu yöntemin sayısal hava fotoğrafları üzerinde test edilmesi, haritalama sürecinde görüntü dilimleme, görsel yorumlama, otomatik ve manüel sınıflandırma yöntemlerinin bir arada kullanılarak sonuç haritasının doğruluğunun geliştirilebilmesi olanaklarının araştırılması önem taşımaktadır.

Gerçekleştirilen çalışma sonucunda, IKONOS uydu görüntüsünün sınıflandırılmasıyla, hava fotoğraflarının görsel yorumlanmasıyla elde edilen meşcere tipleri haritası kadar yeterli doğrulukta harita üretilmemiş olsa da, yeterli doğrulukta bazı bitki örtüsü sınıflarının çıkartılabildiği görülmüştür.

Ülkemiz koşullarında uydu verilerinin, amenajman planı düzenleme amacıyla kullanım olanaklarının yanı sıra UOE amacıyla kullanabilme olanakları yönünden de değerlendirilmesi gerekmektedir. Elde edilen sınıflandırma sonuçları dikkate alınarak, UOE gibi çok geniş alanı kapsayan bir çalışmada, meşcere düzeyinde oluşturulan sınıflardan farklı olarak, çalışma alanındaki orman örtüsünün anlamlı düzeyde 12 sınıfa ayrılabilmesi görülmüştür. Sınıflandırma sonuçları orijinal IKONOS görüntüsü için Şekil 4.16’ da, PAN-SHARPENED görüntüsü için Şekil 4.17’ de verilmiştir. Sınıflandırma sonuçlarının doğruluk değerlendirmesi ise Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.9 da verilmiştir. Sınıflandırma sonuçlarının toplam doğruluk değerleri orijinal görüntü için %73 (Kappa= %68), PAN-SHARPENED görüntüsü için %76 (Kappa= %72) dir. Henüz kapallılığın oluşmadığı gençlik alanları, yeni kesim yapılmış sahalar, orman içi açıklıklar, bozuk orman alanları, ziraat ve iskan gibi orman dışı alanların birbirleriyle karışması sınıflandırma doğruluğunu düşüren etkenlerin başında gelmektedir. Her bir

sınıf için hesaplanan ÜD ve KD' ları dikkate alındığında, diğer sınıfların başarılı bir şekilde ayrımının yapılabildiği söylenebilir.

Ulusal bazda yapılacak çalışmalarda da uzaktan algılama verileri kullanılarak çok zaman alıcı yersel çalışmaları azaltmak mümkün görülmektedir. Özdemir (2003), Katmanlı Çok Aşamalı Örneklem Yönteminin bir örneğini ülkemiz koşullarında uygulamıştır. LANDSAT uydu görüntüsü, hava fotoğrafları ve yersel ölçümlerin kombine edildiği bu çalışma, yaklaşık 20513 hektarlık bir alanda 75 yersel örnek alanla gerçekleştirilmiştir. Toplam ağaç serveti; 1519931.248 m^3 olup, %95 güven düzeyinde 1260469.772 m^3 ile 1779392.724 m^3 aralığında kestirilmiştir. Elde edilen sonuçların doğruluğu ve güven düzeyi yeterli bulunmuştur. Bu yöntemin pratikte uygulanması hava fotoğrafları ile uydu verilerinin güncel ve birbirine yakın tarihte olmasına bağlı olduğu, fotoğraf çekme işinin istenilen koordinatlarda ve belirli aralık-mesafe ile gerçekleştirilmesi zor ve pahalı bir iş olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle hava fotoğraflarının yerine kullanılabilecek yüksek çözünürlüklü IKONOS, Quick Bird gibi uydu verilerinden yararlanılarak, hava fotoğraflarının bu sakıncalarını belli ölçüde giderebileceği belirtilmiştir.

Köhl et al. (1994) tarafından Hindistan' da LANDSAT TM, iki değişik ölçekte hava fotoğrafları ile yersel ölçmelerin kombine edildiği Katmanlı Dört Aşamalı Örneklem Yöntemi uygulanmıştır. Hesaplamalar sonucunda toplam ağaç serveti, 147 milyon m^3 , standart hatası da 14 milyon m^3 bulunmuştur. Buna göre ağaç serveti, 119 milyon m^3 ve 175 milyon m^3 aralığında tahmin edilmiştir. Dört aşamalı envanter yönteminin pratikte uygulanabileceği, ayrıca para ve emek tasarrufu sağlayacağı bildirilmiştir. Bu yöntemin özellikle büyük orman alanları için uygun olduğu belirtilmiştir.

Çalışmada, öncelikle çalışma alanına sistematik olarak dağıtılmış traktlarda gerçekleştirilen yersel ölçümlere dayalı olarak ayrılan geniş orman alanlarına ilişkin alan ve ağaç serveti değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra, IKONOS ve IKONOS PAN-SHARPENED uydu görüntüleri ile yersel ölçümlerin kombine edilmesinden oluşan Katmanlı İki Aşamalı Örneklem Yöntemi kullanılarak orman alanları için alan ve ağaç serveti değerleri hesaplanmıştır. Bulunan bu değerler, çalışma alanı için gerçek değerler olarak kabul edilen amenajman planı değerleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen

sonuçlar, yersel ölçüm ve IKONOS uydu görüntüsünden faydalanılarak gerçekleştirilecek Katmanlı İki Aşamalı Örnekleme Yönteminin büyük alanlarda yapılacak çalışmalar için uygun olduğunu göstermektedir.

Farklı yöntemlere göre hesaplanan alan değerleri ve bunlara ilişkin istatistik değerlendirmeleri Tablo 4.10, Tablo 4.14, Tablo 4.18, Tablo 4.19, Tablo 4.20' de verilmiştir. Hesaplanan alan değerleri çalışma alanında küçük alanlar kaplayan sınıflardan büyük alanlar kaplayan sınıflara doğru gittikçe gerçek değerlere oldukça yaklaştığı görülmüştür. Yöntemler arasındaki ilişki 0.99 gibi oldukça yüksek çıkmıştır. Sadece yersel ölçüm, yersel ölçüm ile IKONOS kombinasyonu ve yersel ölçüm ile IKONOS PAN-SHARPENED kombinasyonu sonucu buluna değerler ayrı ayrı amenajman planı değerleri ile karşılaştırıldığında anlamlılık seviyesi 0.924 ile 0.948 arasında değişmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık seviyesine göre hesaplanan değerler ile amenajman planı değerleri arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır.

Hesaplanan ağaç servetleri ve bunlara ilişkin istatistik değerlendirmeleri Tablo 4.13, Tablo 4.15, Tablo 4.21, Tablo 4.22, Tablo 4.23' de verilmiştir. Sadece yersel ölçümlere dayalı olarak yapılan hesaplamalar sonucu ortalama ağaç serveti 56.070 m³, toplam ağaç serveti 4350890.589 m³ bulunmuştur. Yersel ölçüm ve IKONOS uydu görüntüsünün kombinasyonundan hesaplanan ortalama ağaç serveti 56.430 m³, toplam ağaç serveti 4318172.586 m³ bulunmuştur. Yersel ölçüm ve IKONOS-PANSHARPENED kombinasyonu için ise ortalama ağaç serveti 54.550 m³, toplam ağaç serveti 4185562.599 m³ olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarla bulunan ağaç serveti değeri amenajman planı değerleri ile karşılaştırıldığında en yüksek ilişki yersel ölçüm ve amenajman planları arasında (0.904) görülmüştür. Yersel ölçüm ile IKONOS kombinasyonu ve yersel ölçüm ile IKONOS PAN-SHARPENED kombinasyonunun amenajman planları arasındaki ilişki de 0.881 ve 0.885 olarak oldukça yüksek çıkmıştır. Eşleştirilmiş T testi sonucuna göre, anlamlılık seviyesi 0.114 ile 0.132 arasında değişmektedir. $\alpha = 0.05$ anlamlılık seviyesine göre amenajman planı ile diğer ölçümler arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır.

Amenajman planı verilerine göre, çalışma alanında sırasıyla, 30.10 ha, 196.50 ha, 37.50 ha, 272.10 ha, 282.30 ha küçük alanlara sahip *yapraklı yaşlı*, *karışık yapraklı yaşlı*,

İbrelî hakimiyetinde karışık genç, ibrelî hakimiyetinde karışık yaşlı ve yapraklı hakimiyetinde karışık orta yaşlı sınıflarına dahil meşcereler bulunmaktadır. Oldukça küçük alanlara sahip olmalarından dolayı, kullanılan örnekleme sistemiyle temsil edilemedikleri için bu sınıflara ilişkin alan ve hacim hesaplamaları yapılamamıştır. Yöntemler, bölgesel ya da ulusal bazda büyük alanlarda yapılacak çalışmalar için test edilmiş olup, alan ve ağaç sereveti sonuçlarına ilişkin yapılan değerlendirmelere göre alan büyüdükçe elde edilen sonuçlarda pozitif yönde gelişme olacağı anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, sadece yersel ölçümlere dayalı olarak gerçekleştirilen tek aşamalı örnekleme ile yersel ölçüm ve uydu görüntüsünün kombinasyonuna dayalı çok aşamalı örnekleme yöntemiyle elde edilen sonuçlar arasında anlamlı düzeyde önemli bir fark bulunmamaktadır.

Yapılan çalışma, büyük alanlarda yersel ölçüme dayalı olarak gerçekleştirilecek envanter ile yersel ölçüm ve uydu görüntüsünün kombinasyonuna dayalı olarak gerçekleştirilecek envanter arasında fark bulunmadığını göstermektedir. Buna göre, UOE gibi büyük alanları kapsayan çalışmalarda IKONOS uydu görüntüsünden faydalanılarak Katmanlı İki Aşamalı Örnekleme Yönteminin kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Bundan sonra, gerçekleştirilecek çalışmalarda uydu verilerinden yararlanılmasına karar verilirken, zaman ve yapılacak olan masraf kısıtlayıcı faktörler olarak ön plana çıkmaktadır. Çünkü orman envanterinde uydu verilerinden yararlanılmak istenmesinin başında, uydu verilerinin temini ve yorumlanmasında harcanan zaman ve masraflarına karşılık, arazi çalışmalarının masrafını ve süresini kısaltıyor olması gelmektedir.

Konuyla ilgili çalışmalara ilişkin kaynaklarda, geleneksel envanter yöntemlerinin etkinliğinin artırılması ve arazi çalışmalarının masrafının ve süresinin azaltılmasında uydu görüntülerinden yararlanılabileceği görülmektedir.

Dees et al. ve Dahm et al. tarafından Almanya’da yapılan çalışmalarda, uydu verileri kullanılarak doğruluk ve güven düzeyi düşürülmeden ulusal orman envanterinde ölçülen örnek alan sayısının azaltılabileceği belirtilmektedir. Dees et al. tarafından, UOE’nde örnek alanların yerinin bulunması çok fazla zaman harcanmasına neden olmasından dolayı, uydu verileri ile kesin olarak orman olduğu bilinen yerlerin tespit edilmesi,

envanter gruplarının orman olmayan yerlerde gereksiz zaman harcamasını engelleyeceği belirtilmiştir (Özdemir, 2003). Chen et al. (2008), önemli derecede daha kısa zamanlarda, doğru ve detaylı harita üretmekte uydu görüntüsü kullanımının etkili bir yol olduğunu belirtmiştir. Makela and Pekkarinen (2004), tarafından, çok kaynaklı orman envanterinin, planlama çalışmasının en önemli ve zaman alıcı kısmını oluşturan arazi çalışmalarının azaltılmasında önemli bir yöntem olduğu vurgulanmıştır. Yapılan çalışmada ise, traktlara ait uydu görüntüsünün sınıflandırılması yoluyla ilgili sınıfların alanlarının hesaplanması işlemi, arazide traktlar üzerinde ilgili sınıflara ilişkin sınır hatlarının kesişimi ve hat uzunlukları dikkate alınarak alanların belirlenmesi işlemine göre daha kolay ve kısa sürede yapılabileceği görülmüştür.

Kullanılan yöntem, envanter verilerinin etkili ve hızlı bir şekilde elde edilmesini sağlarken aynı zamanda daha az sayıda personelle ve daha uygun maliyetle temin edilmesini sağlamalıdır. Uydu verilerinin yersel ölçümlerle kombine edilerek kullanılma olanağı, geleneksel yöntemlere ekonomik olarak alternatif olacağı düşüncesi yönünde araştırmalar yapılmıştır. Yukarıda Dees et al. ve Dahm et al. tarafından belirtilmiş olan, uzaktan algılama verileri kullanılarak UOE' nde ölçülecek örnek alanların sayısının azaltılabilecek olması zaman tasarrufu sağlamanın yanı sıra yersel ölçüm masraflarının azaltılmasını da sağlayacaktır. McRoberts and Tomppo (2007), uzaktan algılama verilerinin daha masraflı olan yersel gözlem ve ölçümlerin yerine kullanılabileceğini belirtmektedir. Çoğu UOE' leri için, bir örnek alandan diğerine ulaşım maliyeti, örnek alan ölçüm masrafının en yüksek kısmını oluşturduğu, çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanılarak örnek alan durumlarının gözlemlenmesinin bile önemli masraf azalışları sağlayabileceğine dikkat çekilmiştir.

Çok kaynaklı orman envanterinin ilk uygulanmaya başlandığı Finlandiya UOE' de, oldukça küçük ilave masraflarla envanter etkinliğini artırmasının yanı sıra, daha az maliyetle envanter verilerinin toplanması sağlanması nedeniyle uydu verilerinden etkin bir şekilde faydalanılmaktadır (Tomppo et al., 2008). Tomppo (2006) tarafından, uzaktan algılama verilerinden yararlanılarak, arazi ölçümleri ile çok masraflı olacak bazı bilgileri düşük masraflarla elde etmenin mümkün olduğu belirtilmektedir.

Uydu verilerinin fiyatlarında sürekli bir düşüş yaşanması, arşiv görüntülerinin daha uygun maliyetlerle elde edilebilecek olması orman envanteri çalışmalarında uydu görüntülerinden faydalanabilme olanaklarını artırmaktadır. Yapılacak olan çalışmada uydu görüntülerinden faydalanmanın envanter maliyeti açısından tasarruf sağlayıp sağlamayacağına ve çalışmanın ekonomik olarak sürdürülebilirliğine karar verebilmek için öncelikle farklı yöntemlere göre Türkiye UOE için uygun modelin iş akışlarının ve tanımlamalarının yapılması gerekmektedir. Örneklem sistemi için en uygun aralık ve mesafeler, örneklem ünitelerinin (traktların) büyüklüğü, örneklem ünitelerindeki örnek alan sayıları, ne tür verilerin toplanacağı, uydu verisinin kullanılması durumunda hangi verilerin elde edilmesinde faydalanılacağı, envanter ekipleri vb. dikkate alınarak kullanılabilecek yöntemler ilişkin iş akışlarının oluşturularak maliyetlerinin hesaplanması gerekmektedir.

UOE gibi çok geniş alanları kapsayan büyük ölçekli çalışmalarda, uydu verilerinin kısa zaman aralıkları ile orman alanlarında meydana gelen değişimleri saptanmasına olanak veren avantajının yanı sıra, zor, zaman alıcı ve masraflı olan yersel çalışmaların azaltılmasına olanak verebileceği gözükmemektedir. Dolayısıyla, bu durum geleneksel yöntemler ile uzaktan algılama verileri arasında entegrasyonun sağlanmasını kaçınılmaz kılmaktadır.

Sonuç olarak, IKONOS uydu görüntüsü amenajman planlarının düzenlenmesi amacıyla meşcere tipleri haritalarının çıkarımında kullanılabilir gözükmesine de, bölgesel ve ulusal bazda yapılacak çalışmalarda önemli bir bilgi kaynağıdır. Gelişen teknolojiyle birlikte ortaya çıkan yeni görüntü işleme yöntemlerinin takip edilerek yeni nesil uydu görüntülerinin orman amenajmanında kullanım olanaklarının araştırılmasına devam edilmelidir. Yersel ölçüm ve uydu görüntüsünün bir arada kullanıldığı çok aşamalı örneklem sistemi, daha büyük alanlarda test edilerek, kullanılacak örneklem sistemi için en uygun aralık ve mesafe değerleri ile traktların büyüklükleri ve üzerlerinde örnek alan adetlerinin belirlenmesine yönelik araştırmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

ANDERSEN, G.L., 1998, *Classification and estimation of forest and vegetation variables in optical high resolution: A review of methodologies*, Interim Report, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg Austria, IR-98-085

ANONİM, 2003, İstanbul Orman Bölge Müdürlüğü, Şile, Ağva, Sahilköy, Yeşilvadi, Beykoz, Ömerli, Kanlıca, Kartal, Sultanbeyli, Alemdağ Orman işletme Şefliği Amenajman Planları.

ANONİM, 2006, Orman Varlığımız, Çevre ve Orman Bakanlığı Orman Genel Müdürlüğü Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, OGM Matbaası, Ankara

ANONİM, 2006, Definiens, Professional 5, User Guide, Definiens AG, München.

ANTUNES, A.F.B., LINGNAU C., CENTENO, J.A.S., 2003, Object Oriented Analysis and Semantic Network for High Resolution Image Classification, *Bol. Cienc. Geod., Sec. Artigos, Curitiba*, 9(2), 233-242

ASAN, Ü., 1999, Using Possibilities Of Satellite Images In Forestry And The Applications In Turkey, *International Symposium On Remote Sensing and Integrated Technologies*, October 20-22, Istanbul, s. 113-126

ASAN, Ü., 2000, Türkiye İçin Uygun Ulusal Orman Envanteri Modelinin Belirlenmesi, *Orman Bakanlığı Bülteni*, No 2, s. 18-28, Ankara

ASAN, Ü.; BAŞKENT, E.Z., ÖZÇELİK, R., 2001: Gelişmiş Ülkelerdeki Ulusal Orman Envanteri Sistemleri ve Türkiye İçin Öneriler, *1. Ulusal Ormancılık Kongresi Bildirileri*, 19-20 Mart 2001, Ankara, Türkiye Ormancılar Derneği Yayınları s. 30-51, Ankara.

ASAN, Ü. ve ÖZDEMİR, İ., 2004, Separation of Agricultural Aimed PlantationnFrom The Forest Cover by using The LANDSAT-5 TM and SPOT-4 HRVIR Data in Turkey. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVI (8/W2), pp.324-327

ASAN,Ü., ÖZDEMİR, İ., ÖZKAN, U. Y., 2004, Çok Kaynaklı orman Envanterinde Kullanılabilecek Çok Aşamalı Örnekleme Yöntemleri, *İ.Ü.Orman Fakültesi Dergisi*, 54(2), 15-28

ASAN, Ü. 2005, Orman Envanteri Kavramının Sürdürülebilir Orman İşletmeciliği Çerçevesinde Yeniden Değerlendirilmesi ve Günümüzdeki İşlevi, *I. Çevre ve Ormancılık Şurası*, Mart 2005, Antalya, Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı yayınları, 599-621

ASAN Ü. ve YEŞİL, A. 2005, Ulusal Orman Envanterinin Türkiye için Önemi ve Model seçiminde Gözetilecek Genel kriterler, *Türkiye Ulusal Orman Envanteri*, 24-28 Eylül 2002, İstanbul, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, 112-131

ASAN, Ü., YEŞİL, A., ÖZDEMİR, İ., ERCAN, M., BAŞ, N., ÜN, C., KÜNDÜK, H.E., BAŞARAN, M.A, 2007, *Türkiye Ulusal Orman Envanteri Konseptine Uydu Görüntülerinin Entegrasyonu*, Proje No: TOVAG-JULICH 2002-1, TUBİTAK

BENZ, U.C., HOFMANN, P., WILLHAUCK, G., LINGENFELDE, I., HEYNEN, M., Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58 (2004), 239-258

BLASCHKE, T., BURNETT, C., PEKKARINEN, 2004, *Remote sensing image analysis: including the spatial domain, Chapter 12*, Kluwer Academic Publishers, United States of America, 1-4020-2560-2

BOCK, M.; XOFİS, P.; MİTCHLEY, J.; ROSSNER, G.; WİSSEN, M. 2005, Object-oriented methods for habitat mapping at multiple scales– Case studies from Northern Germany and Wye Downs, UK. *Journal for Nature Conservation* 13, 75–89.

CHEN, Y., SU, W., LI, J., SUN, Z., 2009, Hierarchical object classification using very high resolution imagery and LIDAR data over urban areas, *Advances in Space Research*, 43 (2009), 1101-1110

CHUBEY, M.S., FRAKLIN, S.E., WULDER, M.A., 2006, Object-based analysis of IKONOS-2 imagery for extraction of forest inventory parameters, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(4), 383-394

CORONA, P., KÖHL, M., MARCHETTİ, M., 2003, *Advances in forest inventory for sustainable forest management and biodiversity monitoring*, Kluwert Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands.

CURRAN, J.P., 1985, *Principles of Remote Sensing*, Longman Scientific & Technical, John Wiley&Sonns. Inc., New York, USA

ÇAKIR, G., 2005, *Orman Amenajman Planlamasında Gerekli Bilişimin Sağlanması İçin Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Tekniklerinden Yararlanılması*, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

DAHM, S.; AKÇA, A.; SABOROWSKI, J., 1997: A three phase sample design for Federal Forest Inventory, *Allgemeine Forst und Jagdzeitung*, D 20867 E, 77-82, Göttingen.

DEES, M., PELZ D.R., KOCH B. 1998: Integrating Satellite Based Forest Mapping With LANDSAT TM in a Concept of a Large Scale Forest Information System, *Photogrametrie . Fernerkundung . Geoinformation*, 209-220.

DEES, M., ASAN, Ü., YEŞİL, A., 2005, Ulusal Orman Envanterinde Uzaktan Algılamanın Entegrasyonu Örneği ve Bu Seçeneklerin Türkiye Ulusal Orman Envanteri

için Ne Anlama Geldiğinin İrdelenmesi, Türkiye *Ulusal Orman Envanteri Sempozyumu*, 24-28 Eylül 2002, İstanbul, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, 141-159

DORREN, K.A., MAIER, B., SEIJMONSBERGEN, A.C., Improved LANDSAT-based forest mapping in steep mountainous terrain using object-based classification, *Forest Ecology and Management* 183(2003), 31-46.

ELER, Ü., 2001, *Orman Amenajmanı*, Süleyman Demirel Üniversitesi Yayını No:17 (1. Baskı), Isparta.

ELER, Ü., 2005, Ulusal Orman Envanteri Kavramının Türkiye Ormancılığına Girişi ve Gelişimi, *Türkiye Ulusal Orman Envanteri Sempozyumu Bildirileri*, 24-28 Eylül 2002 İstanbul, İstanbul Üniversitesi, 27-35

ERASLAN, İ., 1971, *Orman Amenajmanı*, Kutulmuş Matbaası, İstanbul, İ.Ü. Yayın No: 1645, O.F. Yayın No: 169.

ERDİN, K., 1986: *Fotoyorumlama ve Uzaktan Algılama*, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayını No: 3404/381, İstanbul.

FURUYA, N., SAITO, P., TITH, B., MEAS, M., 2007, *Object-oriented land cover classification based on two satellite images obtained in one dry season in cambodia, Forest Environment in the Mekond River Basin (Part II)*, Springer Japan, 978-4-431-46503-4

GIANNETTI, F., GOTTERO, F., TERZUOLO, P.G., 2003, *Use of High-Resolution Satellite Images in the Forest Inventory and Mapping of Piemonte Region (Italy)*, I.P.L.A.S.P.A, C.so Casale, www.ipla.org/pdf/lbc_0115.pdf, [Ziyaret Tarihi: 9 Şubat 2009].

GILLIS, M.D., 2001, Canada's national forest inventory, *Environmental Monitoring and Assessment*, 67, 121-129.

GILLIS, M.D. and OMULE, A.Y., 2005, Establishment of Canada's National Forest Inventory: Approach and Issues, *Proceedings of the Fifth Annual Forest Inventory and Analysis Symposium*, November 18-20, 2003 New Orleans-Louisiana, LA. Gen. Tech. Rep. WO-69, U.S. Department of Agriculture Forest Service, 9-12.

GONG, P., BIGING, G.S., LEE, S.M., MEI, X., SHENG, Y., PU, R., XU, B., 1999, Photo Ecometrics for Forest Inventory, *Geographic Information Sciences*, 5(1), 9-14.

HAJEK, F., 2006, Object-oriented classification of IKONOS satellite data for the identification of tree species composition, *Journal of Forest Science*, 52 (4), 181-187

HAJEK, F., 2006, *Object analysis of IKONOS xs and PAN-SHARPENED imagery in comparison for purpose of tree species estimation*, http://www.commission4.isprs.org/obia06/Papers/13_Automated%20classification%20IC%20I%20-%20Forest/OBIA2006_Hajek.pdf, [Ziyaret Tarihi: 18 Şubat 2008]

HAY, G.J., CASTILLA, G., WULDER, M.A., RUIZ, J.R., 2005, An automated object-based approach for the multiscale image segmentation of forest scenes, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7(4), 339-359.

HEATH, B. L., 2006, *Evaluating scale to achieve optimal image classification accuracy in New Hampshire forests*, Thesis (MD), University of New Hampshire.

HEMPHILL, S., 2004, *Investigation into the suitability of object-based segmentation and classification of LANDSAT satellite imagery for Turkish National Forest Inventory*, Thesis (MD), Albert-Ludwigs University.

HEROLD, M., SCEPAN, J., MÜLLER, A., GÜNTHER, S., 2002, Object-oriented mapping and analysis of urban land use/cover using IKONOS data, *Proceedings of 22 EARSEL Symposium*, Geoinformation for European-wide integration, June 2002, Prague.

HOLMGREN, P. and THURESSON, T., 1998: Satellite Remote Sensing for Forestry Planning-A Review, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 13(1), s. 90-110.

HOLOPAINEN, M. and KALLIOVIRTA, J., 2006, *Modern Data Acquisition for Forest Inventories, Forest Inventory – Methodology and Applications*, Springer, Netherlands, 1-4020-4379-1, s.343-362

HYVÖNEN, P., PEKKARINEN, A., TUOMINEN, S., Segment-level stand inventory for forest management, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 20 (2005), 75-84

HYYPÄ, H. and HYYPÄ, J., 1999, Comparing the accuracy of laser scanner with other optical remote sensing data sources for stand attribute retrieval. *The Photogrammetric Journal of Finland* 16:5-15.

JENSEN, R.J., 1996: *Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, ISBN 0-13-205840-5.

KALIPSIZ, A., 1984, *Dentrometri*, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, İ.Ü. Yayın No: 3194, O.F. Yayın No: 354

KANGAS, A., GOVE, J. H., SCOTT, C. T., 2006, *Forest Inventory, CHAPTER 1*, Springer, Netherlands, 1-4020-4379-1

KARAKIŞ, S., MARANGOZ A. M., BÜYÜKSALİH, G., 2005, QUICBIRD PAN-SHARPENED Görüntüsü Üzerinden Otomatik Detay Çıkarımı ve Coğrafi Bilgi Sistemlerine Uygunluğunun Analizi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, http://jeodezi.karaelmas.edu.tr/karakis/KURULTAY3_karakis.pdf, [Ziyaret Tarihi: 30 Aralık 2007]

KATILA, M. and TOMPPA, E., 2001, Selecting Estimation Parameters for the Finnish Multisource National Forest Inventory, *Remote Sensing of Environment*, 76(1), 16-32

KATILA, M., 2004, Controlling the estimation errors in the Finnish multisource national forest inventory, *The Finnish Forest Research Institute*, Helsinki, Research Papers 910.

KAYA, Ş., İNCE, C.D., ŞAHİN, M., 2002, Uydu Görüntülerinin Çözünürlüğe Bağlı Geometrik Doğruluğunun GPS ve Harita Koordinatları Kullanılarak Analizi, *Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl sempozyumu*, 16-18 Ekim 2002, Konya, 443-450.

KOÇ, A. ve YENER, H., 2006, LANDSAT ETM verilerinde topografik normalizasyonun sınıflandırma doğruluğu üzerindeki etkisi, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, Seri A, 56-2, 57-76.

KÖHL, M., 1993, *Forest Inventory*, Pancel, L. (ed), *Tropical Forestry Handbook*, Springer Verlag, Heidelberg, 243332, s. 273-276

KÖHL, M. and KUSHWAHA, S.P.S., 1994, A four-phase sampling method for assessing standing volume using LANDSAT TM data, aerial photography and field assesments, *Commonwealth Forestry Review*, Volume 73(1), 35-42

KÖHL, M. and PAIVINEN, R., 1996, *Definition of a system of nomenclature for mapping European forests anad for compiling a Pan-European information system, Final Report of the Project*, Official for Publications of the European Communities, Luxembourg, EUR 164.

KÖHL, M., 2001, Methods-inventory concept NFI2, *Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of The Second Assessment*, CH-8903, 19-44

KÖHL, H., MAGNUSSEN, S., MARCHETTİ, M. 2006, *Sampling Methods, Remote Sensing and GIS Multisource Forest Inventory*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 10 3-540 32571-0

KÖSE, S.; ÇAKIR, G.; SÖNMEZ, T.; SİVRİKAYA, F., 2002, Uzaktan Algılamanın Orman Amenajman Planlamasında ve Bilgi Sistemleri Kurulmasındaki Önemi, *Orman Amenajmanı'nda Kavramsal Açılımlar ve Yeni Hedefler Sempozyumu*, 18-19 Nisan 2002, İstanbul, 148-157

KURZ, W.A. and APPS, M.J., 2006, Developing Canada's national forest carbon monitoring, accounting and reporting system to meet the reporting requirements of the Kyoto protocol, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11 (2006), 33-43.

LALIBERTE, A.S., RANGO, A., HAVSTAD, K.M., PARIS, J.F., BECK, R.F., MCNEELY, R., GONZALEZ, A.L., 2004, Object-oriented image for mapping shrub encroachment from 1937 to 2003 in southern New Mexico, *Remote Sensing of Environment*, 93(2004), 198-210

LI, X., ZHAO, S., RUI, Y., TANG, W., 2007, An object-based classification approach for high-spatial resolution imagery, *Geoinformatics 2007: Remotely Sensed Data and Information*, Proc. Of SPIE Vol. 6752, 675230, 1-9

LILLESAND T.M.; KIEFER R.W., 2001: *Remote Sensing and image interpretation, Fourt Edition*, John Wiley & Sons, Inc., New York, ISBN 0 471 255515-7

LILLESAN, T.M., KIEFER, R.W., CHIPMAN, J.W., 2003, *Remote sensing and image interpretation*, John Wiley & Sons Inc., New York, 0471152277.

LOCKHART, L.M, 2003, Applications of satellite remote sensing to develop forest inventory for strategic-level planning, Thesis (MD), *Faculty of Forestry and the Forest Environment*, Lakehead University.

LU, D. and WENG, Q., 2007, A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance, *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 823-870.

MAKELA, H. and PEKKARINEN, A., 2001, Estimation of Timber Volume at the Sample Plot Level by Means of Image Segmentation and LANDSAT TM Imagery, *Remote Sensing of Environment*, 77, 66-55

MAKELA, H. and PEKKARINEN, A., 2004; Estimation of forest stand volumes by LANDSAT TM imagery and stand-level fieldinventory data, *Forest Ecology and Management*, 196(2004), 245-255

MARANGOZ, M. 2008, *Uzaktan algılama (Giriş)*, http://jeodezi.karaelmas.edu.tr/linkler/akademik/marangoz/marangoz_files/DersNotlari/UZALG/UZAL_01.pdf , [Ziyaret Tarihi: 7 Kasım 2008]

MARCAL, A.R.S., BORGES, J.S., GOMES J.A., PINTO DA COSTA J.F., 2005, Land Cover Update by Supervised Classification of Segmented ASTER Images, *International Journal of Remote Sensing*, 26 (7), 1347-1362

MATHER, P.M., 1987: *Computer Processing of Remotely-Sensed Images*, ISBN 0-471-90648-4.

MATHIEU, R., ARYAL, J., 2005, Object-oriented classification and IKONOS multispectral imagery for mapping vegetation communities in urban areas, *The 17th Annual Colloquium of Spatial Information Research Centre Unniversity of Otago*, 24-25 November 2005, Dunedin, New Zealand

MATHIEU, R., ARYAL, J., CHONG, A., 2007, Object-Based classification of IKONOS imagery for mapping large-scale vegetation communities in urban areas, *Sensors*, 7(2007), 2860-2880.

MAXWELL, T., 2005, *Object-oriented classification: Classification of PAN-SHARPENED QuickBird images and a fuzzy approach to improving image segmentation efficiency*, Thesis (MD), The University of New Brunswick.

MCROBERTS, R. E. and TOMPPPO, E. O., 2007; Remote sensing support for national forest inventories, *Remote Sensing of Environment*, 110 (2007), 412-419

MUSAOĞLU, N., 1999, *Elektro-Optik ve Aktif Mikrodalga Algılayıcılarından Elde Edilen Uydu Verilerinden Orman Alanlarında Meşcere Tiplerinin ve Yetiştirme Ortamı Birimlerinin Belirlenme Olanakları*, Doktora Tezi, İ.T.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü.

NELSON, M. N., , 2005, *Satellite remote sensing for enhancing national forest inventory*, Thesis (PhD), University of Minnesota

ÖRMECİ, C., 1987: Uzaktan Algılama (Temel Esaslar ve Algılama sistemleri), *İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü*, Cilt 1, Sayı 1345, İstanbul

ÖZÇELİK, R., 2003, Ulusal Orman Envanteri Kavramı ve İsveç Örneği, *S.D.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, Seri A, 2, 69-82.

ÖZDEMİR, İ., 2003, *Üç Aşamalı Örnekleme Metodu ve Bölgesel (Doğu Marmara Bölgesi) Orman Envanterinde Uygulanması*, Doktora Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

ÖZDEMİR, İ., 2004, Orman envanterinde uydu verilerinden yararlanma olanakları, *S.D.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, Seri:A, Sayı: 1, 84-96.

ÖZKAN, U.Y., 2003, *Uydu Görüntüleri Yardımıyla Meşcere Parametrelerinin Kestirilmesi ve Orman Amenajmanında Kullanılması Olanakları*, Y.Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

PEKKARINEN, A. 2002. A method for the segmentation of very high spatial resolution images of forested landscapes. *International Journal of Remote Sensing* 23 (14) :2817-2836.

PEKKARINEN, A. 2004. *Image segmentation in multi-source forest inventory*, Finnish Forest Research Institute, Vantana Research Centre, Finland, Research Papers 926, 952-10-2003-2.

PITKANEN, J. 2001. Individual tree detection in digital aerial images by combining locally adaptive binarization and local maxima methods. *Canadian Journal of Forest Research*, 31:832-844.

PLATTIER, T., LOUREIRO, M., MARQUES, P., CAETANO, M., 2006, Spectral analyses and classification of IKONOS images for forest cover characterisation, *Proceedings of the 2nd Workshop of the EARSeL SIG on Land Use and Land Cover*, Center for Remote Sensing of Land surfaces, Bonn, 28-30 September, 260-268

REGO, L.F.G., 2003, *Automatic land-cover classification derived from high-resolution IKONOS satellite image in the urban atlantic forest in rio de janerio, Brasil by means of an object-oriented approach*, Thesis (PhD), Albert-Ludwigs-Universitat.

REGO, L.F.G., UEFFING, C., VIANNA, S.B., 2007, *Automatic land-cover classification derived from high-resolution IKONOS satellite imagery in the urban atlantic forets of Rio de Janerio,Brazil, by means of an Object-Oriented Approach (CHAPTER 2)*, *Applied Remote Sensing for Urban planning, Governance and Sustainability*, Springer Berlin Heidelberg, 978-3-540-68009-3

RENAUD, M., ARYAL, J., CHONG, A.K., 2007, Object-based classification of IKONOS imagery for mapping large-scale vegetation communities in urban areas, *Sensors* 7(2007), 2860-2880.

RICHARDS, A.J. and JIA X., 1999: *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Third Edition, Springer, Australia, 3-540-64860-7.

SANDERSON, R., 2009, *Introduction to remote sensing*, New Mexico State University, http://spacegrant.nmsu.edu/statewide/projects/remote_sensing.pdf, [Ziyaret Tarihi: 13 Nisan 2009].

SESÖREN, A. 1999: *Uzaktan Algılamada Temel Kavramlar*, Mart Matbaacılık Sanatları, İstanbul

SCOTT, C.T and GOVE, J.H., 2002, *Forest Inventory*, Encyclopedia of Environmetrics, 2, 814-820

SMİTH, R.B., 2006, Remote sensing of environment (RSE), MicroImages, Inc., <http://www.microimages.com/getstart/pdf/intorse.pdf> , [Ziyaret Tarihi: 13 Nisan 2009]

STAHL, G, 2005, The new swedish national forest inventory, Forest Inventory and Planning in Nordic Countries, *Proceedings of SNS Meeting at Sjusjoen*, September 6-8 204, Norway, NIJOS-report 09/05, Norwegian Institute of Land Inventory, 133-142.

SUNAR, F. ve KAYA; Ş., 1997: An Assessment of the Geometric Accuracy of Remotely Sensed Images”, *International Journal of Remote Sensing*, 18-14, 3069-3074.

ŞEKER, D.Z., MUSAOĞLU, N., KAYA, Ş., 2005, Uydu Görüntüleri ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Orman Haritalarının Oluşturulmasında Kullanımı, *Türkiye Ulusal Orman Envanteri Sempozyumu*, 24-28 Eylül 2002, İstanbul, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, 350-360

TOKMANOĞLU, T., 1975: Bitkilerin Enerji Dalgalarını Yansıtma Özellikleri, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, Seri B, Cilt 25, Sayı 2, s. 193-215, İstanbul. (Çeviri HILDEBRANDT, G., 1976)

TOKOLA, T., PITKANEN, S., MUINONEN, E., 1996, Point Accuracy of a Non-parametric Method in Estimation of Forest Characteristics with Different Satellite Materials, *International Journal of Remote Sensing*, 17(12), 2333-2351

TOKOLO, T., 2006, Europe (CHAPTER 18), *Forest Inventory – Methodology and Applications*, Springer, Netherlands, 1-4020-4381-3

TOMMPO, E., 2005, The Finnish Mult-Source National Forest Inventory, *Forest Inventory and Planning in Nordic Countries*, 6-8 September 2004, Norway, NIJJOS Rapport 9/05, 169-203

TOMMPO, E., 2006, *Remote Sensing Requirements to Support Forest Inventories, Observing Land From Space: Science, Customers and Technology*, Kluwer Academic Publisher, New York, 0-306-48124-3

TOMMPO, E., 2006, *The finnish national forest inventory, Forest Inventory-Methodology and Applications, Chapter 11*, Springer, Netherland, 978-1-4020-4381-9

TOMMPO, E., OLSSON, H., STAHL, G., NILSSON, M., HAGNER, O., KATILA, M., 2008, Combining national forest inventory field plots and remote sensing data for forest databases, *Remote Sensing of Environment*, 112(2008), 1982-1999

TUOMINEN, S. and POSO, S. 2001. Improving multi-source forest inventory by weighting auxiliary data sources. *Silva Fennica*, 35:203-214.

TUOMINEN, S. and PEKKARINEN, A., 2005, Performance of Different Spectral and Textural Aerial Photograph Features in Multi-Source Forest Inventory, *Remote Sensing and Environment* 94(2005), 256-268

ŞEKER, D. Z.; MUSAOĞLU, N.; KAYA Ş., 2005, Uydu Görüntüleri ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Orman Haritalarının Oluşturulmasında Kullanımı, Türkiye Ulusal Orman Envanteri, 24-28 Eylül 2002, İstanbul, *İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları*, 350-360

WANG, L., SOUSA, W.P., GONG, P., 2004. Integration of object-based and pixel-based classification for mapping mangroves with IKONOS imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 25(24), 5655-5668

YENER, H., 2005, Ulusal Orman Envanterinde Uzaktan Algılama Verilerinden Yararlanma Olanakları, Türkiye Ulusal Orman Envanteri, 24-28 Eylül 2002, İstanbul, *İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları*, 424-446

YEŞİL, A., ASAN, Ü., COŞKUN, G., ÖRMECİ, C., KAYA, Ş. 1999, Statical Modelling and Stand Type Forest Mapping Selected Area Around Istanbul Using Landsat-TM and SPOT Data, *Proceedings of the Internatinal Symposium on Remote Sensing & Integrated Technologies*, İstanbul, 151-162

ÖZGEÇMİŞ

Ulaş Yunus ÖZKAN, 1977 yılında İzmir-Bornova’da doğdu. İlk öğrenimini Uşak Ergenekon İlkokulunda, Orta ve Lise öğrenimini de Uşak Atatürk Lisesi’nde tamamladı. 1995 yılında İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümünde Lisans eğitime başlayarak; 1999 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı Orman Amenajmanı Programı’nda Yüksek Lisans eğitime başladı. 2000 yılında İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü kadrosuyla Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Orman Amenajmanı Programına Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2003 yılında “Uydu Görüntüleri Yardımıyla Meşcere Parametrelerinin Kestirilmesi ve Orman Amenajmanında Kullanılması Olanakları” başlıklı Yüksek Lisans tezini tamamlayarak, aynı yıl İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalı Orman Amenajmanı Programı’nda Doktora eğitime başladı. Halen Araştırma Görevlisi olarak çalışan Ulaş Yunus ÖZKAN, iyi derecede ingilizce bilmektedir.