



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



DOKTORA TEZİ

**İklim Değişiminin Akdeniz Orman Yapısı Üzerindeki Etkisinin Uydu Görüntüsü
(Landsat TM/ETM/OLI) Kullanılarak Değerlendirilmesi**

Maliheh AREKHİ

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Ahmet YEŞİL**

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği Programı

Haziran, 2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Maliheh AREKHİ tarafından, **Prof. Dr. Ahmet YEŞİL** danışmanlığında hazırlanan "**İklim Değişiminin Akdeniz Orman Yapısı Üzerindeki Etkisinin Uydu Görüntüsü (Landsat TM/ETM/OLI) Kullanılarak Değerlendirilmesi**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından **10/06/2022** tarihinde yapılan sınav sonucunda **oy birliği** ile başarılı bulunarak **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

	İmza	Sonuç
DANIŞMAN	Prof. Dr. Ahmet YEŞİL	<input type="checkbox"/>
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Mühendisliği Anabilim Dalı	Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Prof. Dr. Füsun BALIK ŞANLI	<input type="checkbox"/>
	Yıldız Teknik Üniversitesi Fotogrametri Anabilim Dalı	Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Doç. Dr. Ulaş YUNUS ÖZKAN	<input type="checkbox"/>
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Orman Mühendisliği Anabilim Dalı	Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Prof. Dr. Ender MAKİNECİ	<input type="checkbox"/>
	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Toprak Anabilim Dalı	Kabul <input type="checkbox"/> Ret
ÜYE	Prof. Dr. Çiğdem GÖKSEL	<input type="checkbox"/>
	İstanbul Teknik Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı	Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Annem/Babam/Hocalarıma/Eşim ve Çocuklarıma ithaf ediyorum...



BÜTÇE DESTEKLERİ

İklim Değişiminin Akdeniz Orman Yapısı Üzerindeki Etkisinin Uydu Görüntüsü (Landsat TM/ETM/OLI) Kullanılarak Değerlendirilmesi

Bu tez çalışması için herhangi bir kurumdan bütçe desteği alınmamıştır.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Ahmet Yeşile'e, ilgisini ve önerilerini göstermekten kaçınmayan sayın Prof. Dr. Füsun Balık Şanlı'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Tez çalışma sürecinde bana desteklerini esirgemeyen ayrıca benimle deneyimlerini ve değerli bilgilerini paylaşan ve tezimin gelişmesinde yol gösteren ve katkı sağlayan ve beni hep motive eden değerli Doç. Dr. Ulaş Yunus Özkan'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez izleme jürimde bulunan hocalarım Prof. Dr. Çiğdem Göksel ve Prof. Dr. Ender Makineci'e katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmamın çeşitli aşamalarında bana destek veren Dr. Öğr. Üyesi Serhun Sağlam'a ayrıca teşekkür ederim

Okul arkadaşlarımdan Dr. Öğr. Üyesi İnci Çağlayan'a ve Araş. Gör. Tufan Demirel'e desteği için çok teşekkür ederim. Bu süreçte çalışmamın ilerlemesine katkı sağlayan tüm uzmanlara ve katılımcılara teşekkür ederim. Amenajman planları verilerini paylaştığı için Orman Genel Müdürlüğü'ne çok teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi tez çalışmamda beni yürekten büyük bir özveriyle destekleyen kıymetli eşim Esmail Eiri'e gönülden sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2022

Maliheh AREKHI

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ KABUL VE ONAYI.....	ii
BEYAN	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
BÜTÇE DESTEKLERİ	iv
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	xi
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
ABSTRACT	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE	7
2.1. ORMAN AĞAÇ SINIRI	7
2.2. AĞAÇ SINIR DİNAMİKLERİNİ ARAŞTIRAN YAYINLAR	8
2.3. AĞAÇ SINIR ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN İSTATİSTİKSEL TEKNİKLER	11
2.4. AĞAÇ SINIR HARİTALAMASI	12
2.5. ORMAN AĞAÇ SINIRININ GENİŞLEMESİ	12
2.6. AĞAÇ SINIR ÇALIŞMALARINDA UA VE CBS'İN AVANTAJLARI	12
2.7. LANDSAT PROGRAMININ ARKA PLANI	13
2.8. UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİNİ KULLANARAK BİTKİ ÖRTÜSÜ ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ	15
2.9. NORMALİZE EDİLMİŞ FARK BİTKİ ÖRTÜSÜ İNDEKSİ (NDVI).....	16
2.10. TERMAL UZAKTAN ALGILAMA VE ARAZİ YÜZEY SICAKLIĞI (AYS).....	17
2.11. ORMAN MEŞCERE HARİTALARI.....	18
2.12. KONU İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ARAŞTIRMALAR	20
3. YÖNTEM	27
3.1. MALZEME.....	27

3.1.1. Çalışma Alanı.....	27
3.1.2. Bitki ve Orman Topluluklarının Çeşitleri ve Özellikleri	28
3.1.3. İklim Durumu.....	29
3.1.4. Yazılım ve donanım	29
3.1.5. Haritalar.....	29
3.1.6. İklim Verileri.....	30
3.1.7. Uzaktan Algılama Verileri	30
3.2. YÖNTEM	33
3.2.1. Ön hazırlıklar.....	33
3.2.2. Orman meşcere haritaları	39
3.2.3. İklim verileri.....	40
3.2.4. Veri Analizi	40
4. BULGULAR	52
4.1. ZAMAN SERİSİ ANALİZİ, MANN-KENDALL TREND ANALİZİ	52
4.2. ORMAN AĞAÇ SINIRININ YÜKSEKLİK DEĞİŞİMİ	54
4.3. TEST ALANLARININ AYS ve NDVI İSTATİSTİKSEL ANALİZİ.....	55
5. TARTIŞMA.....	84
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR.....	91

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Orman ağaç sınırı ekotonu [149].	7
Şekil 2.2: Uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile ilgili orman ağaç sınırı çalışmalarının özeti. Aşağıdakilere göre dökümler: A: Dünyada orman ağaç sınır çalışmalarının lokasyonları, B: çalışma kıtaları, ve C yayın yılı [28].	8
Şekil 2.3: Elektromanyetik spektrum ve spektral aralıklar [103].	14
Şekil 2.4: Pasif uzaktan algılama sistemleri [136].	15
Şekil 2.5: Su, Toprak, ve Vejetasyon yansıma formları [116].	16
Şekil 2.6: Arazi Yüzey Sıcaklığı (AYS) haritası : Örnek.	18
Şekil 3.1: Çalışma alanının konumu.	27
Şekil 3.2: İşlem akış şeması.	33
Şekil 3.3: Atmosferik düzeltme için Qgis ortamında Yarı Otomatik Sınıflandırma Eklentisi [29].	34
Şekil 3.4: Görüntülere "geoshift" işlevini uygulamadan önce ve sonra (NDVI).	36
Şekil 3.5: Qgis ortamında "qProf" eklentisi.	39
Şekil 3.6: Çalışma alanı ve belirlenen test alanları. Mavi kareler, örnek test alanlarının yerlerini göstermektedir.	41
Şekil 3.7: Çalışmada 1., 2., 3., ve 4. test alanları.	42
Şekil 3.8: Çalışmada 5., 6., ve 7. test alanları.	43
Şekil 3.9: Çalışmada 8. test alanı.	44
Şekil 3.10: Çalışmada 9., 10., ve 12. test alanları	45
Şekil 3.11: Çalışmada 11., 13., ve 14. test alanları.	46
Şekil 3.12: Çalışmada 15., 16., ve 17. test alanları.	47
Şekil 3.13: Çalışmada 8. test alanı.	48
Şekil 3.14: Çalışmada 19. ve 20. test alanları	49

Şekil 4.1: Temmuz ay sıcaklığı (Y eksenini : TMEAN7, TMAX7, TMIN7), ve AYS 1984den 2016ya kadar.....	53
Şekil 4.2: Her döneme ait orman ağaç sınırının yüksekliği (x eksenini=konum) (y eksenini=Yükseklik).	55
Şekil 4.3: AYS'nin normal dağılımını tüm araştırma dönemleri için Shapiro-Wilk test grafiği.	56
Şekil 4.4: NDVI'nin normal dağılımını tüm araştırma dönemleri için Shapiro-Wilk testi.	57
Şekil 4.5: AYS haritaları (1984, 1992, 2002, 2013, 2017).	58
Şekil 4.6: NDVI haritaları (1984, 1992, 2002, 2013, 2017).	59
Şekil 4.7: NDVI haritaları (1984, 2017) (mavi kareler, Hava Bing görüntüleri üzerindeki test alanlarda yerlerini göstermektedir)	60
Şekil 4.8: AYS haritaları (°C) (1984, 2017) (mavi kareler, Hava Bing görüntüleri üzerindeki test alanların yerlerini göstermektedir).	61
Şekil 4.9: 1984'ten 2017'ye kadar test alanların NDVI ve AYS (°C) değerleri (MIN, MAX, MEAN).	63
Şekil 4.10: 1984'ten 2017'ye kadar test alanlarının ortalama NDVI ve AYS (°C) değerleri (MEAN)(1, 2, 3, ve 4 test alanı).	64
Şekil 4.11: 1984'ten 2017'ye kadar test alanlarının ortalama NDVI ve AYS (°C) değerleri (MEAN)(5, 6, 7, ve 8 test alanı).	65
Şekil 4.12: 1984'ten 2017'ye kadar test alanlarının ortalama NDVI ve AYS (°C) değerleri (MEAN)(9, 10, 11, ve 12 test alanı).	66
Şekil 4.13: 1984'ten 2017'ye kadar test alanlarının ortalama NDVI ve AYS (°C) değerleri (MEAN)(13, 14, 15, ve 16 test alanı).	67
Şekil 4.14: 1984'ten 2017'ye kadar test alanlarının ortalama NDVI ve AYS (°C) değerleri (MEAN)(17, 18, 19, ve 20 test alanı).	68
Şekil 4.15: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alanlarının NDVI ve AYS (°C) haritaları (1, 2, 3, 4, ve 5).	69
Şekil 4.16: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alanlarının NDVI ve AYS (°C) haritaları (6 ve 7).	70
Şekil 4.17: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alanlarının NDVI ve AYS (°C) haritaları (8).	71
Şekil 4.18: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alanlarının NDVI ve AYS (°C) haritaları (9, 10 ve 12).	72
Şekil 4.19: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alanlarının NDVI ve AYS (°C) haritaları (11, 13, ve 14).	73

Şekil 4.20: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alalarının NDVI ve AYS(°C) haritaları (15, 16, ve 17).	74
Şekil 4.21: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alalarının NDVI ve AYS (°C) haritaları (18).	75
Şekil 4.22: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alalarının NDVI ve AYS (°C) haritaları (19 ve 20).	76
Şekil 4.23: Test alanların NDVI ve AYS (°C) kutu ploti (MIN, MAX, ve ortalama değerlerinin kutu ploti.	77
Şekil 4.24: Çalışma süresi boyunca ortalama NDVI ve AYS (°C) eğim analizi.	80
Şekil 4.25: Test alanların NDVI ve AYS (°C) dalgalanması (X Eksenini = Test alanlarının sayısı).	81
Şekil 4.26: Orman meşçere haritasından alınan her test alanının sınıfın miktarı metrekare.	83

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: Orman ağaç sınır çalışmalarında kullanılan veri türü (Chhetri and Thai, 2019).....	9
Tablo 2.2: Orman ağaç sınır çalışmalarında kullanılan uydu sensörlerine genel bakış.....	9
Tablo 2.3: Orman ağaç sınır dinamiklerini araştıran çalışmalarında kullanılan farklı veri kaynakları dağılımı [28].	10
Tablo 2.4: Landsat uydusunun özellikleri [87].....	13
Tablo 3.1: Çalışma alanın bitki örtüsü.....	28
Tablo 3.2: Kullanılan Landsat uydu görüntüleri.....	30
Tablo 3.3: Termal bantlarının kalibrasyon sabitleri.	38
Tablo 4.1: İklim değişkenlerinin zamansal seri analizi (aylık ortalama sıcaklık (TMEAN), aylık ortalama minimum sıcaklık (TMIN) ve aylık ortalama maksimum sıcaklık (TMAX)) ve AYS (MEAN, MAX, MIN) (ortalama 12 = ortalama Ocak- Aralık, ortalama 1.7 = ortalama Ocak - Temmuz sıcaklığı, X7 = ortalama Temmuz sıcaklığı).	52
Tablo 4.2: Orman ağaç sınırının yükselti pozisyonu (m) ve değişimi.....	54
Tablo 4.3: Beş döneme ait test alanlar için NDVI değerlerinin istatistik analiz sonuçları.....	78
Tablo 4.4: Beş döneme ait test alanlar için AYS (°C) değerlerinin istatistik analiz sonuçları.	78
Tablo 4.5: Beş dönem için AYS(°C) (MAX, MEAN, MIN) ve NDVI (MAX, MEAN, MIN)) arasındaki korelasyon matrisi.	79

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
Ha	: Hektar
T_{max}	: Ortalama maksimum sıcaklık
T_{mean}	: Ortalama sıcaklık
T_{min}	: Ortalama minimum sıcaklık
m	: Metre
°C	: Santigrat derece
°K	: Kelvin derece
K1	: Birinci kalibrasyon sabiti
K2	: İkinci kalibrasyon sabiti
L	: Sensördeki spektral radyans
L_{MIN}	: QCALMIN'e göre ölçeklendirilen spektral radyans
L_{MAX}	: QCALMAX'a göre ölçeklendirilen spektral radyans
QCAL	: Parlaklık değerleri
QCALMAX	: Maksimum parlaklık değeri
QCALMIN	: Minimum parlaklık değeri
PCA	: Ana bileşenler dönüşümü
SYM	: Sayısal yükseklik modeli
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
NDVI	: Normalize edilmiş bitki indeksi
TIRS	: Thermal Infrared Sensor
USGS	: Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Enstitüsü
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
P-value	: Statistical significance
UA	: Uzaktan Algılama
SD	: Sıklık derecesi
AYS	: Arazi Yüzey Sıcaklığı

NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index
NIR	: Yakın kızılötesi
TIR	: Termal Kızılötesi (Thermal Infrared)
USGS	: United States Geological Survey
ESA	: European Space Agency
ETM	: Enhanced Thematic Mapper
MSS	: Multispektral Tarayıcı
TM	: Thematic Mapper
PAN	: Panchromatic
LiDAR	: Işık Tespiti ve Değişimi
RADER	: Radio Tespiti ve Değişimi
NASA	: Amerika Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi
Qgis	: Quantum Coğrafi Bilgi Sistemleri Yazılımı
OLI	: Operasyonel Arazi Görüntüleyici
ETM+	: Enhanced Tematik Mapper Plus
YAI	: Yaprak Alan İndeksi
UTM	: Universal Transverse Mercator
RADAR	: Radio Detection And Ranging
SS	: Standard Sapma
HSPF	: Hydrological Simulation Program Fortran
CRU	: Climate Research Unit
LST	: Land Surface Temperature
Qgis	: QGIS Development 2015
R	: R Foundation for Statistical Computing
DOS	: Karanlık Nesne Çıkarma: Dark Object Subtraction
SACP	: Yarı Otomatik Sınıflandırma Eklentisi
SACP	: Semi-Automatic Classification Plugin

ÖZET

DOKTORA TEZİ

İklim Değişiminin Akdeniz Orman Yapısı Üzerindeki Etkisinin Uydu Görüntüsü (Landsat TM/ETM/OLI) Kullanılarak Değerlendirilmesi

Maliheh AREKHİ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Orman Mühendisliği Anabilim Dalı

Orman Mühendisliği Programı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet YEŞİL

Ormanların ağaç sınır ekotonu, küresel ısınmasına tepki veren en hassas dağ ekosistem bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Ormanların ağaç sınırının değişiminin orman ağaç sınırının yapısı ve kompozisyonu üzerinde kaçınılmaz etkileri vardır. Bu çalışmada, geçmişte olan ormanların ağaç sınırının değişimlerini, orman meşcere haritaları, Landsat uydu görüntüleri ve CBS teknikleri kullanılarak dört dönem arası gerçekleşen (1970-1992-2002-2013) değişimleri Cehennemdere'de (Marsin-Antalya) saptamayı amaçlamıştır. 43 yıllık bir dönem için NDVI, AYS (arazi yüzey sıcaklığı) verileri, hava sıcaklığı verilerine ve orman meşcere haritalarına dayalı yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Öncelikle, orman meşcere haritaları her dönem için jeoreferanslandırılmış ve sayısallaştırılmıştır. İkincisi, her periyot için orman ağaç sınırının yüksekliği simüle edilmiştir. Üçüncü aşamada, her bir dönem için yükseklik profili istatistikleri hesaplanmış ve periyotlar arasındaki istatistiksel fark analizi elde edilmiştir. Trend analizi ve parametrik olmayan Spearman'in korelasyon analizi kullanılarak orman ağaç sınırı boyunca NDVI ve AYS kaymalarını tahmin etmek için yirmi test grafik (10 × 10 piksel) seçildi. Ek olarak, ağaç türlerini belirlemek için ağaç türlerindeki

yapısal ve zamansal kaymalar, orman meşcere haritalarında dört zaman periyodu için seçilen test alanlarda hesaplanmıştır. Tüm iklim değişkenlerinde istatistiksel olarak anlamlı bir artış eğilimi gözlenmiştir, en yüksek eğilim aylık ortalama temmuz sıcaklığındadır ($\tau = 0,62$, $\rho < 0,00$). Ortaya çıkan orman meşcere haritaları, 1970'den 2013'e kadar hem en yüksek rakımlarda (22 m - 45 m) hem de en düşük rakımlarda (20 m - 105 m) ağaçlık hattının coğrafi genişlemesini göstermiştir. Ayrıca, en alttaki ağaç sınırının yüksekliğinin genişleme oranı 20m ila 106m arasında elde edilmiştir. Trend analizi, NDVI'da bir artış eğilimi olduğunu göstermiştir ve seçilen grafiklerdeki LST değerleri ayrıca, AYS'deki artışlar, 1984 ile 2017 arasında NDVI'daki artışlarla yüksek oranda korelasyon göstermiştir ($r = 0,75$, $\rho < 0,05$). *Cedrus libani* ve *Juniperus communis* spp. 1970-2013 yılları arasında açık arazilerde, özellikle kayalarda ve toprakla kaplı alanlarda genişleyen ve sürekli büyüyen iki öncü ağaç türüdür. Sonuçta, ormanların ağaç sınırının kaymaları CBS teknikleri ve meşcere haritaları ile belirlenebilir. Bu çalışmada özellikle meşcere haritalarının önemini ve orman ağaç sınırının değişimini inceleyen araştırmalarda kullanılabilirliği vurgulanmıştır. Bu çalışmanın sonucu, ağaç türlerinin kaymalarını inceleyen araştırmalarda, orman örtüsünün dinamikleri ve alpin-ağaç sınırı ekoton izleme çalışmalarının izlenmesi bağlamında önemli katkılar sağlamaktadır.

Haziran 2022 , 104 . sayfa.

Anahtar kelimeler: Ağaç Sınırı Ekotonu, Orman Meşcere Haritası, Ilıman Ormanlar

ABSTRACT

Ph.D. THESIS

Evaluation of the Effect of Climate Change on Mediterranean Forest Structure by Using Satellite Image (Landsat TM / ETM / OLI)

Maliheh AREKHİ

İstanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Forest Engineering

Forestry and Forest Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet YEŞİL

Treeline ecotone is recognized as one of the most sensitive component of mountain ecosystems which is responded to climate warming. Treeline changes have inevitable impacts on the forest treeline structure and composition. This study aimed to determine occurred past forest treeline changes by forest stand maps, Landsat satellite images, and GIS techniques for the four-time period (1970-1992-2002-2013) in the Cehennemdere, Turkey. The new approach was developed using available dataset for a 43-year period. NDVI, LST (land surface temperature) data, air temperature data, and forest stand maps were used. Firstly, for each study period forest stand maps were georeferenced. Secondly, forest treeline altitude for each period was calculated. Thirdly, altitude profile statistics were computed for each treeline using statistical difference technique analysis. Trend analysis and non-parametric Spearman's correlation analysis as a statistical method for estimating the NDVI and LST changes across the forest treeline twenty sample plots (10×10 pixels) were used.

In addition, the spatial and temporal treeline border changes were computed within the selected plots for four time periods to determine the pioneer tree species using the forest stand maps. It was observed statistically significant increasing trend in all climate variables, with the highest slope in the monthly average mean July temperature ($\tau = 0.62$, $\rho < 0.00$). Results showed treeline has expanded from 1970 to 2013 in both the highest altitudes (22m-45m) and lowest altitudes (20m-105m). Additionally, the rate of expansion of lowest treeline altitude was between 20m to 106m. The trend analysis indicated an increasing trend in the NDVI and LST values within the selected plots. According to results, correlation between the LST and NDVI were high from 1984 to 2017 ($r = 0.75$, $\rho < 0.05$). Two pioneer tree species; *Cedrus libani* and *Juniperus communis* spp. expanded consistently on open lands, primarily on rocks and soil-covered areas, from 1970 to 2013. Overall, forest treeline altitudinal shifts can be determined using GIS techniques and historical forest stand maps. Importance of available forest stand maps and their potential at investigating forest treeline shifts have been emphasized in the present research. Results would have significant contributions in the context of examining tree species shifts, monitoring forest cover dynamics, alpine treeline ecotone monitoring studies.

June 2022, 104 pages.

Keywords: Treeline Ecotone, Forest Stand Map, Temperate Forest

1. GİRİŞ

Orman ekosistemleri, Dünya'nın toprak yüzeyinin üçte birini kapsamaktadır. Orman ekosistemleri her ülke için önemli doğal kaynaklardır. Ormanlar, sanayi ve inşaat için kereste ve hammadde temin etmeleri nedeniyle uzun vadeli ulusal ekonomik büyüme için faydalıdır. Ek olarak, ormanlar çevre koruma, toprak koruma, biyolojik çeşitliliği koruma ve küresel iklim değişikliğinin önlenmesi gibi önemli hizmetler sağlamaktadır [52].

Ekotonlar iki biyom arasındaki alanlardır, bu nedenle ekotonlar bitki örtüsünün büyüklüğü, şekil ve mekânsal dağılımı yönünden farklı yapılara sahiptir [145]. Genel olarak, ormanların ağaç sınırı alpin ekotonu ve normal kapalılığa sahip ormanın üst sınırı arasında yer alan ekoton, ağaç türlerinin bireyleri arasında iklimsel değişimlere en yüksek hassasiyet gösteren bir geçiş bölgesidir [79, 102]. Orman ağaç sınırının bilimsel incelenmesi 16. ve 17. Yüzyıllarda [117] İsviçre Alpleri'nde başlamıştır ve o zamandan beri bu tür birçok çalışma küresel olarak gerçekleştirilmiştir. Orman ağaç sınırı genellikle iğne yapraklı (çam, göknar, ardıç) ve geniş yapraklı (huş, kayın) türlerinden oluşmaktadır [78]. Orman ağaç sınır araştırmalarında, hava sıcaklığının dünyadaki orman ağaç sınırını kontrol eden birinci faktör olduğunu kanıtlamıştır [13]. Bununla birlikte, yerel ve bölgesel ölçeklerde topografya [27], jeomorfik süreçler [17, 115] ve insan kaynaklı bozulmalar [13, 27, 28] önemli faktörler olarak belirlenmiştir.

Alpin alanlardaki ağaç sınırı, dekadal (10 yıllık) sıcaklıklar bin yıllık ölçeklerine entegre eder ve konum ve yapı olarak iklim değişikliğine duyarlı bir şekilde yanıt vermektedir. Bu nedenle, özellikle yerel saha koşullarının en uygun olduğu yerlerde, bu konularda güvenilir göstergeler olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle, özellikle yerel alan koşullarının en uygun olduğu yerlerde (örneğin orografi, kar örtüsü, toprak) ve yüksek irtifalara doğru kaymasının sınırlı olmadığı bildirilmektedir. Bu konu, dünya genelinde son yüz yılda veya daha kısa dönemlerde, sonuçta iklim ısınmasıyla uyum içinde olan yerler genelde üç kat yukarı kayma boyutlarını gösteren çeşitli çalışmalar ile desteklenmektedir [56, 57, 67, 82, 122].

Dağlık alanlarda, ormanların ağaç sınır ekotonu, dünyada en hassas olan ekosistemler arasında yer almaktadır [96]. Ormanların ağaç sınırının yüksek irtifalara doğru kaymasının

artan hava sıcaklığı, atmosferin CO₂ ve azot birikimi gibi diğer faktörlerle ilgili olduğu belirlenmiştir [50]. Buna rağmen, diğer çalışmalarda bu olumlu büyümenin yanıtları bulunamamıştır ve gözlenmemiştir [5, 77]. Orman ağaç sınırının iklim değişikliğine tepkisi sadece konumsal ve zamansal olarak değil, aynı zamanda ağaç sınırının form ve yapısına da bağlı olarak değişmektedir [63, 66]. Böylece, ormanların ağaç sınırının izlenmesi orman yapısındaki zamansal değişimleri ve ormanların ağaç sınırının biyolojik çeşitliliğini tespit etmek için iyi bir olanak sağlamaktadır [156].

Orman ağaç sınırı küresel ısınmaya tepki veriyor mu sorusunun cevabı birçok çalışmada tartışılmıştır ve orman ağaç sınırı ve alpin ekotonunun bitki örtüsü, küresel ısınmanın dünya üzerindeki etkisine karşı en hassas ekosistem bileşenleri arasında bulunduğu [11, 50, 92, 144], orman ağaç sınırının daha yüksek irtifalara doğru hareketi, termal varyasyon ve atmosferin CO₂ artımı ve azot birikimi [92, 119, 124] gibi diğer faktörlere [44, 50, 68, 156] bağlı bulunduğu yapılan çalışmalarda varılan ortak sonuçlar arasındadır. Eşzamanlı olarak, bu faktörlerdeki artışlar genellikle alpin bitkilerinin üst irtifalara göçüne neden olmaktadır. Dahası, çevre koşullarının [44, 155] ve insanoğlunun tahribatı nedeniyle [73, 85] orman ağaç sınırının düşük irtifalara doğru kaydıkları ve hatta değişmedikleri de elde edilen sonuçlar arasındadır. Gerçekten de bu değişimlerin, karbon kaynağı olan bitkiler üzerinde büyük etkisi olacağı düşünülmektedir [62, 84]. Aslında, bu konunun incelenmesi, orman dinamiklerinin güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi, sürdürülebilir yönetim, orman koruma stratejileri ve alpin ekotonunun biyoçeşitliliğinin ekolojik durumunu korumak için çok önemli katkı sağlamaktadır [57, 69, 96].

Küresel ısınmaya yanıt olarak odunsu bitki örtüsünü tepkisini belirlemek için dünyanın çeşitli yerlerinde çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Bunlar arasında, dendroekolojik teknikler ve ölçümler [34, 44, 50, 140], hava fotoğrafı değerlendirmeleri ve incelemesi [4, 89, 118], tekrarlı yersel saha araştırmaları [45, 56, 67], uydu görüntüleri [48, 67, 92, 96, 156], tekrarlanan fotoğrafik kayıtlar [80], palinolojik veri araştırmaları [57], fidan yetiştirme çalışmaları [95] ve model senaryoları [92, 131] yer almaktadır.

Uzaktan algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), 1990 yılından beri geniş alanlarda modellemeye dayalı orman ağaç sınırına ilişkin araştırmalarda yaygın olarak kullanılmıştır. Ağaç sınır ekotonu, özel ekolojik yapı işlevi olduğu için iklim değişikliğinin hassas bir göstergesidir [152]. Ortalama küresel sıcaklıklardaki artış, ağaçların büyümesinde artışa ve

kuzeydeki kaymalara yol açtığı bilinmektedir. Bu yüzden birçok çalışmada, iklim değişikliğine yanıt veren ekotonun değişimlerini anlamak için izlenmeye ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir. Ağaç sınırlarında yukarıya doğru kaymalar literatürde de birtakım çalışmalar ile belgelenmiştir. Bu çalışmalar, Rusya'nın Kutup Uralları [41] ve İsviçre Alpleri [135] gibi dağlık alanlarda gerçekleştirilmiştir. Ancak, Kuzey Westland, Güney Adası, Yeni Zelanda' da [33] yapılan bazı çalışmalarda ise bu durum bildirilmemiştir. Ayrıca, Glacier Ulusal Parkı, ABD [75], merkezi Tianshan Dağları, Çin [141] ve Nepal Himalayalarında [28] yapılan çalışmalarda ağaçların büyümesi [20] ve yoğunluğunda [26, 143] artışlar olduğu bildirilirken, bazı çalışmalarda ağaçların yoğunluğunun azaldığı veya ağaç sınırının geri çekildiği bildirilmiştir [57, 155]. Çeşitli çalışmalarda ortaya konulan bu çelişkili bulgular, coğrafi referanslı ağaç bulunmamasından kaynaklanıyor olabilir ki bu problemi CBS ve UA tekniklerini kullanılarak belirlenebilir..

Uzaktan algılama teknolojisi, uydu görüntüleri veya hava fotoğrafları kullanarak coğrafi verilerin üretilmesini sağlamaktadır. Elde edilen mekansal veriler, katmanlar halinde veya farklı format ile, CBS analitik yöntemleriyle incelenebilmektedir. Ekolojik ve biyolojik çeşitlilikteki değişimlerin küresel ölçekte izlenmesi, uzaktan algılamanın en önemli katkıları arasındadır [110]. Uzaktan algılama ve CBS teknikleri, disipline egemen olan yersel tabanlı ekolojik ve dendroekolojik yöntemleri güçlü bir şekilde tamamlayan üçlü ekoloji çalışmalarına uygulanmıştır. Araştırmacılar, ağaçların halkalarını tespit etmek için uzaktan algılama görüntülerini kullanılmışlar ve sonra bunları CBS teknikleriyle eşleştirmişlerdir [37]. CBS ve UA teknikleri, zaman alıcı ve masraflı yersel çalışmalar yerine büyük olanaklar sağladıkları gibi, ulaşımı zor bölgelerde oldukça yararlı oldukları da ispat edilmiştir [96]. Ayrıca, uydu görüntülerinin çok geniş alanları izlemek için rahatlıkla kullanılabilir olması, büyük (yatay) ve detaylı (bireysel detay) coğrafi ölçeklerde verimli veri toplanmasına izin vermektedir. Örneğin, MODIS (orta çözünürlüklü görüntüleme spektrometresi) ve Landsat gibi uzaktan algılama algılayıcıları yatay seviyeli görüntüler sunarken, WorldView, GeoEye, IKONOS ve SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) gibi yüksek çözünürlüklü uydular ile stereo veri temin edilebildiğinden ağaç yüksekliklerini de elde edebileceğimiz görüntüler sağlanmaktadır [28].

Uzaktan algılama teknolojisindeki ve CBS'deki olan bu gelişmeler, ağaç sınırının zaman içindeki mekansal değişkenliklerinin tespiti, ölçümü ve izlenmesi için benzersiz bir bakış açısı sağlamaktadır [139]. Ancak, uydu verileri, ağaç türlerinin habitat haritalandırılması veya

habitat kayıplarının izlenmesi gibi koruma uygulamalarına katkı sağlamak ve iklim değişikliğinden kaynaklanan potansiyel tehditleri değerlendirmek için kullanılmaktadır [9, 12, 26, 101]. Orman ağaç sınırının zaman içindeki mekansal değişkenliklerinin tespiti, ancak CBS ile uzaktan algılama verileri kullanılarak çok daha uygun bir maliyetle gerçekleştirilebilir [148, 154].

Ayrıca, uzaktan algılama görüntülerini mevcut bulunan tarihsel haritalar ile entegre eden araştırmaların sayısı son yıllarda artmaktadır [137, 144, 156]. Aynı zamanda, uzaktan algılama uyduları hem yüksek hem de düşük çözünürlüklü verileri sağlamaktadır [47, 48]. Uzaktan algılama verileri arasında Landsat uydu görüntüleri çok geniş alanları kaplayarak etkili veri setlerini oluşturmaktadır [6, 23]. 1972'den bu yana kaydedilen ve yüksek mekansal-zamansal çözünürlüğe sahip olan ve aynı zamanda 16-günlük tekrar süresiyle [92, 140] 45 yıldan fazla bir süredir serbestçe erişilebilen Landsat görüntüleri, odunsu bitki örtüsünü değişimini belirlemek için en değerli veri kaynaklarından birini temsil etmektedir. Aynı şekilde, çeşitli yöntemler ve bitki örtüsü endeksleri ile orman sınırı değişimini ve orman ağaç sınırı hareketlerini belirlemek için büyük bir kaynak sağlamaktadır [11, 45, 50, 67].

Normalize edilmiş bitki indeksi (NDVI: Normalized difference vegetation index) hem en yaygın bitki örtüsü indeksi olarak tanımlanmaktadır hem de bitkilerin biyokütlesinin bir temsilcisi olarak bilinmektedir. Ek olarak NDVI, bitki fotosentez aktivitesini doğrudan göstermektedir [44, 96, 156]. NDVI değerlerinde meydana gelen değişimler, orman ağaç sınırında ve ağaçların biyokütle yoğunluğunda zaman içinde meydana gelen değişimlerin tahmin edilmesini sağlayabilmektedir [11, 71, 120, 122]; uzaktan algılama ve CBS teknikleriyle beraber bu alanlardaki tarihsel değişimlerin eğilimlerini göstermektedir [8, 99, 113, 122].

Uzaktan Algılama teknolojisi yardım ile uydu görüntüleri elde edebiliyoruz, ve elektromanyetik spektrumun kızılötesi ve kırmızı bantları ile etkilenmiş bölgelerin belirlenmesi ve mevcut olan uydu verileri ile kullanılabilir [111] . . Termal veriler ile AYS (Arazi Yüzey Sıcaklığı) haritalarının zamansal ve mekansal değişimi belirlenebilmektedir. AYS'nı incelemek ve ölçmek Dünya'nın su ve bitki örtüsünde ilişkisini arazi yüzey sıcaklığındaki ile araştırabilir [103].

Ek olarak, uzaktan algılama verilerinin erişilebilirliğinin bir başka yönü de AYS verilerinin belirli aralıklarla orman dinamiklerini [81] araştırmak ve karşılaştırmak için eş görülmemiş

bir fırsat sunmasıdır. İklim değişikliği analizlerinde AYS'nin önemi çeşitli araştırmalar ile kanıtlanmıştır [14, 32, 106, 121]. Bununla birlikte, AYS anomalileri az bir şekilde incelenmiştir ve orman ağaç sınırının mekânsal ve zamansal değişimlerinin izlenmesinde büyük bir fırsat sunacağı düşünülmektedir. Türkiye'de Akdeniz bölgesi, küresel ısınmadan etkilenen bir alan olarak kabul edilmekte ve artan yaz sıcaklıkları ve kış yağışları ile karşı karşıya kalmaktadır [107, 125, 128]. Ayrıca, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer alan orman ağaç sınırı yukarı yönü hareketlerine dair kanıtlar bildirilmiştir ve iklim değişikliklerinin öngörülerine göre orman ağaç sınırının yaklaşık olarak 200-400 m hareket ettiği belirlenmiştir [130]. Bazı iklim değişiklik senaryolarına göre, batı ve orta Toros dağ bölgelerinde [107] ve doğu Akdeniz bölgesindeki dağ florasının tehdit altında olduğu gösterilmektedir [105]. Geleneksel olarak, yüzyılda 4,5 ° C'lik bir ısınma oranında, orman ağaç sınırında yaklaşık olarak 640 m'lik bir dikey hareket ve 1°C'lik artış ile 33 m'lik bir kayma gerçekleşeceği beklenmektedir [57, 151]. Holtmeier ve Broll [68], orman ağaç sınırı yüksekliğinde bölgesel varyasyonunun %82'sinin termal koşullar ile ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Ancak, dağ alanlarında, artan sıcaklık nedeniyle orman ağaç sınırının yapısı ve kompozisyonunun etkilendiğine dair bir kanıt bulunmaktadır [68, 91, 150]. Bununla birlikte, Akdeniz bölgesinde orman ağaç sınırını araştıran az sayıda çalışma vardır ve orman ağaç sınırının dinamikleri ve yapısal kaymalar hakkında bilgi sahibi olma konusunda bir boşluk bulunmaktadır.

Ancak, diğer dağ ekosistemlerine kıyasla Tarsus dağına ilişkin çok sınırlı bir araştırma gerçekleştirilmiş ve ağaç sınırının oluşumu ve dinamiğinin birçok yönünde bir bilgi boşluğu bulunmaktadır. Ayrıca, tarihsel ağaç sınırının aktivitesi ve arkasındaki zorlama mekanizmaları büyük ölçüde bilinmemektedir. Coğrafi bilgi sistemi (CBS), orman ağaç sınırının değişimini hesaplamak için çok faydalı bir tekniktir. CBS ve mevcut orman meşcere haritaları, orman ağaç sınırının değişimini ve orman yapısındaki değişimleri gözlemlemek için iyi bir fırsat sunmaktadırlar. Bununla birlikte, bu çalışma, orman ağaç sınırının geçmişte ve günümüzdeki değişimini incelemek için yardımcı olur. Aslında, orman yönetiminin dinamiklerinin güvenilir bir şekilde değerlendirilmesi, ormanların sürdürülebilir yönetimini ve biyolojik çeşitliliğin korunması için gerekmektedir [124]. Bu çalışmanın amacı, Cehennemdere'de (Mersin-Antalya) orman ağaç sınırında dört dönem arası gerçekleşen (1970-1992-2002-2013) değişimleri, uydu görüntüleri, orman meşcere haritaları ve CBS teknikleri kullanılarak oluşturulacak yeni bir yöntem yardımıyla saptamaktır. Bu doktora çalışmasının ana kısmı, orman sınırı ile alpin bitki örtüsü bölgeleri arasında göze çarpan ve yüksek sıcaklığa duyarlı

bir sınır olarak nitelendirilen orman ağaç ekotonunun belirlenmesidir. Bu bölgedeki ekosistemler nispeten doğaldır, bu nedenle çevrede yakın zamanda veya geçmişte meydana gelen herhangi bir değişiklik, vejetasyon tepkileri açısından dikkat çekici bir şekilde yansıtabilir.

Tezin hipotezi:

- Geleneksel olarak, yüzyılda $4,5^{\circ}$ C'lik bir ısınma oranında, orman ağaç sınırında yaklaşık olarak 640 m'lik bir dikey hareket ve 1° C'lik artış ile 33 m'lik bir kayma gerçekleşeceği beklenmektedir.
- NDVI haritaları ve orman meşcere haritaları ile 1970'ten 2013'e kadar orman ağaç sınırının yapısal değişimi belirlenebilir.

Mevcut çalışmanın hedefleri:

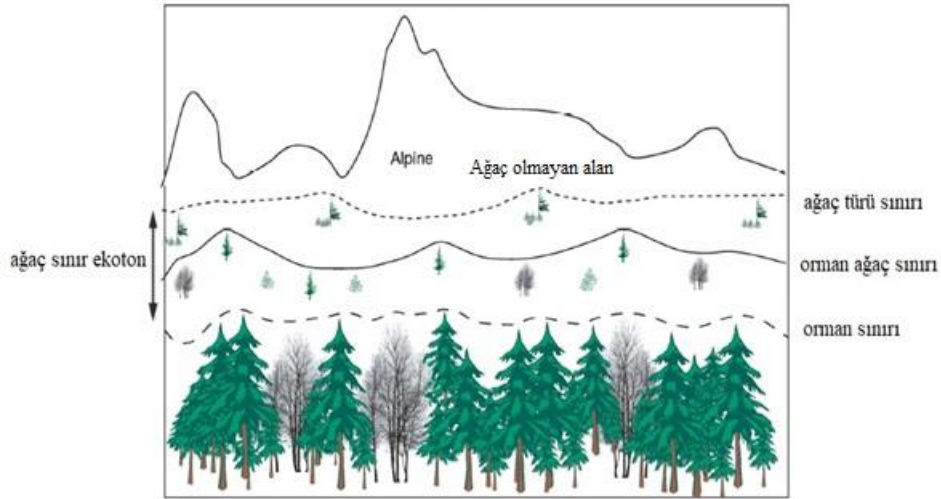
- 1) NDVI haritaları ve orman meşcere haritaları ile 1970'ten 2013'e kadar orman ağaç sınırının hareketini belirlemek;
- 2) 1984'ten 2017'ye kadar olan AYS ve NDVI değerlerindeki trendleri keşfetmek;
- 3) Dört döneme ait (1970, 1992, 2002, 2013) orman meşcere haritalarındaki, ağaç türlerinin değişimini belirlemek.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Orman ağaç sınırının bilimsel incelenmesi 16. ve 17. yüzyıllarda İsviçre Alpleri'nde başlamıştır. O zamandan beri, benzer birçok çalışma küresel olarak gerçekleştirilmiştir. Orman ağaç sınırı genellikle iğne yapraklı (çam, köknar, ardıç) ve geniş yapraklı (huş, kayın) türlerinden oluşmaktadır. Orman ağaç sınır araştırmacıları, sıcaklığın dünyadaki orman ağaç sınırını kontrol eden birinci faktör olduğunu kanıtlamışlardır.

2.1. ORMAN AĞAÇ SINIRI

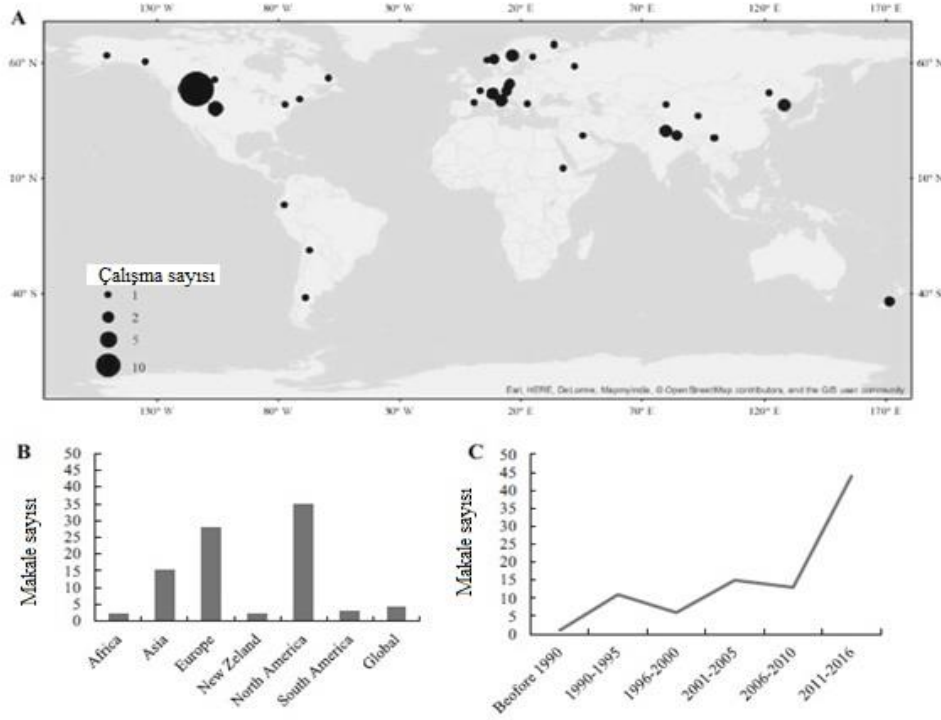
Orman ağaç sınırı ile azalan ağaç örtüsü ve ağaç yüksekliğindeki üst normal kapalı dağ ormanından ağaçsız tundraya geçişi kapsayan alan tanımlanmaktadır. Bu geçiş sınırı, orman ağaç sınırı ekoton dinamiği çalışmalarında kullanılan birçok ağaç durum tanımlamasını içerir (örneğin Şekil 2.1'de, orman sınırı, orman ağaç sınırı ve ağaç türü sınırını göstermektedir) [19, 66, 68, 70, 78]. Ancak, iklimsel, topografik veya antropojenik olarak tanımlanmış ekotonlara göre genel olarak orman sınırı, orman ağaç sınırı ve ağaç türü sınırı olarak sınıflandırılır [149].



Şekil 2.1: Orman ağaç sınırı ekotonu [149].

2.2. AĞAÇ SINIR DİNAMİKLERİNİ ARAŞTIRAN YAYINLAR

1980'den 2017'ye kadar ağaç sınır dinamiklerini araştıran 556 adet yayında, uzaktan algılama ve CBS'i veya diğer tekniklerle birleştiren 103 çalışma bulunmuştur. Bu yayınlardan, dört tanesi kitap bölümleri, altı tanesi konferansda yayınlamış ve geri kalanı hakemli makalelerdir. Yayınların çoğu Kuzey Amerika kaynaklıdır. Avrupa da ve dünya çapındaki mevcut olan bölgesel çalışmalar gösterilmiştir (Şekil 2.2). Bağımsız olarak uzaktan algılama ve CBS veya kombinasyonu halinde yapılan çalışmalarda 2000'den başlayarak artış gözlemlenmiştir (Şekil 2.2). Ağaç sınır çalışmalarında kullanılan veri türleri Tablo 2.1 de gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Uzaktan algılama (UA) ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile ilgili orman ağaç sınırı çalışmalarının özeti. Aşağıdakilere göre dökümler: A: Dünyada orman ağaç sınır çalışmalarının lokasyonları, B: çalışma kıtaları, ve C yayın yılı [28].

Tablo 2.1: Orman ağaç sınır çalışmalarında kullanılan veri türü (Chhetri and Thai, 2019).

Kullanılan teknik	Yayın Sayısı	En çok yayınlanan iki dergi
UA	40	Jeomorfoloji; Biyocoğrafya Dergisi
CBS	18	Arktik, Antarktika ve Alp Araştırmaları; Fiziksel coğrafya
Hava fotoğrafları	16	Fiziksel coğrafya; Antarktika ve Alp Araştırmaları
Hava fotoğrafları, UA, CBS	19	Bitki Örtüsü Bilimi Dergisi; Fiziksel coğrafya

Orman ağaç sınır dinamiklerini araştıran çalışmalarda, düşük çözünürlüklü MODIS'ten (250 m; [37]), orta çözünürlüklü Landsat'tan (30 m, [26]) yüksek çözünürlüklü GeoEye görüntülerine (0,5 m, [27]) ve hava ortofotolarına (1 m, [137, 138]) kadar çeşitli mekansal çözünürlüklerde uzaktan algılama verileri kullanılmıştır (Tablo 2.2).

Tablo 2.2: Orman ağaç sınır çalışmalarında kullanılan uydu sensörlerine genel bakış.

Sensörler	Mekansal çözünürlük	Zamansal aralık
ALOS	2,5–10 m	2006
AVHRR	1,1 km	1979
GeoEye	0,46–1,84 m	2008
IKONOS	1–2 1–4 m	1999
IRS	5,8–23,5 m	1988
Landsat MSS	79 m	1972
Landsat TM	30 m	1982
Landsat ETM	15–30 m	1993
Landsat ETM ⁺	15–30 m	1999

Landsat 8	15–30 m	2012
QuickBird	2–8 m	2001
MODIS	250–1000 m	1999
SPOT 1–5	2,5–20 m	1986
WorldView 1–2	0,46–1,80 m	2007

1990'larda yayınlanan çoğu makalelerde, Landsat MSS (Multispectral Scanner; Multispektral Tarayıcı) ve TM (Tematik Eşleştirici) ile üretilen UA görüntüleri ve SPOT PAN (Panchromatic), ve MS (Multispektral) sensörleri kullanılmıştır. Son zamanlarda, ALOS (Advance Land Observing Satellite) uydu görüntüleri [60], GeoEye uydu görüntüleri [27], IKONOS ve WorldView-1 uydu görüntüleri [157], mevcut ve potansiyel ağaç sınır haritalanmasında popülerlikleri artmıştır (Tablo 2.3). Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, orman ağaç sınır içeren türlerin yapısal değişimi incelemişlerdir [12, 25, 76] (Tablo 2.3).

Tablo 2.3: Orman ağaç sınır dinamiklerini araştıran çalışmalarında kullanılan farklı veri kaynakları dağılımı [28].

Veri tipi	Veri kaynağı	Veri kaynağı	Yayın sayısı
Uydu görüntüsü	GeoEye, IKONOS, WorldView, QuickBird		11
Uzaktan algılama görüntüleri	Landsat, MODIS		29
Hava fotoğrafları	Ortofoto, Ortho görüntüleri		16
Saha fotoğrafları	Saha fotoğrafları		2
Dijital yükselti modeli	USGS, ASTER, SRTM		69
Topoğrafik harita	(İncelenen Milletlerin Araştırma Dairesi)		3

Ek olarak, araştırmacılar ESRI temel haritalarından ve Google Earth'ten ücretsiz olarak erişilebilen uydu görüntülerinden de yararlanmışlardır [2, 72, 109]. Klinge ve ark. [76], orta doğu Asya'nın dağlık bölgelerinde üst orman sınırlarını tespit etmek için yüksek çözünürlüklü ESRI-basemap uydu görüntüleri kullanmışlardır. Gelişmiş ülkelerde, RADAR (Radio Tespiti ve Değişimi) ve LİDAR (Işık Tespiti ve Değişimi) [145] gibi modern uzaktan algılama tekniklerinin yaygın kullanılmaktadır. Ancak bu verilerin çok yüksek maliyetli veriler arasında olduğu bilinmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde bu verilerin kullanımları çok sınırlıdır. Son olarak, hava fotoğrafları en çok tarihsel değişikliği tespit etmek için kullanılmıştır [88, 93]. Ağaç sınırı çalışmalarında, ilk başta hava fotoğrafları [74, 138, 139], Landsat TM [3, 15, 134, 138] ve Landsat ETM [37] görüntüleri ağaç sınırının tespiti ve tanımlanmasında kullanılmıştır. Bu veriler, ağaç sınırının yükselti değişimini veya mekansal değişimini incelemek için kullanılmıştır [3, 9, 37, 74, 139].

2.3. AĞAÇ SINIR ÇALIŞMALARINDA KULLANILAN İSTATİSTİKSEL TEKNİKLER

En yaygın denetlenmemiş istatistiksel teknikler, kontrolsüz sınıflandırma [60], kontrollü sınıflandırma [51, 76, 146], ve arazi kullanım sınıflandırma teknikleri ile orman ağaç sınır haritalamasında kullanılmıştır. Yaygın olarak kullanılan diğer teknikler ise normalize edilmiş farklı bitki örtüsü indeksi (NDVI), görüntü oranlaması, temel bileşen analizi (PCA) [139, 155] ve görsel yorumlamalardır [39, 54, 58, 127].

2.4. AĞAÇ SINIR HARİTALAMASI

Ağaç sınır haritalaması, ağaç sınır yapısını doğru bir şekilde ölçmek için, zaman içinde bölgesel ve peyzaj ölçeğindeki değişimi analiz etmek için kullanılmıştır [27, 28]. Haritalama Google Earth ve GeoEye görüntüleri [83], Landsat TM ve ALOS görüntüleri [60, 139], ve hava fotoğrafları [9, 39, 114, 146, 151] kullanılarak yapılmıştır.

2.5. ORMAN AĞAÇ SINIRININ GENİŞLEMESİ

İklim değişikliği nedeniyle ağaçların konumsal ve yapısal değişimleri uzaktan algılama ve CBS teknikleri ile tespit edilebilir ve orman ağaç sınırının sıcaklığa hassasiyetini gösterdiği zaman, ilerleme potansiyelinin modellenmesinde bu önemli teknikler kullanılabilir. Bunun gibi çalışmalar gözlemlenen veya öngörülen araştırma olarak sınıflandırılmaktadır. Mevcut orman ağaç sınırı değişimine odaklanan araştırmalar, orman ağaç sınırı değişimini ölçmek için genelde NDVI değerleri elde etmek amacıyla Landsat MSS ve TM görüntüleri kullanan çalışmaları içermektedir. Orman ağaç sınırı pozisyonunda değişim birçok çalışmada gözlemlenmiştir [155], ancak bazı araştırmalarda ise bu değişim görülmemiştir [75]. Tahmini varyasyon üzerine odaklı araştırmalar, farklı iklim değişikliği senaryoları altındaki potansiyel değişimleri anlamak için iklim modellerini CBS, DEM ve mevcut olan veriler ile birleştiren çalışmışlardır [26, 97]. Nispeten az sayıda çalışma, ağaçların ilerlemesini engelleyebilecek faktörleri test etmeye çalışmıştır. Örneğin, Alatalo ve Ferrarini[2] iklim ve topografyanın küresel ısınmanın orman ağaç sınırı genişlemesinde nasıl etki edebileceğini araştırmışlardır.

2.6. AĞAÇ SINIR ÇALIŞMALARINDA UA VE CBS'İN AVANTAJLARI

CBS ile UA verilerini kullanarak bitki örtüsü haritalaması düşük maliyetlidir ve bu teknolojilerinin sürekli uygulanması, küresel iklim değişikliğine çevresel tepkilerin tespit edilmesi, ölçülmesi ve analiz edilmesinde faydalı olacaktır. CBS ve UA, erişilebilirliği zor olan alanlara, bozulmamış ağaç sınır tanımlamasına ve bulunmasına olanak tanır [39, 146, 151]. Uzaktan algılama ve CBS ayrıca ağaç sınırının sınıflandırmasına büyük katkı sağlamaktadır. Dahası, UA ve CBS, ağaç sınırlarının ilerleyebileceği yerler dahil olmak üzere küresel ısınma altında potansiyel değişimin olduğu bölgeleri belirlemek için giderek daha kritik hale gelmektedir [9, 25, 39, 146, 151]. UA ve CBS yöntemlerinin bir diğer önemli avantajları ise, peyzaj veya bölgesel çalışmalardan ve yerel çalışmalarda da iyi bir metod olduklarının belirlenmesidir. UA ve CBS yöntemleri saha verileriyle birlikte, ağaç sınır

dinamikleri için kullanılabilir [155]. Arazi çalışması mümkün olmadığı alanlarda, otomatik görüntü işleme hızlı ve güvenilir bir alternatif sunmaktadır [51]. Ayrıca, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri, ağaç sınırlarındaki mikro ölçekli desenler, tür kompozisyonu ve yapı çalışmaları için paha biçilmezdir. Örneğin, en son LiDAR teknolojisi, ağaç sınır ekotonun Meşcere kapalılığı yapısını netleştirebilir ve bu tür yapısal özellikler, iklim değişikliğine ağaç sınırının tepkisinin nasıl olduğuna dair veriler sağlayabilmektedir [28]. Özetle, belirtilen bu faydalar nedeniyle UA ve CBS mevcut ağaç sınır çalışmalarındaki önemli artışın arkasındaki ana kaynaklarından sayılmaktadır.

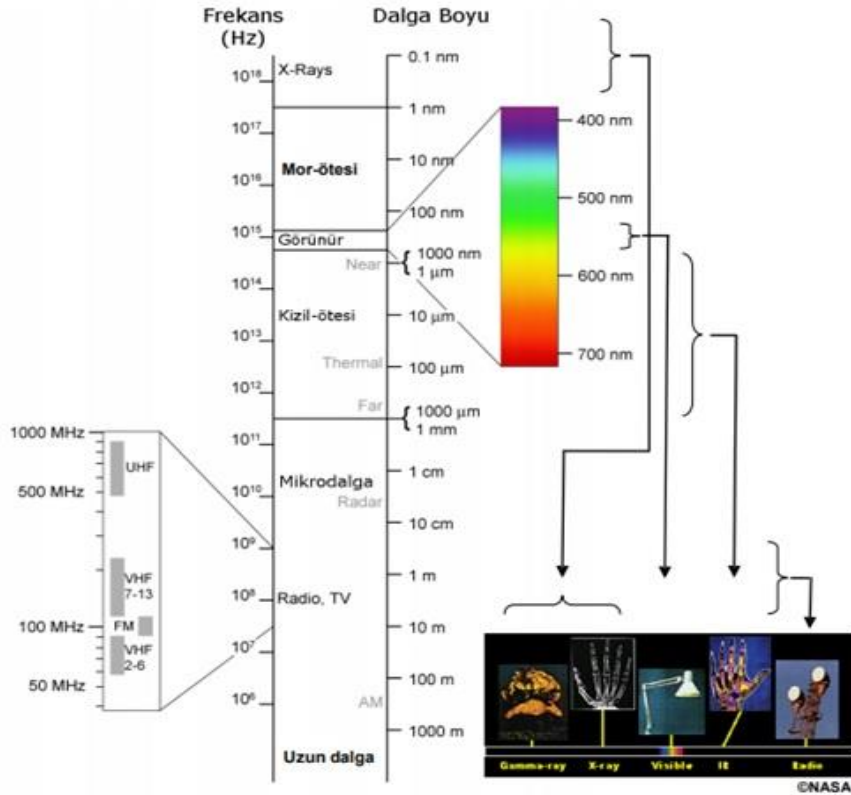
2.7. LANDSAT PROGRAMININ ARKA PLANI

Dünya'nın en büyük uydu görüntü kaynağı olarak tanımlanan Landsat programı 1970'lerin başından beri Dünya yüzeyinin en uzun sürekli küresel kaydını sağlamıştır. Devamlı ve sürekli olarak elde edilen Landsat verileri sayesinde, bilim adamları Dünya'nın manzarasındaki değişimleri belgeleyebilir ve değerlendirebilir. Bugüne kadar, Landsat-1'den -5'e ve Landsat 7-8 olmak üzere sekiz Landsat uydusu başarıyla fırlatılmıştır. Bu uyduların görüntüleri bitki özelliklerindeki değişimlerinin değerlendirilmesinde yüksek kaliteli, çok spektrumlu ve orta-uzaysal çözünürlüklü görüntüleri temin ederek milyonlarca görüntü olarak çok büyük araştırma imkânı sağlamışlardır. En güncel Landsat 8 uydusu 2013'te fırlatılmıştır. Landsat uydu sistemleri ve özellikleri Tablo 2.4.'de verilmiştir [1, 31].

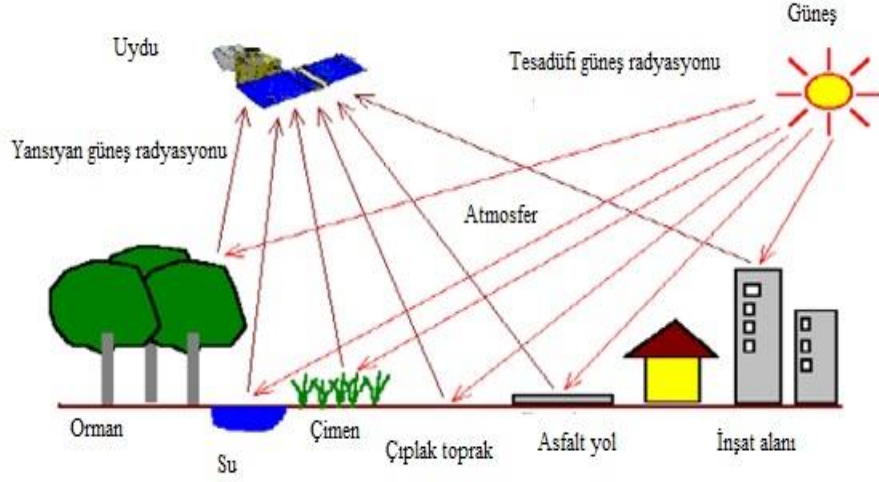
Tablo 2.4: Landsat uydusunun özellikleri [87].

Uydu Algılayıcı	Fırlatılan Tarih	Hizmetten Çıkarılma Tarihi	Sensör	Yersel Çözünürlük (m)	Zamansal Çözünürlük
Landsat-1	1972	1978	MSS	79	18 gün
Landsat-2	1975	1982	MSS	79	18 gün
Landsat-3	1978	1983	MSS	79	18 gün
Landsat-4	1982	2001	MSS TM	79 (MSS) 30 (TM)	18 gün
Landsat-5	1984	—	MSS TM	79 (MSS) 30 (TM)	16 gün
Landsat-7	1999	—	ETM+	30 15 (pan)	16 gün
Landsat-8	2013	—	OLI	30 15 (pan)	

Landsat-4 ve -5'de MSS sensörleri yerleşik olup ve 79 m mekansal çözünürlüğe sahip dört spektral bant (ör. yeşil, kırmızı ve iki yakın kızılötesi bant) içermektedir. Bu sensör ilk olarak araştırmacılar tarafından Arktik bitki örtüsü değerlendirmeleri için kullanılmıştır [1]. Daha sonra, TM sensörleri geliştirilmiş ve MSS ile karşılaştırıldığında daha fazla spektral banta sahip, radyometrik ve geometrik olarak oldukça gelişmiş bir sensör olarak tasarlanmıştır [87]. TM sensörü MSS sensörüne göre, 30 m'lik mekansal çözünürlüğe sahip olup, mavi, yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi bölgesinde (üç yakın kızılötesi bantı) daha dar dalga boylarını içermektedir. Bu özelliği yüzünden, TM sensörü bitki örtüsü ayrımında daha iyi sonuçları araştırmacılar için sağlamıştır. ETM⁺ sensörünün geliştirilmesi ile beraber, 15 m çözünürlüklü pankromatik bantı arazi yüzeyinde daha net detaylı özellikler gösteren bir bant olarak eklenmiştir. Ayrıca, Landsat 8, Mart 2013'ten itibaren gelişmiş dijital verileri toplamaya başlamıştır. Landsat 8, önceki Landsat uydularına göre daha fazla spektral (daha fazla görünür, yakın kızılötesi, kısa dalga kızılötesi ve termal kızılötesi) bantlara sahiptir [37]. Şekil 2.3'te. Elektromanyetik spektrum ve spektral aralıkları göstermektedir. Pasif uzaktan algılama sistemleri Şekil 2.4'te görülmektedir.



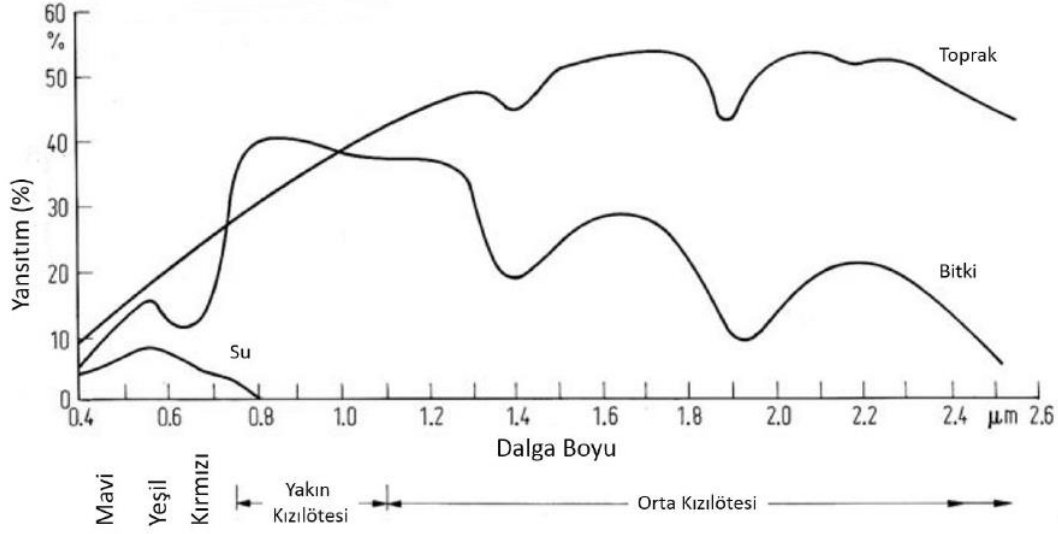
Şekil 2.3: Elektromanyetik spektrum ve spektral aralıklar [103].



Şekil 2.4: Pasif uzaktan algılama sistemleri [136].

2.8. UZAKTAN ALGILAMA TEKNİKLERİNİ KULLANARAK BİTKİ ÖRTÜSÜ ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRMESİ

Ormanları ve ormanlık alanları değerlendirmek için temel biyofiziksel göstergelerden biri bitki örtüsü kanopisidir. Bitki örtüsü kanopisi, birçok yaprağın mozağından, mevcut olan farklı bitki yapılarından, zemin yapısı bir yapı olarak bilinmektedir. Bir alanda, mevcut olan bitki kanopisi uydu görüntülerinin kaydeden yansımaya özelliklerini etkilemektedir [54]. Bir bitki örtüsü kanopisinin yansımaya değeri uydu görüntülerinde dalga boyuna bağlı olarak sensor tarafından kayıt edilmektedir. Bitki örtüsü kanopisi bitkilerin farklı özellikleri nedeni ile örneğin; Pigmentasyon, fizyolojik yapı ve su içeriği yansımaya değerlerine göre önemli rolü vardır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Su, Toprak, ve Vejetasyon yansıtma formları [116].

Uzaktan algılama teknolojisi, bitki örtüsünün özelliklerini, uydu sensörlerinden görünen ve kızılötesi spektrum yoluyla ayırt etme yeteneğine sahip olduğundan; uzaktan algılama algoritmalarını kullanarak bitki topluluklarını belirlemek için çok çaba gösterilmiştir. Öne çıkan indekslerden biri, görünür ve yakın kızılötesi ışığın dalga boylarından gelen yoğunluk bilgisini birleştiren ve yeşil yaprak bitki örtüsünün konsantrasyonlarını ölçen NDVI bitki indeksidir. NDVI indeksini kullanılarak bitkilerde olan değişimleri tespit edilebilir ve haritalanabilir [126].

2.9. NORMALİZE EDİLMİŞ FARK BİTKİ ÖRTÜSÜ İNDEKSİ (NDVI)

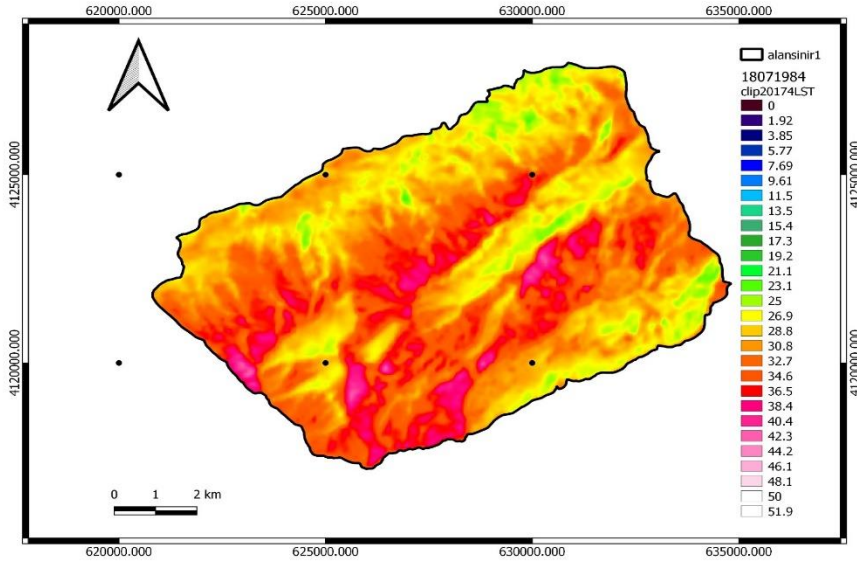
Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI, normalized difference vegetation index), kırmızı ve yakın kızılötesi bant görüntüleri kullanılarak üretilir. NDVI indeksi ilk kez, Tucker (1979) ve Deering (1989) tarafından tanıtılmıştır ve uydu verilerinden hesaplanabilmektedir [40, 132]. Farkları alınan bu iki sayının toplanması ve farkın toplama bölünmesi ile [-1,+1] aralığında bir değer elde edilir [1]. Bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlara piksellerinin NDVI sayısal değeri yüksek olacaktır; bitki örtüsünün seyrek ve az olduğu alanlara piksellerin NDVI sayısal değeri düşük olması beklenir [10] ve aşağıdaki formül ile elde edilir.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (2.1)$$

NDVI'nın arkasındaki ilke, klorofilin önemli miktarda kırmızı ışığı emmesi, yaprak mezofil yapısının ise spektrumun yakın kızılötesi bölgesini yansıtmasıdır [53, 64] . Dolayısıyla sağlıklı bitki örtüsü, düşük kırmızı ışık yansımaları ve yüksek yakın kızılötesi yansımaları nedeniyle daha yüksek NDVI değerlerine sahiptir. Bu basit doğrusal olmayan fonksiyon -1 ile 1 arasında değişen sonuçları verir ve çoğunlukla pozitif değerler bitki örtüsü alanlarına karşılık gelirken, negatif değerler çıplak toprağı ve kaya, kar ve bulutları temsil eder [64, 132]. Bu nedenle, birçok araştırmacı bitki örtüsü değişikliklerini tespit etmek için NDVI kullanmıştır.

2.10. TERMAL UZAKTAN ALGILAMA VE ARAZİ YÜZEY SICAKLIĞI (AYS)

Arazi Yüzey Sıcaklığı, yeryüzünün yaydığı radyasyondan türetilen arazinin radyasyon sıcaklığıdır. Uydular elektromanyetik spektrumun sahip olup yer yüzeyinin termal özelliklerini ölçebilen araçlardır. Uydularda olan sensörler arazi yüzey sıcaklıkları ölçüp uydu görüntülerinde kayıt edebilirler ve thermal veri biz sağlamaktadırlar. Thermal bantta sahip olan bir çok uydu mevcuttur. Örneğin; Landsat, MODIS, Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES), Meteosat, Multi-functional Transport Satellite (MTSAT) ve National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) sistemleri ısı bölgede algılama yapabilen algılayıcılara sahiptirler [21]. Thermal bant küresel ısınma çalışmalarında kullanılabilecek uygun veri olarak görülmektedir. Ekleme gerekirse, uzaktan algılama elde edilen termal veriler az maliyetlidirler. (Şekil 2.6) [103, 147].



Şekil 2.6: Arazi Yüzey Sıcaklığı (AYS) haritası : Örnek.

AYS haritaları elde edildikten ve gerekli işlemler yapıldıktan sonra farklı çalışmalarda; örneğin, dünya'nın su ve bitki örtüsündeki arazi yüzey sıcaklığındaki ilişkisini incelemek için kullanılabilir [103, 147].

2.11. ORMAN MEŞCERE HARİTALARI

Meşcere orman çalışmalarının kolaylaştırılması için kullanılan bir kavramdır. Türkiye'de geçmişten günümüze meşcere tespitini de barındıran ormancılık faaliyetlerine örnek olarak, envanterin klasik yöntemler ile belirlenmesi, hava fotoğraflarının kullanılması, uydu görüntülerinin analizi, RADAR kullanımı ve son yıllarda LİDAR tekniği kullanımı verilebilir. Türkiye'de 1955 ile 1962 yılları arasında, envanter metotlarının modernize edilmesi nedeni ile hava fotoğrafları kullanımı gündeme gelmiş, fakat bazı teknik eksiklikler olması sebebi ile hayata geçirilememiştir. Fakat 1963 yılı sonrasında bu fotoğrafların kullanılmasına çok daha etkin bir biçimde geçilmiştir [136]. Klasik envanter çalışmasında kullanılan yöntemlerde meşcere alanında bulunan bir ağaç kütlelerinde önce ağaç kökünden sonra ağacın en üst noktasından alınan doğrultuların arasında kalan açı ile yükseklik belirlenmekte ve farklı noktalardan alınan benzer verilerle bir alan oluşturularak meşcere alanı kabaca hesaplanmaktaydı. Sonrasında teknolojinin gelişmesi ile görüntülerin bindirilmesi ve referans noktalar yardımı ile bir sonuç ürün elde edilmeye başlanmıştır. Ancak yine de elde edilen sonuç tam anlamıyla meşcere alanının kütlesi ile ilgili sağlıklı bilgi vermemekteydi. Özellikle

1991'den sonra, meşcere tespiti kızıl ötesi hava fotoğraflarının daha etkin olarak kullanılmasına geçildikten sonra fazlasıyla kolaylaşmıştır. Kızılötesi fotoğraflar ayırt edici bilgiler sunmaktadır. Zaman ilerledikçe, meşcere tiplerinin ve meşcere parametrelerinin belirlenmesi gibi işlemlerin kolaylaşması ve amacı ile farklı spektral bant aralıklarına sahip 7 uydu görüntülerinden faydalanması oldukça etkin hale gelmiştir [136]. Son zamanlarda, meşcere tipleri haritası ortalama 1/15000 ölçekli hava fotoğraflarından foto-interpretasyon teknikleri ile elde edilmektedir. Ağaç türü, gelişim çağı ve kapalılık yönünden farklı özelliklere sahip alanlar meşcere olarak ayrılmaktadır. Buna göre, bilgisayar ortamında üç boyutlu görüş sağlandıktan sonra, farklı meşcere tiplerinin sınırları manuel sayısallaştırılmaktadır. Meşcere tiplerine ait ağaç türlerini tanımlamak, buna göre saf veya karışık olduğunu belirlemek için hava fotoğrafları üzerinden renk-ton farklılığı, ağaç tepesinin şekli ve tekstür gibi özelliklerden faydalanılmaktadır. Gelişim çağının tahmininde, hava fotoğraflarından göğüs çapı doğrudan ölçülemediği için tepe çapı ve göğüs çapı arasındaki ilişkiden faydalanılmaktadır. Kapalılık, meşceredeki ağaçların tepelerinin meşcere alanını örtme ve gölgeleme oranlarına göre belirlenmektedir. Bu oran, tepelerin örttüğü alanın tüm alana oranlanmasıyla hesaplanmaktadır. Bu özelliklere dayalı olarak hava fotoğraflarından üretilen ilk harita 'taslak meşcere tipleri haritası' olarak adlandırılmaktadır. Taslak haritanın yersel kontrolleri yapıldıktan sonra, tür, gelişim çağı, kapalılık değerlerinde ve meşcere sınırlarında gerekli düzeltmeler yapılmakta ve 'meşcere tipleri haritası' elde edilmektedir [136].

Uydu görüntüleri veriye ulaşma anlamında da oldukça kolaylık sağlamıştır. UA verisi ve tekniği kullanılması, orman envanter çalışmaları esnasında iş yükünü minimize etmek ve maliyeti düşürmek açısından oldukça avantajlıdır [123]. Uzaktan algılama verileri kullanılmadan önceki çalışmalarda zaman ve insan gücü kullanımının maliyeti artırmasında önemli rol oynadığı söylenebilir. Meşcere tiplerinin UA teknolojisi kullanılarak belirlenmesinde spektral özelliklerden yararlanılmasının yanında, doku özelliklerinden de yararlandığı görülmektedir [136].

2.12. KONU İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ARAŞTIRMALAR

Orman ağaç sınır değişimlerinin UA ve CBS yöntemiyle tespit edilmesi konusunda yurt içinde ve yurt dışında yapılan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Davenport [38] tarafından, Doğu Afrika'da NDVI değerleri ile yağış miktarı arasındaki ilişkinin incelenmesine yönelik yapılan çalışmada, her iki parametrenin yerel ve zamansal değişimleri incelenmiştir.

Aslan ve diğ. [7]'nin yapmış olduğu bir çalışmada, İstanbul'un Avrupa ve Anadolu yakasındaki 10 farklı istasyonda, NDVI değerlerinin ve türbülanslı ısı akısı, bağıl nem, momentum akısı, yağış ve hava sıcaklığı gibi meteorolojik parametrelerin yerel değişimi incelenmiştir. NDVI ve meteorolojik parametreler arasındaki lineer ilişki bağıntıları hesaplanmıştır. Landsat uydu verileriyle ve kısa bir zaman dilimi için yapılmış olan bu çalışma sonucunda kıyı alanlarında iç alanlarda NDVI değerlerinin azaldığı saptanmıştır.

Devi ve diğ. [42]'in çalışmalarında, Rusya'nın Polar Uralları gibi dağlık alanlarda orman ağaç sınır yükselti kaymaları belgelenmiştir. Karaçam ağaçlarının yatay ve dikey gövdelerinin ağaç-halka analizinde bu ağaçların büyüdüğünü göstermiştir. Sonuçlara göre Polar Urallardaki orman ağaç sınırı ekotonu iklim değişikliğine, yapısı ve verimliliği üzerinde bir parmak izi bırakmakta olduğunu göstermektedir.

Fer, ve Dalfes [46], LPJ-GUESS (Lund-Potsdam-Jena General Ecosystem Simulator) modeline göre Türkiye'nin ulusal ormanlarındaki ağaçlarının topluluğunda değişeceğini tahmin etmişlerdir. Sıcak iklim faktörü aritiği için iğne yapraklı bitkiler kuzeye doğru ilerlemesine imkân tanıdığı belirlenmiştir.

Walsh ve Kelly [139], uydu görüntülerinin geniş ortamlarda bireysel ölçekte ve peyzaj coğrafi ölçeklerde kullanılabilirliği göstermişler. Örneğin, MODIS (orta çözünürlüklü görüntüleme spektrometresi) ve Landsat gibi algılayıcıları peyzaj ölçeklerde görüntüler sunarken, yüksek çözünürlüklü uydu algılayıcıları gibi WorldView, GeoEye, IKONOS ve SPOT bireysel ölçekte ağaç sınırını görüntüler elde edebilir. Uydu görüntülerinin, ağaç sınırının zaman içindeki mekansal değişiminin tespiti, ölçümü ve izlenmesi için benzersiz bir bakış açısı sağladığını göstermişlerdir.

Masek [92], yapmış olduğu " Boreal ormanın son yıllardaki iklim değişikliğine değişmemesi: Landsat uydu görüntülerinden kanıtları" adlı çalışmasında; Kuzey Kanada'nın iki bölgesi,

Richmond Körfezi Quebec ve Great Slave Gölü yakınında, Orman-tundra sınırları boyunca normalize edilmiş farklı bitki örtüsü indeksi (NDVI) grafiklerini incelemiştir. Bu çalışmada, Landsat 1970 ve 1990 görüntülerinden yararlanılmışlardır. Sonuçlara göre, orman meşcerelerinin genişletilmesiyle ilgili 25 yıllık periyottaki değişimler değerlendirilmiştir. Orman alanlarının yerel olarak genişlemesi ile ilgili kanıt bulunamamıştır. Bu çalışmada, NDVI değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Moen ve diğ. [97], yapmış oldukları "İklim değişikliğinin İsveç dağlarındaki ağaç sınır pozisyonunun üzerine olası etkileri" adlı çalışmada; iklim değişikliği büyük olasılıkla mevcut huş ağacının yukarı doğru ilerlemesine neden olacaktır. Bu çalışmada, yaz sıcaklığı, büyük ölçeklerde orman ağaç sınırının konumu ile ilişkili olduğu için seçilmiştir. Bu çalışmada, yaz sıcaklığı en önemli bir iklim faktörü olarak, büyük ölçeklerde orman ağaç sınırının konumu ile ilişkili olduğu için seçilmiştir. Yapılan analizlere göre, önümüzdeki yüzyılda 233-667 m yüksekliğindeki artışları göstereceğini belirlemiştir. Bu, mevcut ağaçsız alpin alanlarda % 75-85 oranında azalmaya neden olacağını ve geri kalan alanların % 60-93'ü dağınık eğimler ve kaya alanları olacağını belirlemiştir. Bu değişimlerin, biyolojik çeşitliliği turizm geliştirme potansiyeli dahil olmak üzere dağ ekosistemlerinin tüm yönlerini etkileyeceğini belirlemiştir.

Danzeglocke [37], yapmış olduğu "Farklı ölçeklerde Alp dağlarının orman üst sınırının uzaktan algılama ile incelenmesi" adlı çalışmada; Landsat ETM ve MODIS uydu görüntüleri kullanılarak orman üst sınırının değişimini analiz etmiştir. Sonuçlara göre, belirsizlikten kaynaklanan hataların dikkate alınması gerektiği belirlemiştir. Metot olarak kontrollü sınıflandırma ve NDVI yöntemi ile orman üst sınırı belirlenmiştir. NDVI gibi vejetasyon endekslerinin kullanılmasını önermişlerdir.

Raynolds ve diğ. [113], AVHRR'den türetilen AYS sıcaklıkları verileri ile NDVI arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Regresyon analizine göre, AYS'deki 5° C'lik bir artışın NDVI'yı yaklaşık 0,07'ye artışını elde etmişler. NDVI'nin 22 yıllık zaman serisi sonuçlarına dayalı olarak AYS ile pozitif bir ilişkisi olduğunu bulmuşlardır. Özellikle bu çalışmada, orman sınırı ve graminoid bitki örtüsü türlerindeki büyümesini, daha yüksek sıcaklıkla pozitif ilişki göstermiştir. Elde ettikleri sonuçlar göre, AYS verilerinden türetilen sıcaklıktaki artışın, Kuzey Kutbu bölgesindeki bitki büyümesinde artışına (NDVI) yol açmasının muhtemel

olduğunu açıkladılar ve iklim değışiklikleri nedeniyle bitki örtüsündeki değışimine karşı hangi alanların en savunmasız olabileceğini belirlendi.

Zhang ve diğ. [155], yapmış olduğu "Landsat görüntüleri ile ağaç sınır dinamiklerini tespit etmek için kullanılabilir mi?" adlı çalışmasında son 20 yılda Çin'deki Changbai Dağı'nda yer alan orman ağaç sınırının dinamiklerini incelemek için uzaktan algılama ve saha araştırması verilerini birleştirerek yeni bir metodoloji geliştirmiştir. Orman ağaç sınırında NDVI oranının 1977'den 1999'a kadar arttığı belirlenmiştir. Saha araştırmaları da Changbai Dağı'ndaki ormanın ağaç sınırındaki son yıllarda yoğunluğun arttığı uzaktan algılama sonuçlarını desteklemiştir. Bu çalışma, zamansal uzaktan algılama görüntülerine dayanarak ormanın ağaç sınırında ağaçlardaki büyümeyi izlemenin mümkün olduğunu göstermektedir. Bu araştırmada sıcaklığın iklimsel faktörler arasında orman ağaç sınırında önemli bir sınırlayıcı faktör olduğu için küresel ısınmanın orman ağaç sınırında, ağaçların hızlı büyümesinde katkısı olabileceğini speküle etmişlerdir.

Fraser ve diğ. [48], yapmış oldukları "Landsat uydu görüntülerini kullanarak, kuzey Kanada'daki bitki örtüsünde uzun vadeli değışikliklerin tespit edilmesi" başlıklı çalışmasında; Landsat TM ve ETM uydu görüntülerini kullanarak bitki örtüsünde 25 yıllık değışimleri kuzey Kanada'daki dört geniş ulusal parkta saptamıştır. NDVI ve Tasseled Cap indeksi türetilmiştir. Çalışma sonucunda, bu alanda bitki örtüsünün yeşilliğinin artış (alanların%6,1-25.5'i artmış) eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Dört parkta da bu yeşilliğin artış eğilimi ile sıcaklık arasında pozitif ilişki olduğu bulunmuşlar.

Zinnert ve diğ. [156], yapmış oldukları " Son yıllardaki odunsu bitki örtüsünün iklim değışikliğine tepkisi Atlantik sahil bariyer adasında (ABD): bir uzaktan algılama yöntemi" adlı çalışmalarında; İklim verilerinin değışimini otlak alanların odunsu bitki örtüsüne dönüşümü oranını incelemişler. Çalışmada, LiDAR verisi ve Landsat ETM (1984–2010) uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bu karşılaştırmalar, otlak alanların odunsu bitki örtüsüne dönüşümünü (%285 artış) ortaya çıkarmıştır. Bu dönüşümün eğiliminin, hava sıcaklığı, yağış ve atmosferik [CO₂] faktörler ile ilişkili olduğu ortaya konulmuştur. Sonuçlara göre, odunsu türlerin iklim değışikliğine hassas ve duyarlı olduğu görülmüştür.

Groen ve Fanta [58], yapmış oldukları "Geçmişteki mevcut olan Hexagon görüntüleri ve Google Earth Verileri kullanarak orman ağaç sınırının değışimini incelenmesi" adlı çalışmalarında; bilinen değışikliklerin olduğu bir alanda (Bulgaristan'daki Osogovo Dağı),

1976'dan itibaren Hexagon görüntüleri ile ve 2005 yılını da Google Earth'ten türetilen bir görüntü üzerinde yaptığı çalışmalar ile tanımlamışlardır. Elde edilen sonuçlar 2010 yılı sonbaharında toplanan temel doğrulama verileriyle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada uzaktan algılama verilerinin sağlam bir örnekleme stratejisi ile küresel olarak ağaç sınırının değişikliklerini keşfetme fırsatları yarattığını ispatlamışlardır.

Baird ve diğ. [8], 1986 ve 2009 yılları arasında iç Alaska'daki bitki örtüsünün büyümesini incelemek için Landsat'tan türetilen NDVI'yı uygulamıştır. 22 yıl süresince bitki örtüsünün hava sıcaklığına ve düşük yağışla klorasyonu olduğunu belirlemişler. Bölgesel hava değişiminin muhtemelen vejetasyonda, özellikle ormanlık alanlarda (yüksek irtifalara) büyümenin sınırlandırılmasına yol açtığı sonucuna varmışlardır.

Hofgaard vd. [65], kuzey Norveç'te ormanların 20. yüzyılın başlarından bu yana yukarıya doğru (yükseltiye doğru) ilerlemesini incelemişler. Çalışma, 20. yüzyılın başlarından bu yana 1-2°C ısınan kuzey Norveç'teki Finnmark ilçesini kapsamaktadır. Çalışmada orman haritaları, topografik haritalar, hava fotoğraflar ve uydu görüntüleri kullanılmıştır. Orman ağaç sınırının değişimini incelemek için iki farklı geometrik yöntem kullanılarak hesaplama yapılmıştır, ancak benzer sonuçlar elde edilmiştir. Analizler, orman ağaç sınırının değişimini ortalama kuzeye doğru ilerlemesini ortaya koymuşlardır. Önemli ölçüde mekansal ve zamansal değişim göstermiştir.

Luo ve Dai [88], Çin'in Sincan, Tianshan Dağları'ndaki Sangong Nehri Havzasında, 1962 ve 1981 yıllarına ait hava fotoğrafları ve 2006 yılına ait QuickBird görüntüsü kullanılarak orman ağaç sınırının değişimini incelemişler. Bitki örtüsü dağılımını haritalamak için nesne tabanlı bir sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır ve bitki örtüsü değişimini tespit etmek için sınıflandırma sonrası karşılaştırma kullanılmıştır. Bu çalışma da orman ağaç sınırının yüksekliği 1962'den 2006'ya kadar 2 ila 3 m, 1981'den 2006'ya 7 ila 12 m arttığı tespit edilmiştir.

Gartzia ve diğ. [51], İspanya'nın Orta Pirenelerinde, LANDSAT TM kullanarak 1980'lerin ortalarından 2000'lere kadar orman ağaç sınırının değişimini değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada kontrollü sınıflandırma kullanılmıştır. Sonuçlara göre, odunsu bitkilerin arttığı ve seyrek alanların azaldığı belirtilmiştir.

Sawyer ve Patrick Shawn [108], "Landsat verilerini kullanarak Big Pine Creek'teki bitkilerinin iklim değişikliğine tepkisi" adlı çalışmalarında; Kaliforniya'nın Doğu Sierra Nevada Dağları'ndaki Big Pine Creek havzasındaki alpin ekosisteminin zamansal seri analizini 1984'ten 2013'e kadar Landsat görüntülerini kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Üç vejetasyon indeksi; NDVI, SAVI ve MSAVI2 ve ayrıca Parlaklık (TCB), yeşillik (TCG) ve ıslaklık (TCW) incelenmiştir. Sonuçlara göre, çalışma periyodu boyunca, bitki örtüsünde, yoğun bitki örtüsü olan bölgelerde önemli artışlar olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışma, Big Pine Creek'in son yıllardaki küresel ısınmaya karşı ekolojik tepkisini göstermektedir.

Chen ve diğ. [24], Landsat TM görüntüleri ile piksel tabanlı metod kullanılarak orman ağaç sınırının değişiminin tespit etmişlerdir. Bu araştırmada, 1990 ve 2010 yıllar arasında Kuzeybatı Çin'de bulunan Kuzey Tianshan Dağları'ndaki alpin ağaç sınırının değişimini incelemek için doğrusal spektral karışım analizi (LSMA, linear spectral mixture analysis) tabanlı bir metod kullanılmıştır. Bu çalışmada, toprak düzeyinin azaldığını ve bitki örtüsünün arttığını genelde Ardıç ağacının arttığını tespit etmişler.

Ameztegui ve diğ. [4], Katalan Pireneleri'nde Kuzey-Doğu İspanya'da iklim değişikliğinin, geçmişteki arazi kullanımlarını ve fizyografinin etkilerini, 1956 ile 2006 yılları arasındaki orman ağaç sınırının mevcut konumu ve dinamikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek hava fotoğrafları ve kontrollü sınıflandırma kullanmışlar. Orman ağaç sınırının yaklaşık 40 m yukarı doğru hareket ettiğini, ancak çoğu durumda değişmeden kaldığını (%61,8) veya orta derecede ilerlediğini göstermişlerdir. 25 ve 100 m arasında (%23,7); lokasyonların yalnızca %9,2'si 100 metreden fazla ilerlediğini göstermişler. Orman ağaç sınırının yukarı doğru kaymaları, geçmişteki antropojenik nedeniyle büyük ölçüde etkilenmiş olduğunu (ortalama $50,8 \pm 1,1$ m) beklenenden çok daha düşüktü ve çalışma süresi boyunca sıcaklıktaki değişikliklerle ilgili değildi. Bu çalışma alanında iklim değişikliği orman ağaç sınırının mevcut konumu ve dinamikleri üzerindeki etkilerini çok düşük olduğunu ortaya koymaktadır.

Mishra ve Mainali [96], " Himalayaların yeşermesi e kızarması: Mekansal deseni ve iklim değişikliği ve insanın rolü" adlı çalışmalarında; Yıllık bitki örtüsü değişimleri (2000-2016) incelemek için MODIS NDVI bitki örtüsü endeksi zamansal seri analizini kullanmışlardır.

Skowno ve diğ. [124], " Güney Afrika çimenli biyomlarında uydu görüntülerini kullanarak ormanın genişlemesi incelenmesi (1990-2013)" adlı çalışmalarında; Landsat ve L-band radar backscatter verilerini kullanarak Güney Afrika'nın çimenli biyomlarındaki ormanlık alanların

yıllara göre değişimi incelemişlerdir. Orman alanlarının sürekli bir artış eğiliminde olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada tamamen uzaktan algılama metotları ile arazi kullanım haritaları ile elde edilen verilerin analizine dayanan yöntemler kullanılmıştır.

Dinca ve diğ. [43], "Dağ-alpin sınırında orman dinamiğinin incelenmesi: uydu görüntülerini ve iklim verileri kullanarak karşılaştırmalı bir çalışma" adlı çalışmalarında; Landsat ve iklim verilerini kullanmışlardır. Çalışma alanı benzer arazi örtüsü oranlarına sahibi olan alanlar (Avrupa'daki baskın dağlarında yayıldı) seçilmiştir. Metodolojik olarak, büyüme mevsimi boyunca aynı ay içinde elde edilen bulutsuz Landsat uydu görüntülerini kullanılmıştır. Termal bant dışında tüm bantları kullanan bir sınıflandırma sonrası karşılaştırma tekniği kullanılıp, orman sınırının değişimini değerlendirmek için uygulanırken, görüntü sınıflandırmasının doğruluğu değerlendirmek için rastgele örnekleme yöntemini ile değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, orman ağaç sınırının ilerlemesini belirlemişlerdir. Bu çalışmaya göre, sıcaklık eğilimi orman ağaç sınırının ilerlemesinde önemli ölçüde etkilemiş olabileceğini beyan edilmiştir. Orman değişim analizinde, orman örtüsünde bir genişleme ve özellikle Orta Doğu dağlarında olmak üzere, tüm bölgelerdeki dağlık sınırındaki orman sınırının yüksek irtifa göçünü ortaya çıkarılmıştır. Orman örtüsünün genişlemesi ve üst orman sınırının rakımındaki artış, son on yıllarda Kuzey Yarımküre dağlarında 2 yaygın örüntüdür.

Chhetri [25], Doğu Nepal'deki Makalu Barun Ulusal Parkı'ndakinde alt alpin orman sınırının da yukarı eğimli genişlemesini tahmin etmek için bir çalışma yapmış ve çalışmasında yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin ve dijital yükseklik modellenin orman ağaç sınır çalışmalarında temel veri olduklarını elde etmiştir.

Ma ve diğ. [90] çalışmalarında, inde Qinling Dağları'nda NDVI ile sıcaklık değişiminin değeri arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Qinling Dağları'nın Alp ve altalpin alanlarındaki NDVI ve hava sıcaklığı arasındaki korelasyon, sıcaklığın bitki örtüsü aktivitesini desteklediğini ima eden bir artış eğilimi sergilemiştir. Qinling Dağları'nın sıcaklık ve NDVI arasında güçlü bir korelasyon ve erken büyüme mevsiminde sıcaklık ve NDVI arasında anlamlı bir korelasyon görülmüştür. Bu çalışmada, sıcaklık ve bitki örtüsü endeksi arasındaki zamansal ve mekansal ilişkisini, orman sınır alanındaki bitki örtüsünün sıcaklığa tepkisi, iklim değişikliği araştırmalarında, uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemi yardımıyla, erken uyarı için bilimsel destek sağlayacağını belirlemişlerdir.

Chhetri ve Thai [28], 2000'den beri ağaç sınır çalışmalarında uzaktan algılama ve CBS kullanımının giderek arttığını ortaya koymuştur. Zamansal çözünürlük, uydu görüntüleme tekniklerinden, düşük çözünürlüklü MODIS görüntüsü, orta çözünürlüklü Landsat görüntüsü, yüksek çözünürlüklü WorldView görüntüsü ve hava ortofoto görüntülerinin kullanıldığını göstermiştir. 1990'larda yayınlanan makalelerin çoğu, Landsat MSS veya SPOT PAN (Panchromatic) ve XS (Multispectral) görüntüleri gibi düşük-orta çözünürlüklü algılayıcıların kullanıldığını göstermiştir. Daha sonra, ALOS, GeoEye, IKONOS ve WorldView gibi yüksek çözünürlüklü uydu algılayıcılarla, mevcut ve potansiyel ağaç hattında bir artış gözlemlenmiştir ve bu artışın nedeni de genelde hava sıcaklığının artışı belirlenmiştir. Dahası, orman ağaç sınır çalışmalarının öneminde zaman içindeki bir gelişme olduğunu fark edilmiştir: Önceki raporlarda ağaç sınır pozisyonlarını haritalamaya odaklanırken, uzaktan algılama verileri ve CBS teknikleri ağaç sınır değişimini incelemek için kullanıldığı belirlenmiştir.

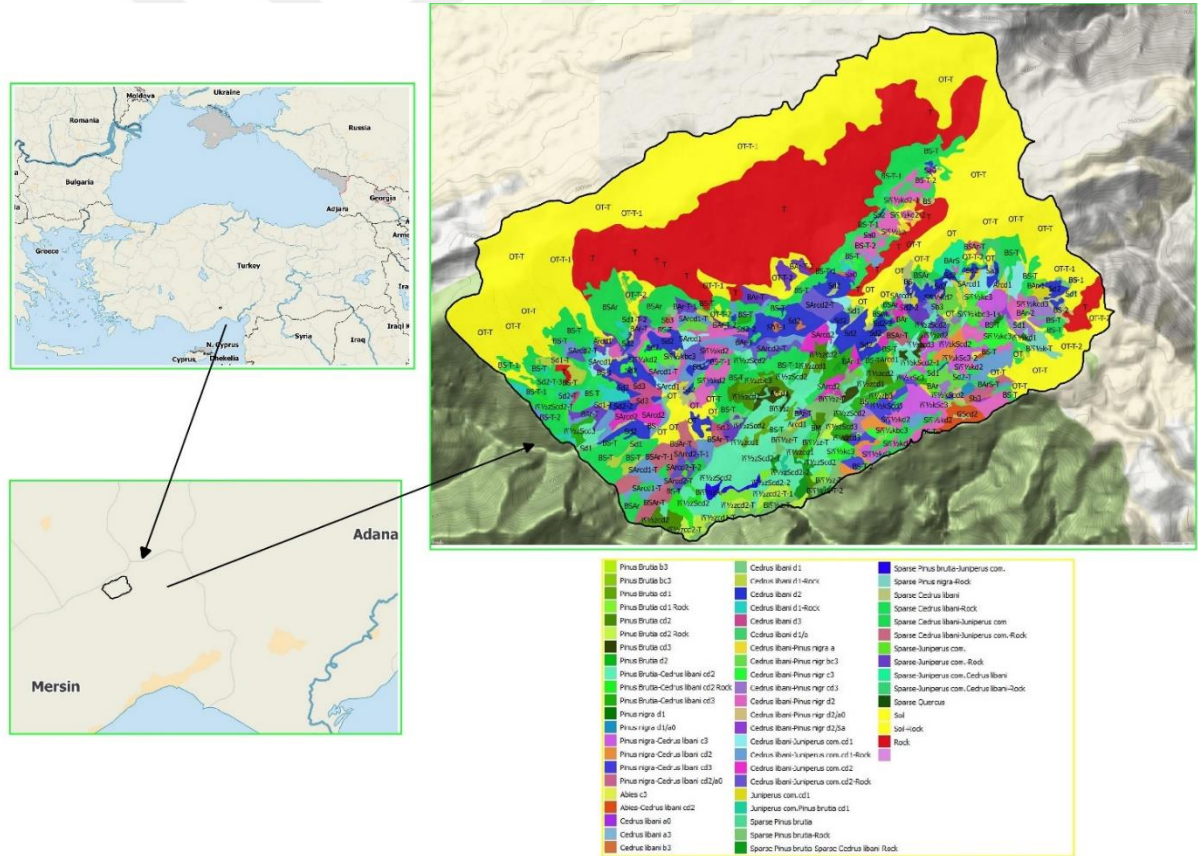
Xu ve diğ. [151], orman ağaç sınırını 1987'den 2018'e kadar olan zaman dilimi için Landsat görüntülerinden Çin Wuyishan Milli Parkı'nda local indicator of spatial autocorrelation (LISA) yöntemini kullanarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada orman ağaç sınırını çıkarmak için mekansal otokorelasyonun yerel göstergesi (LISA) konseptine dayalı yeni bir metodoloji geliştirilmiştir. Sonuçlara göre orman ağaç sınırını bazı kısımlarının 1987'den 2018'e kadar olan dönemde 1°C'lik bir sıcaklık artışı altında alan dikey olarak 50 m yukarı kaydığını tespit etmişlerdir.

3. YÖNTEM

3.1. MALZEME

3.1.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Akdeniz'in güney bölgelerinde yer almaktadır (37.430-38.430 ° E, 44.650-44.850 ° N). Toros Dağları olarak bilinen Türkiye ormanlarının güney sınırında yer alan çalışma alanı, Mersin Orman Bölge Müdürlüğü, Tarsus Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı Buladan ve Cehennemdere Orman İşletme Şefliği sınırları içinde kalan 8822 hektarlık bir alanı kapsamaktadır (Şekil 3.1). Farklı dönemlere ait amenajman planları ve meşcere haritaları incelendiğinde, seçilen çalışma alanı yaban hayatı ve bitki örtüsü genlerini korumak için korunan bir alan olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.1: Çalışma alanının konumu.

3.1.2. Bitki ve Orman Topluluklarının Çeşitleri ve Özellikleri

Çalışma alanı çeşitli doğal vejetasyon topluluklarını içermektedir; Kızılçam, Karaçam, Gökmar, Sedir, Bodur Ardıç, Katran Ardıç, Karaçalı, Meşe. Plan ünitesi ormanları genel olarak saf Kızılçam ve Karaçam meşcereleri ile birlikte oluşturduğu karışık meşcerelerden oluşmaktadır. Orman üst sınırından itibaren çeşitli otsu bitkiler, çayır otları ve geven türleri görülmektedir. Yörede bulunduğu belirtilen diğer türler toprak yapısı, yükseklik, bakı, nem ve diğer koşullara bağlı olarak çeşitli yerlerde görülmekle birlikte düzenli ve yoğun bir yayılışa sahip değillerdir. Çalışma alanında ağaç, ağaççık, çalı, otsu bitkiler ve mantarlardan oluşan bitki örtüsü Tablo 3.1 de gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Çalışma alanın bitki örtüsü.

Bitki Örtüsü-Türkçe	Bitki Örtüsü- Latince	Bitki Örtüsü-Türkçe	Bitki Örtüsü- Latince
Kızılçam	: <i>Pinus brutia</i>	Gevenler	: <i>Astragalus</i>
Karaçam	: <i>Pinus nigra</i>	Çayır otları vb.	: <i>Gramine</i>
Gökmar	: <i>Abies cilicica</i>	Akça kesme	: <i>Phyllyria media</i>
Sedir	: <i>Cedrus libani</i>		
Bodur Ardıç	: <i>Juniperus communis</i> var. <i>nana</i>	Zakkum	: <i>Nerium oleander</i>
Katran Ardıç	: <i>Juniperus oxycedrus</i>	Defne	: <i>Laurus nobilis</i>
Karaçalı	: <i>Paliurus aculatus</i>	Sandal	: <i>Arbutus andrachne</i>
Meşe	: <i>Quercus sp.</i>	Salep	: <i>Orchis</i>
Ökse Otu	: <i>Viscum album</i>	Böğürtlen	: <i>Rubus fruticosus</i>
Söğüt	: <i>Salix alba</i>	Sarmaşık	: <i>Hedera helix</i>
Kiraz	: <i>Prunus</i>	Isırgan	: <i>Urtica urens</i>

Vişne	: <i>Prunus cerasus</i>	Adaçayı	: <i>Salvia officinalis</i>
Erik	: <i>Prunus domestica</i>	Kuşburnu	: <i>Rosa canina</i>
Yemişen	: <i>Crataegus manogina</i>	Alıç	: <i>Crataegus</i>
Tesbih	: <i>Staphyllea pinota</i>	Nane	: <i>Mentha</i>
Laden	: <i>Cistus</i>	Kekik	: <i>Thymus</i>
Eğrelti	: <i>Felix famiae</i>	Defne y. Laden	: <i>Cistus laurifolis</i>

3.1.3. İklim Durumu

Plan ünitesi ormanları, Türkiye Makro İklim Haritasına göre Akdeniz Bölgesinde ve Akdeniz İklim Kuşağında bulunmaktadır. Akdeniz'in deniz iklimi etkisi altında kalmasından dolayı, yüksek yaz sıcaklığı, çok şiddetli buharlaşma, düşük bulutluluk nispetleri gereğince, kışlar yüksek yerlerde kar yağışlı ve soğuk, yazları ise az yağışlı ve sıcak geçmektedir. İşletme Müdürlüğü ormanları genel olarak Toros Dağları'nın Akdeniz'e bakan yamaçlarında yer almakla beraber, daha güneyinde denize paralel olarak uzanan yükseltiler denizle doğrudan ilişkiyi kesmektedirler. Kuzeyde ise, Toros Dağları daha yüksek bir sıra oluşturmakta ve Akdeniz üzerinden gelen rutubetli hava bu dağ sırasını aşamayıp yükselmektedir. Bu nedenle havza genel olarak çok yağış almamakta ve yöredeki nisbi rutubette fazla olmaktadır.

3.1.4. Yazılım ve donanım

Bu tez çalışmasında, Qgis ortamını esas olarak görüntü ön işleme ve yorumlama için kullanıldı. R yazılımı, istatistiksel verilerin analizi için seçilen matematiksel hesaplama aracı olarak kullanıldı. Bu gerekli yazılımlar, başarılı performans için test edilmiş Windows 8 platformlu üzerine kuruldu. R yazılımı mevcut farklı verileri (Landsat, Raster) analiz etmek için kullanılmıştır.

3.1.5. Haritalar

Çalışmada, test alanlarının yerlerinin belirlenmesinde 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılmıştır. Çalışma alanının farklı planlama dönemlerine ait meşcere haritaları (1970-1992-2002-2013) Orman Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

3.1.6. İklim Verileri

Mersin Meteoroloji İstasyonundan 1970 -2017 yılları arasında yıllık aylık hava sıcaklığı (ortalama, minimum, maximum) verileri elde edilmiştir. Çalışma alanı içinde yeterli meteoroloji istasyonu bulunmaması nedeniyle sıcaklık grid haritalarının çıkarılması için enterpolasyon analizinin yapılmadığını vurgulamak önemlidir.

3.1.7. Uzaktan Algılama Verileri

Bu çalışmada Landsat uydu görüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan uydu görüntüleri “<http://www.esa.int/ESA>” internet adresinden indirilmiştir. Eski Landsat MSS görüntülerin çözünürlüğünün düşük olması ve görüntülerin üç banttan oluşması ve çalışmada kullanılan bantların bu bantlar olmayışı sebebiyle 1975 yılına ait görüntü çalışmaya elverişli değildir. Bu nedenle 1984 yılından itibaren görüntü seçimi yapılmıştır. Orman ağaç sınır değişimlerinin incelemek amacıyla genelde temmuz ayına ait Landsat görüntüleri seçilmiştir. 1990 ve 2012 görüntüsü çok bulutlu olduğu için çalışmaya dahil edilmemiştir. Tablo 3.2'de, kullanılan uydu görüntüleri gösterilmektedir.

Tablo 3.2: Kullanılan Landsat uydu görüntüleri.

UYDU	ALGILAMA TARİHİ	BANT SAYISI	PATH/ROW
Landsat 5 TM	1984-07-18	7	176 / 34
Landsat 5 TM	1985-08-22	7	176 / 34
Landsat 5 TM	1986-07-08	7	176 / 34
Landsat 5 TM	1387-08-12	7	176 / 34
Landsat 5 TM	1988-08-14	7	176 / 34
Landsat 5 TM	1989-07-16	7	176 / 34
Landsat 5 TM	1991-07-22	7	176 / 34
Landsat 5 TM	1992-07-08	7	176 / 34

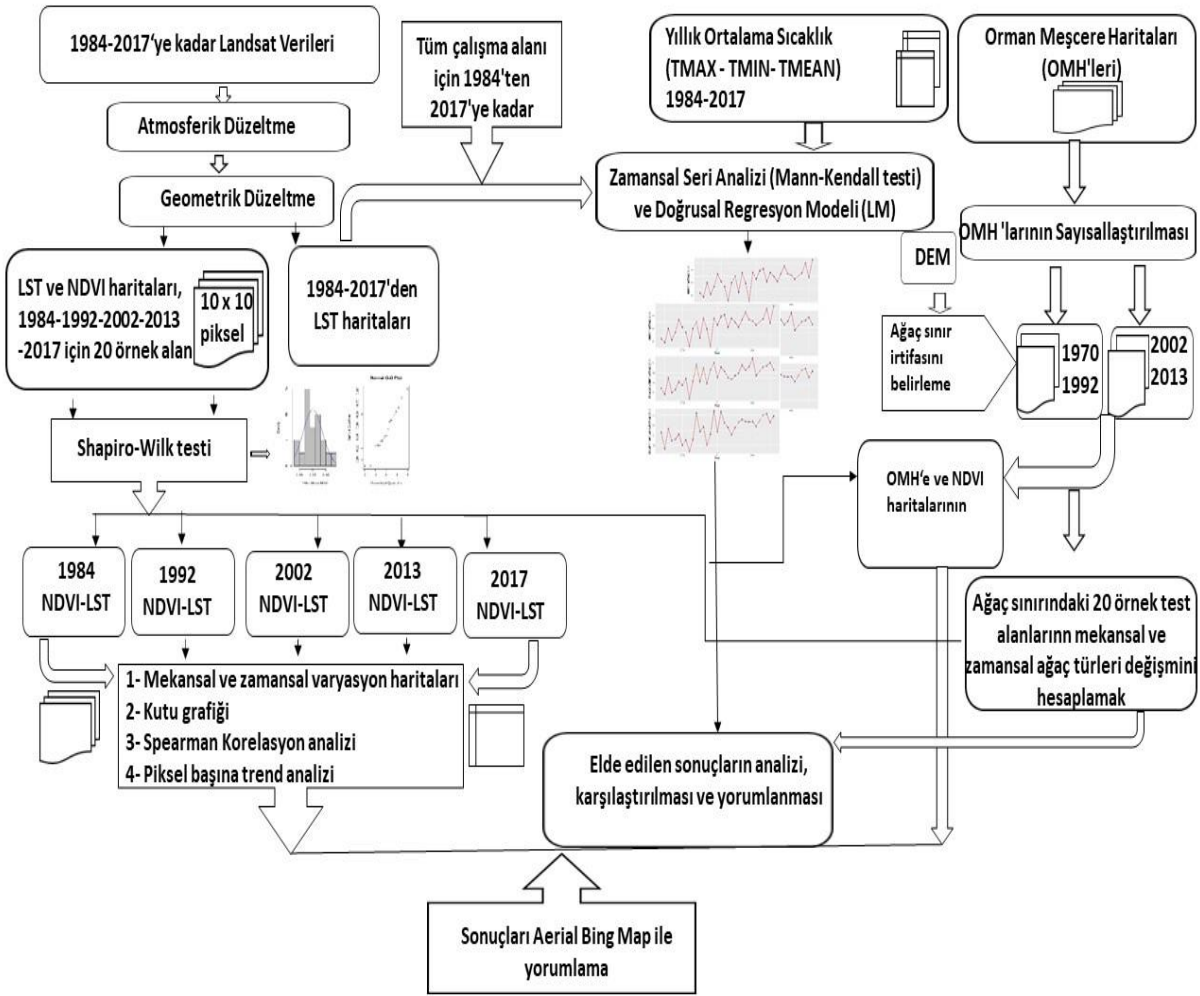
Landsat 5 TM	1993-07-11	7	176 / 34
Landsat 5 TM	1994-07-14	7	176 / 34
Landsat 5 TM	1995-08-02	7	176 / 34
Landsat 5 TM	1996-07-03	7	176 / 34
Landsat 5 TM	1997-07-22	7	176 / 34
Landsat 5 TM	1999-07-28	7	176 / 34
Landsat 5 TM	2000-07-30	7	176 / 34
Landsat 5 TM	2001-07-26	7	176 / 34
Landsat 7 ETM	2002-07-28	8	176 / 34
Landsat 5 TM	2003-07-23	7	176 / 34
Landsat 5 TM	2004-07-01	7	176 / 34
Landsat 5 TM	2005-07-28	7	176 / 34
Landsat 5 TM	2006-07-31	7	176 / 34
Landsat 5 TM	2007-07-18	7	176 / 34
Landsat 5 TM	2008-07-20	7	176 / 34
Landsat 5 TM	2009-08-24	7	176 / 34
Landsat 5 TM	2010-07-10	7	176 / 34
Landsat 5 TM	2011-07-29	7	176 / 34
Landsat _ 8 OLI	2013-08-03	12	176 / 34
Landsat _ 8 OLI	2014-08-15	12	176 / 34
Landsat _ 8 OLI	2015-07-24	12	176 / 34

Landsat _ 8 OLI	2016-07-10	12	176 / 34
Landsat _ 8 OLI	2017-07-13	12	176 / 34



3.2. YÖNTEM

Bu tezde, çalışma alanına ait Landsat görüntüleri, meşcere haritaları ve iklim verileridir. Uydu görüntüleri gerekli işlemlerden sonra analizleri yapılmıştır. Şekil 3.2’de temel hatlarıyla akış şeması gösterilmiştir.



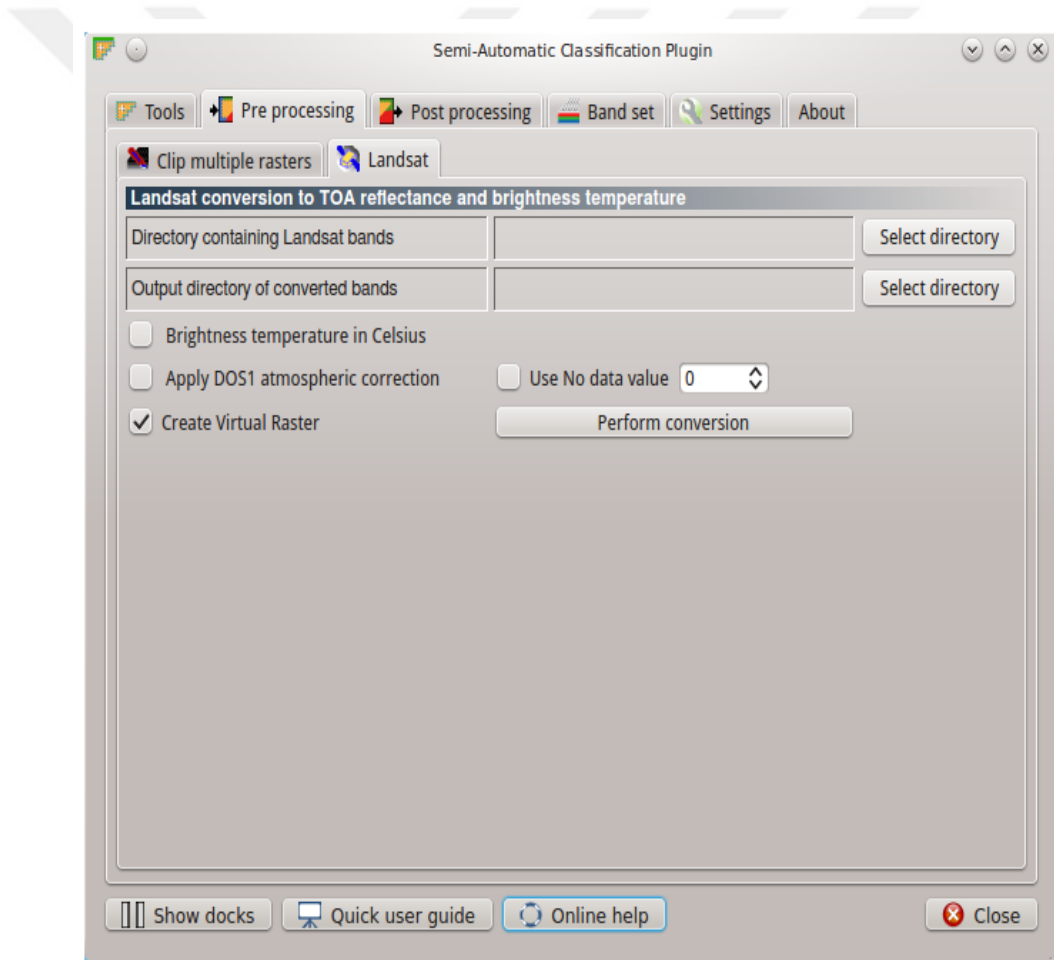
Şekil 3.2: İşlem akış şeması.

3.2.1. Ön hazırlıklar

Bu çalışmada 3 farklı ana veri seti (Landsat görüntüleri, meşcere haritaları ve iklim verileri) kullanılmıştır ve amaca yönelik her veri için gerekli işlemler yapılmıştır. Bu çalışmada 31 adet uydu görüntüsü kullanılmıştır. Görüntülere geometrik ve atmosferik düzeltme işlemi yapılmıştır.

3.2.1.1. Atmosferik Düzeltme

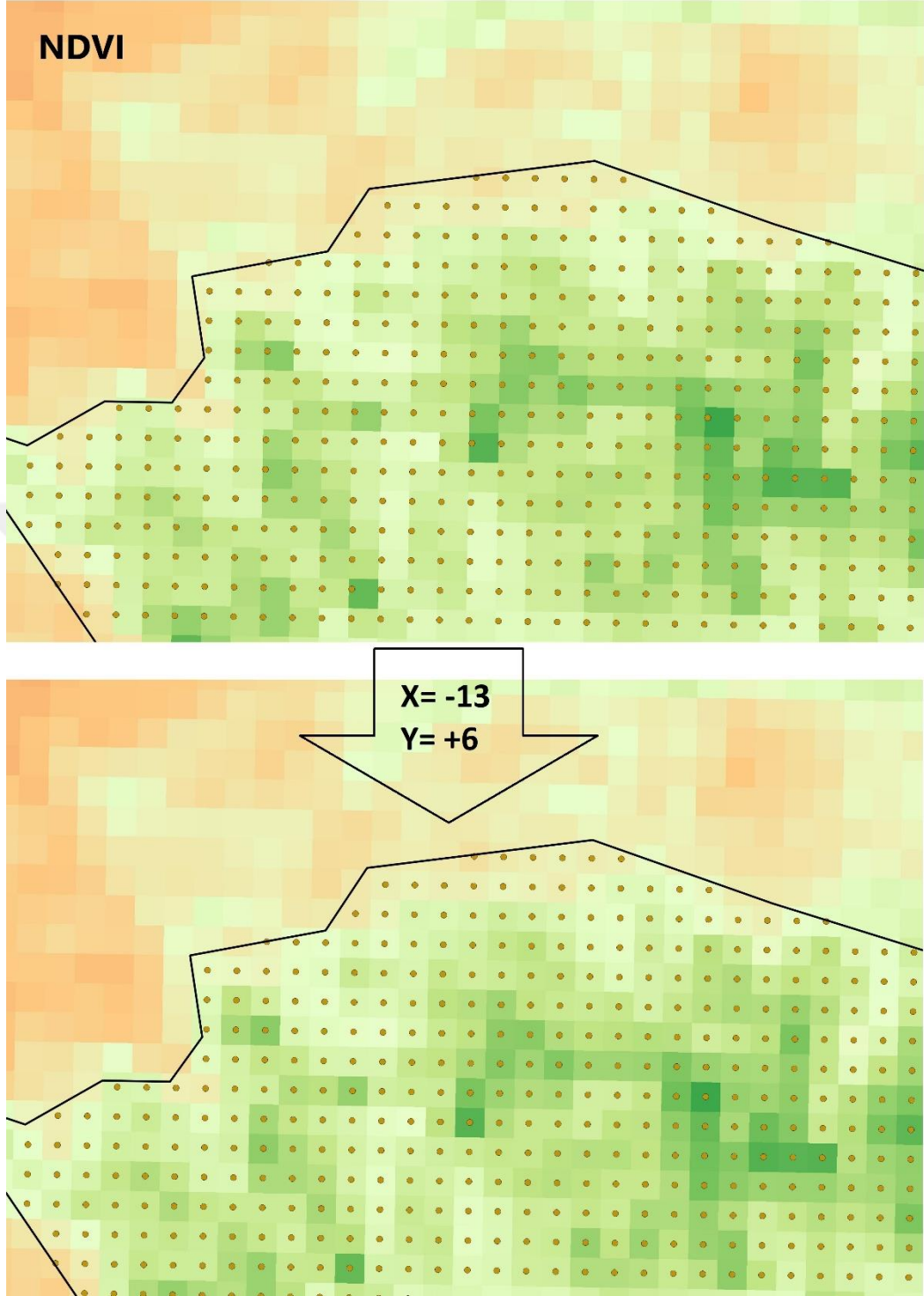
Atmosferik düzeltme, uydu veya hava sensörleri ile alınan görüntülerin yansıma değerleri üzerindeki atmosferin etkilerinin ortadan kaldırılması için bir işlemdir. Tüm görüntü için bu uygulama yapılmış ve yüzeyin spektral incelemesi bu şekilde yapılmıştır. Bu çalışmada Landsat uydu görüntülerini düzeltmek için Koyu Nesne Çıkarma (Dark Object Subtraction) atmosferik düzeltme kullanılmıştır. Bu yöntemde atmosferik saçılmanın önemli bir bileşenini içerdiğini varsayan, uydu görüntüleri için yaygın olarak kullanılan atmosferik düzeltme yöntemidir. Koyu nesne çıkarma, en koyu piksel değerini her bantta arar ve işlemi gerçekleştirmektedir [22, 30]. QGIS ortamında Yarı Otomatik Sınıflandırma Eklentisi (Semi-Automatic Classification Plugin) ile yapılmıştır.



Şekil 3.3: Atmosferik düzeltme için Qgis ortamında Yarı Otomatik Sınıflandırma Eklentisi [29].

3.2.1.2. Geometrik düzeltme

Geometrik düzeltme işlemine “Rektifikasyon” adı verilmektedir. Rektifikasyon, verinin bir grid sisteminden başka bir grid sistemine transfer işlemidir. Orta düzeyde mekansal çözünürlüklü uydu görüntüleri, 40 yılı aşkın veri erişilebilirliğiyle Dünya'nın yüzey özelliğini izlemek için orta düzeyde benzeri görülmemiş bir fırsat sağlamaktadır. Piksel düzeyinde yüksek doğrulukta izleme incelemelerinde uzaktan algılama görüntülerini kullanmanın en önemli adımlarından biri, alt piksel hassasiyetinde görüntü geometrik düzeltme gerçekleştirmektir. Aslında bu adım, uzaktan algılama ön işleme adımlarında kritik bir aşamadır ve her bir uzaktan algılama uygulamasında elde edilen sonuçları etkilemektedir. Bu çalışmada Landsat 2017 yılına ait görüntüsü temel alınarak coğrafi kayma düzeltmeleri (geo-shift corrections) geometrik düzeltme işlem yerine 31 Landsat uydu görüntülerine yapılmıştır. Bu işlemin görüntülere uygulamanın nedeni, georeferencing görüntüleri kullanarak görüntüleri eğerek (kayma düzeltmeleri (geo-shift corrections) jeo-kayıt hatalarının etkilerini önemli ölçüde azaltmaktır. Dahası, kullanılan yöntem eskiden görüntülerde uygulanmayan dönüşümler gibi büyük hacimli işlemleri büyük ölçüde azaltmaktadır. Aslında, bu yöntemin piksel değerlerini değiştirmeyen uygun bir yöntem olarak kabul edilmiştir; sadece X ve Y ekseninde pikselleri hareket ettirip bu işlem yapılmaktadır [55]. 2017 Landsat 8 OLI sensör görüntüsü temel görüntü olarak seçilmiş ve onun farklılığının diğer görüntüler ile ölçüm araçlarıyla X ve Y ekseninde metre olarak ölçülerek kodlamada kullanılmıştır. Daha sonra, eşleştirilen her bir görüntü için veriler üzerinde kaydırma ve hareket ettirmek amacıyla "Landsat" paketinden alınan "geoshift" fonksiyonu kullanılarak bir kaydırma kodu yazılmıştır ve bu aşama verilerinin hepsinde uygulanmıştır (Şekil 3.4). Bu tanımlanan yöntem, çok zamanlı görüntü işleme yapmak için tüm Landsat L1T görüntülerinde uygulanmıştır. Bu aşamada görüntülerin piksel düzeyinde hassasiyeti elde etmek için "geoshift" işlevini "Landsat" paketinden değiştirme kod alınmıştır ve birer birer her bant için bu analiz yapılmıştır. Tüm analizler R [129] istatistik programı ve Qgis [112] ortamında yapıldı.



Şekil 3.4: Görüntülere "geoshift" işlevini uygulamadan önce ve sonra (NDVI).

3.2.1.3. Normalized edilmis bitki indeksi (NDVI)

Bu çalışmada orman ağaç sınırının değişimini izlemek için NDVI algoritması uygulanmıştır. NDVI bu çalışmada orman ağaç ağaçlar sınırının zamansal değişim boyutunu Landsat verilerini kullanarak elde edilmiştir. NDVI, spektrumun yakın kızıl ötesi ve kırmızı yansıma üzerine hesaplanmıştır.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (3.1)$$

NDVI haritaları çalışma dönemi (31 yıllık görüntüler) için hesaplanmıştır ve elde edilmiştir.

3.2.1.4. Arazi Yüzey Sıcaklığı

Arazi Yüzey Sıcaklığı (AYS) Haritalarının Tahmin Edilmesi için, AYS haritaları, Weng ve arkadaşları 2004 tarafından uygulanan istatistiksel algoritmalar kullanılarak Landsat termal bantları hesaplanmıştır ve NDVI haritaları tarafından üç adımda tahmin edilmiştir. İlk olarak, görüntülerin sayısal sayıları radyan değerlerine dönüştürüldü. İkincisi, görüntü spektral parlaklığı uydu parlaklığı sıcaklığına dönüştürüldü. Üçüncü olarak, uydu parlaklığı sıcaklığı kara yüzey sıcaklığına dönüştürüldü. Açıklamak gerekirse, bu süreç Landsat TM için bant 6'ya ve Landsat 8 OLI için 10'a uygulandı. AYS haritası her çalışma periyodu için ° C olarak oluşturuldu. Tüm hesaplamalar "raster paket" ve "Landsat paketi" kullanılarak Qgis Raster Calculator ve R programında yapılmıştır. AYS haritalarını üretmek için iki aşamalı işlem yapılmıştır. Birinci aşamada piksellerin DN değerlerinin spektral radyans değerlerine dönüştürülmüştür. Bunun için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır (3.2) [147]:

$$L\lambda = [(L_{MAX\lambda} - L_{MIN\lambda}) / ((QCAL_{MAX} - QCAL_{MIN}))] \times [QCAL - QCAL_{MIN}] + L_{MIN\lambda} \quad (3.2)$$

Burada;

$L\lambda$: Sensördeki spektral radyans (MW.c-2.sr-1.µm-1)

$L_{MIN\lambda}$: QCALMIN'e göre ölçeklendirilen spektral radyans

$L_{MAX\lambda}$: QCALMAX'a göre ölçeklendirilen spektral radyans

$QCAL$: Parlaklık değerleri

$QCAL_{MIN}$: Minimum parlaklık değeri

$QCAL_{MAX}$: Maksimum parlaklık değeri

Bir sonraki aşamada uydu verilerinin spektral radyans değerlerini AYS değerlerine dönüştürmek için aşağıdaki (3.3) numaralı denklem kullanılmıştır. Termal bant kalibrasyon sabitleri her yıl için görüntü dosyasından elde edilmiştir (Tablo 3.4).

$$Tb = K2 / ((K1/L\lambda) + 1)$$

(3.3)

Burada;

K1= Kalibrasyon sabiti (607.76),

K2 = Kalibrasyon sabiti (1260.56),

Tb = Yüzey Sıcaklığı

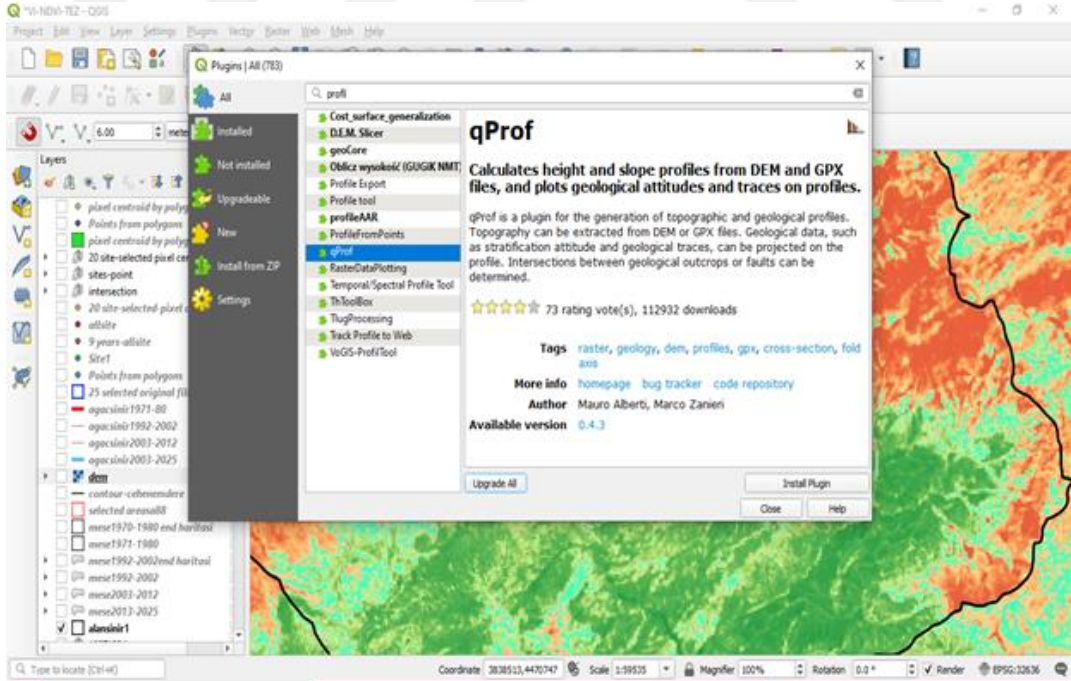
Tb = Tb – 273 (Kelvin den dereceye dönüşüm)

Tablo 3.3: Termal bantlarının kalibrasyon sabitleri.

	Constant 1- K1	Constant 2- K2
Landsat 5	607.76	1260.56
Landsat ETM⁺	666.09	1282.71
Landsat 8	774.89	1321.08

3.2.2. Orman meşcere haritaları

Orman Genel Müdürlüğü'nden dört döneme ait meşcere haritaları (1970-1992-2002-2013) temin edilmiştir. Her döneme ait orman meşcere haritası, Qgis ortamında georeference ve sayısallaştırılmıştır. Eşzamanlı olarak, orman ağaç sınırını göstermek için, her dönem için meşcere haritasının en yüksek kısmı sayısallaştırılmış ve bir vektör katmanı hazırlanmıştır (1970-1992-2002-2013). Aynı zamanda, “Profil aracı” eklentisini kullanarak topoğrafya haritasındaki en yüksek ağaç sınırı (1970-1992-2002-2013) her dönem için belirlenmiştir. Daha sonra, profil istatistikleri, her bir sınır için “qProf” eklentisi ile yükseklik profili istatistikleri sayısal yükseklik modeli kullanarak hesaplanmıştır. Bu eklenti, 30 metrelik mekansal çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modelini temel alarak her dönem için arazi profillerini çizer. Orman ağaç sınırının kaymalarını belirlemek için, 1970-1992, 1992-2002, 2002-2013 dönemleri için iki dönem fark haritası hesaplanmıştır. Ayrıca mekansal olarak değişen ağaç sınırının koordinat değerleri belirlenmiştir. Tüm hesaplamalar “raster paket” ve “Landsat paketi” kullanılarak Qgis ortamında Raster Calculator ve R programında yardımı ile yapılmıştır (Şekil 3.5).



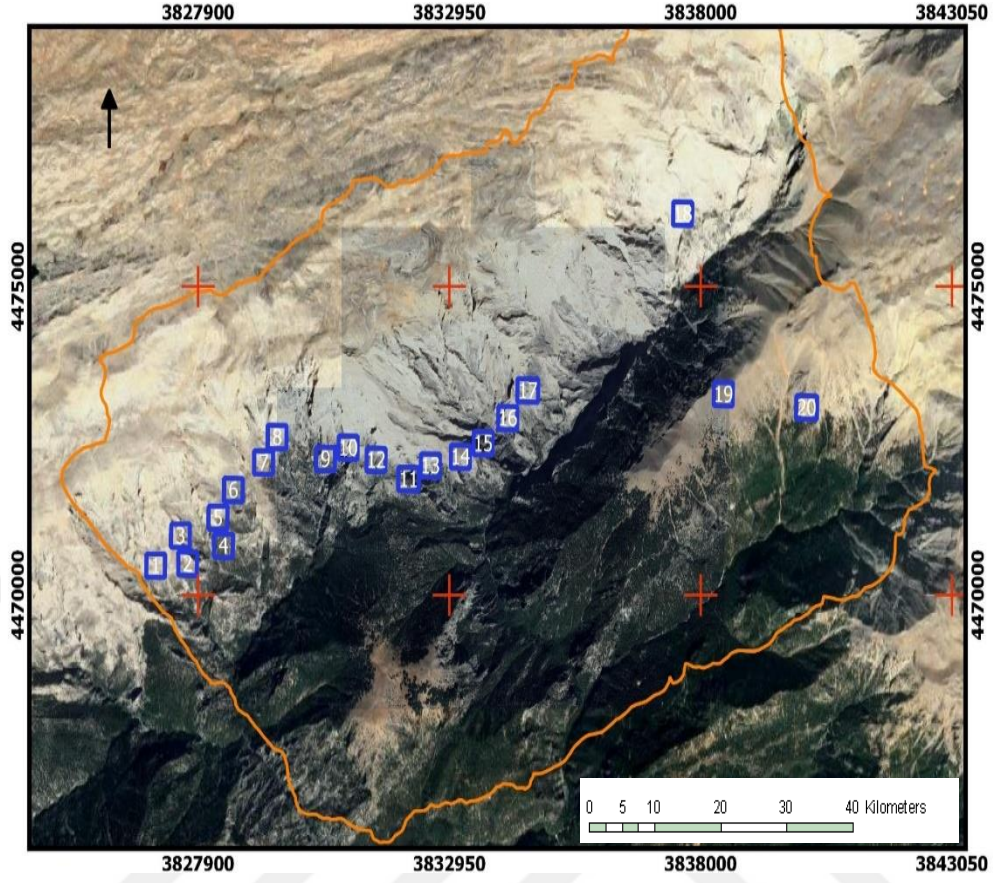
Şekil 3.5: Qgis ortamında “qProf” eklentisi.

3.2.3. İklim verileri

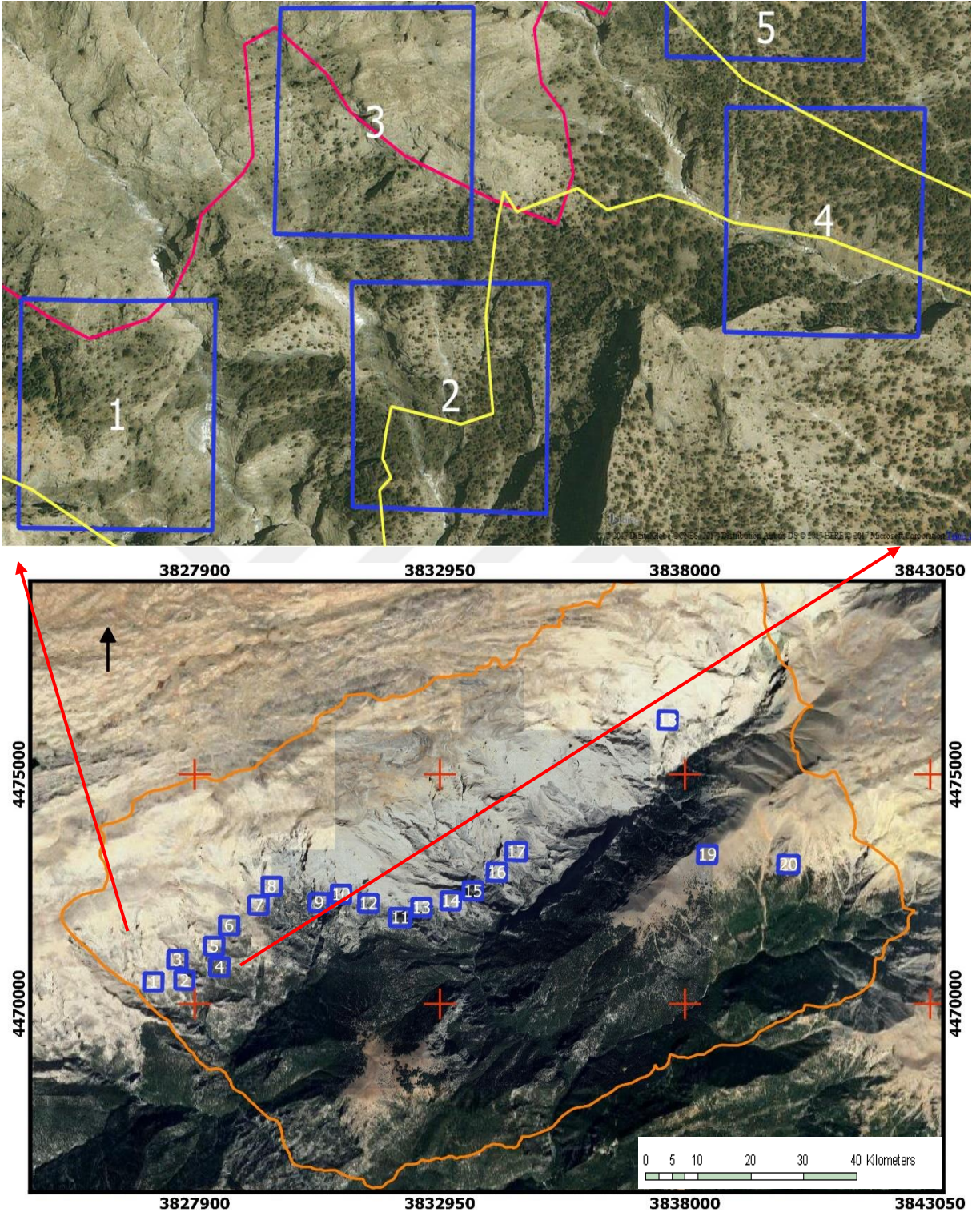
Mersin Meteoroloji İstasyonu'ndan 1970 -2017 yılları arasında yıllık ve aylık hava sıcaklığı (ortalama, minimum, maximum) verileri elde edilmiştir. Çalışma alanı içinde yeterli meteoroloji istasyonu bulunmaması nedeniyle sıcaklık grid haritalarının çıkarılması için interpolasyon analizinin yapılmadığını vurgulamak önemlidir.

3.2.4. Veri Analizi

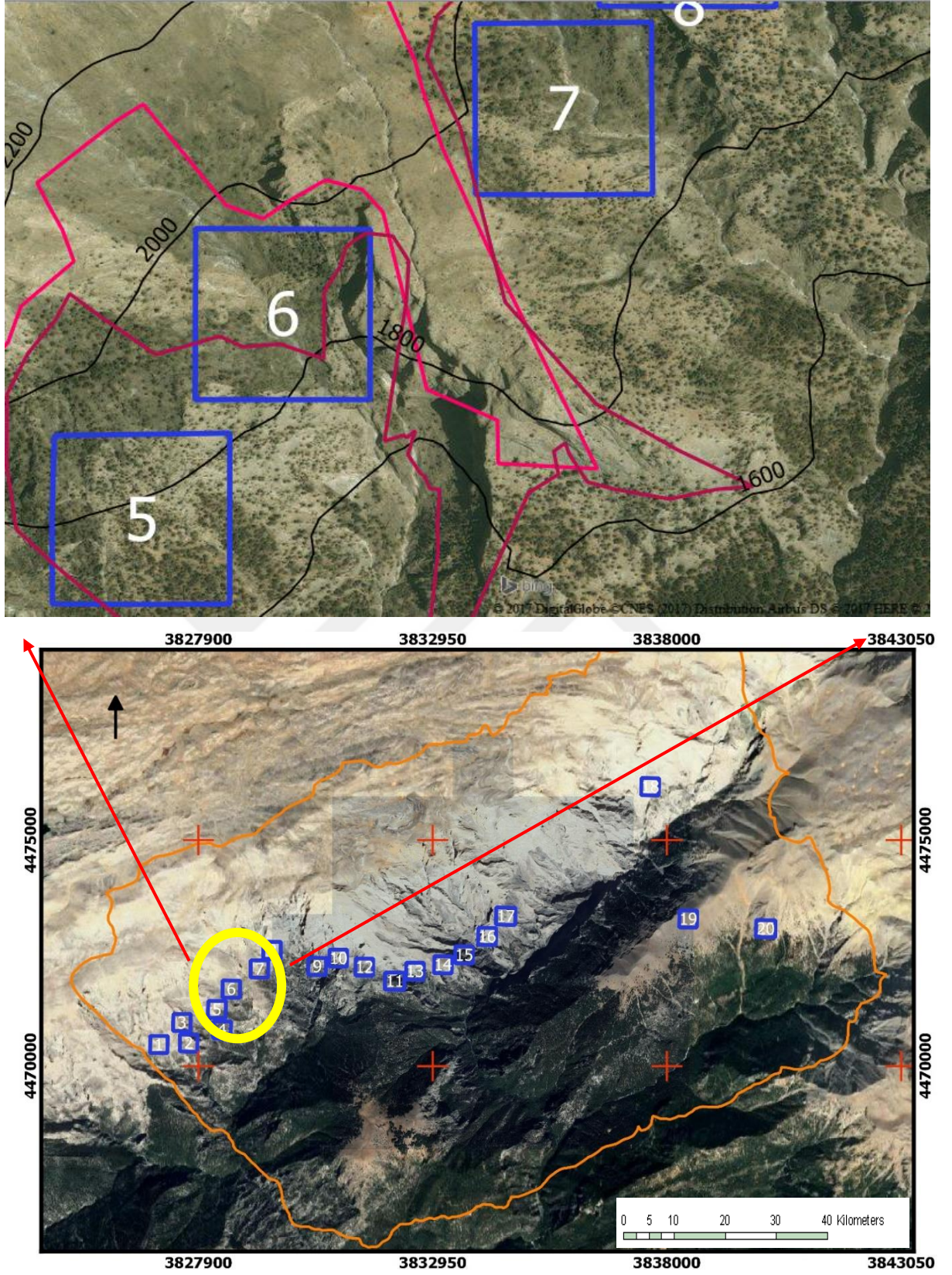
Bu çalışmada, 43 yılı aşkın bir sürelik orman ağaç sınırı dinamiklerini göstermek için uzaktan algılama verisi (Landsat), hava sıcaklığı verileri ve meşcere haritaları kullanılarak yeni bir yöntem geliştirmeye çalışılmıştır. Öncelikle, tüm sıcaklık (hava sıcaklığı ve AYS) değişkenlerinde anlamlılık eğilimini araştırmak için Mann-Kendall trend testi kullanılmıştır. İkinci olarak, orman ağaç sınırını, her bir çalışma periyodu için (1970, 1992, 2002 ve 2013) orman meşcere haritaları sayısallaştırılmış ve her dönem için ağaç sınırı yükselti profili istatistikleri hesaplanmıştır. NDVI ve AYS değişimlerini, çalışma periyodu boyunca incelemek için, piksel eğrisi analizi kullanılarak, 20 test alanı (10 x 10 piksel) orman ağaç sınırında seçilmiştir (Şekil 3.6). Buna ek olarak, ağaç türlerini belirlemek için orman meşcere haritaları üzerindeki her bir dönem (20 test alanı) için mekansal ve zamansal ağaç türü kaymaları seçilen test alanlar içinde hesaplanmıştır. Çalışma alanı ve belirlenen test alanlarının yerleri gösterilmiştir Şekil 3.7-3.13.



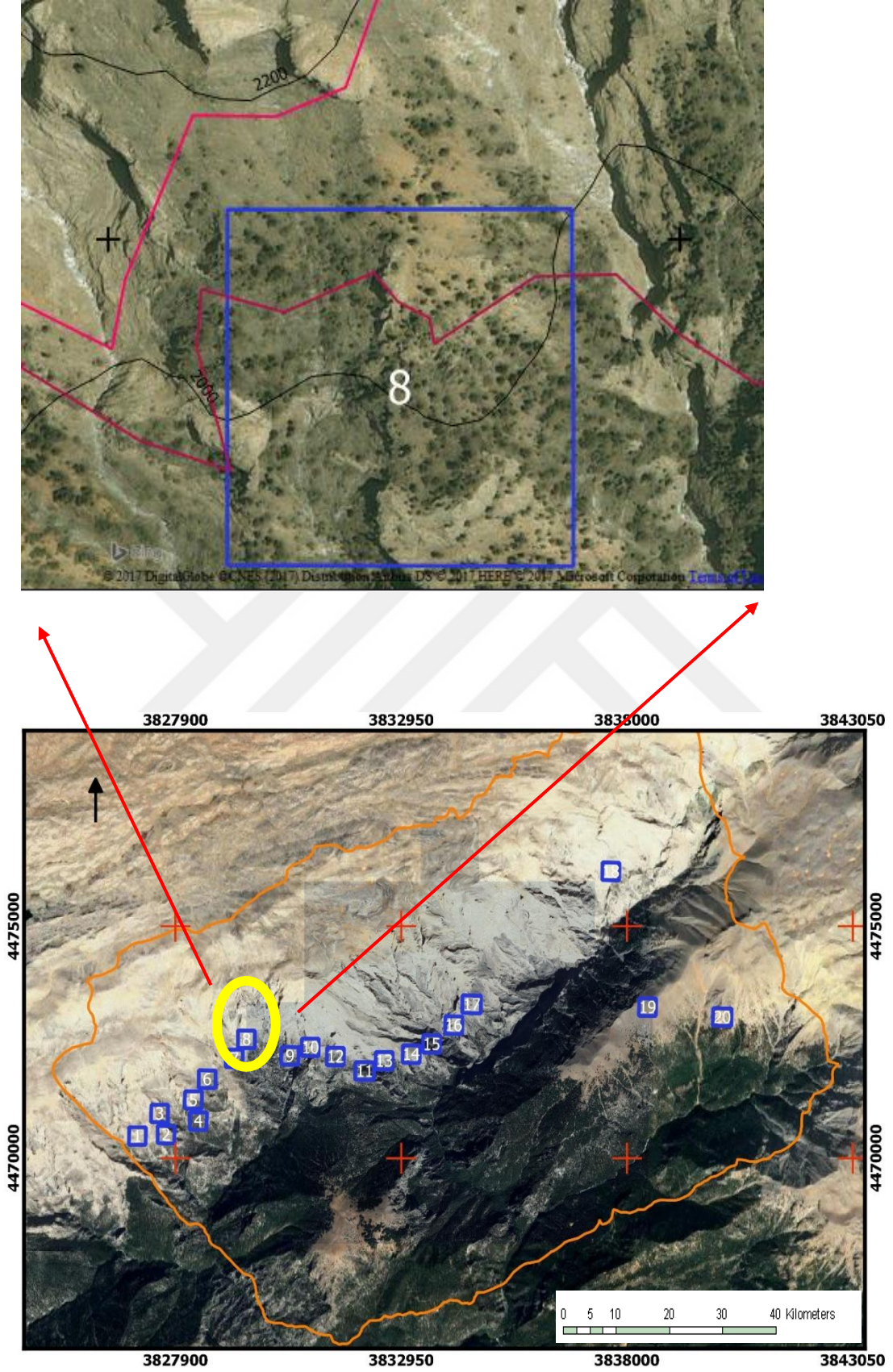
Şekil 3.6: Çalışma alanı ve belirlenen test alanları. Mavi kareler, örnek test alanlarının yerlerini göstermektedir.



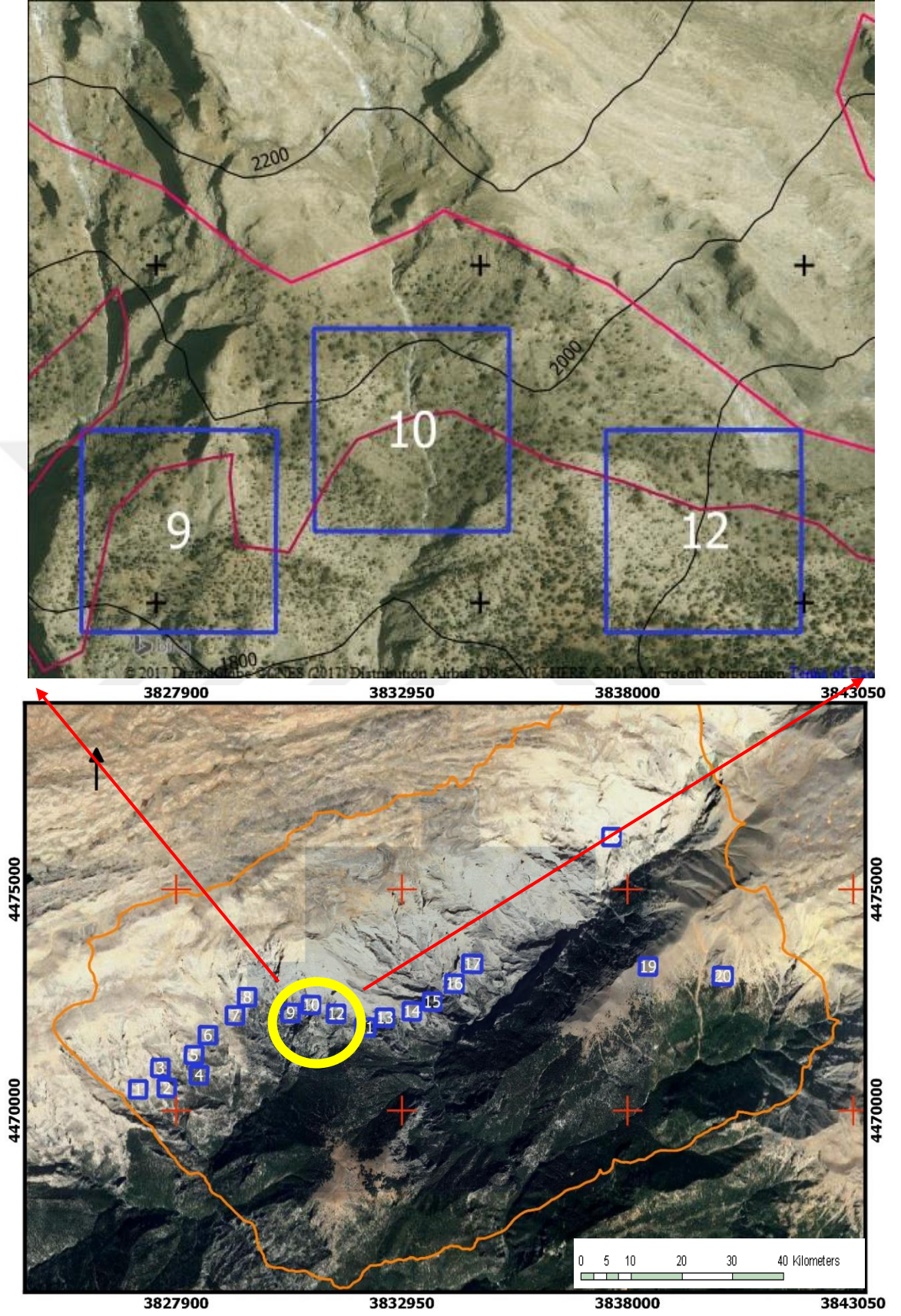
Şekil 3.7: Çalışmada 1., 2., 3., ve 4. test alanları.



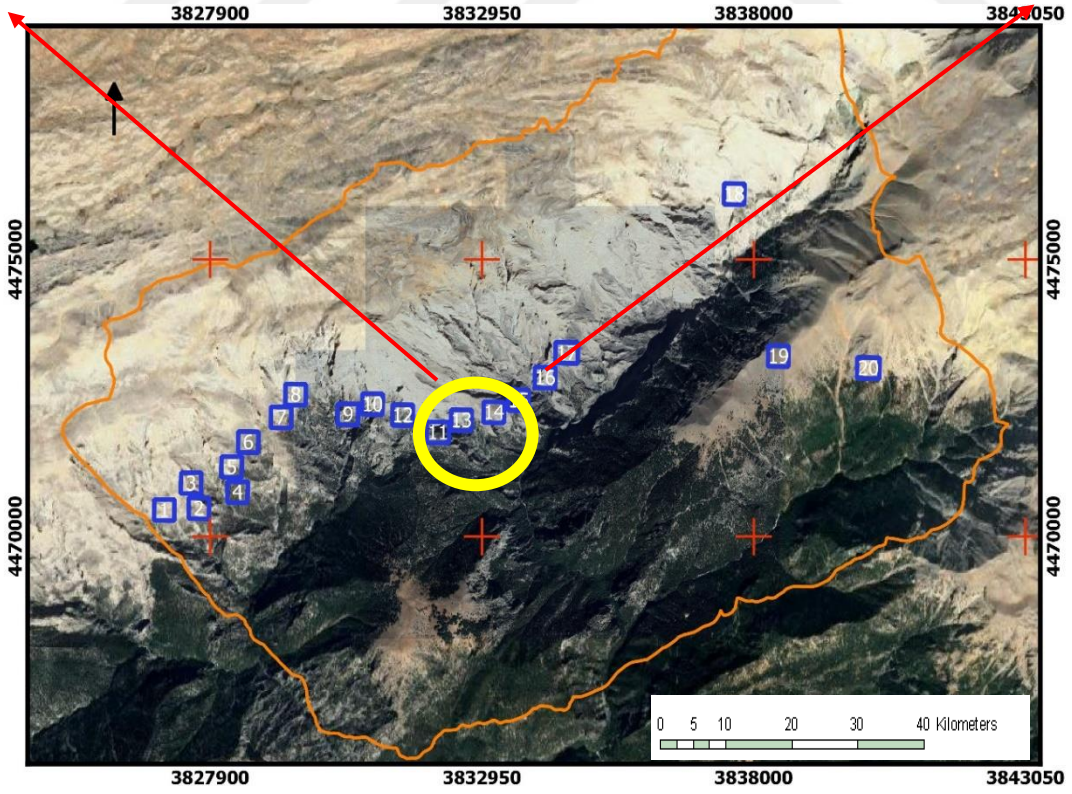
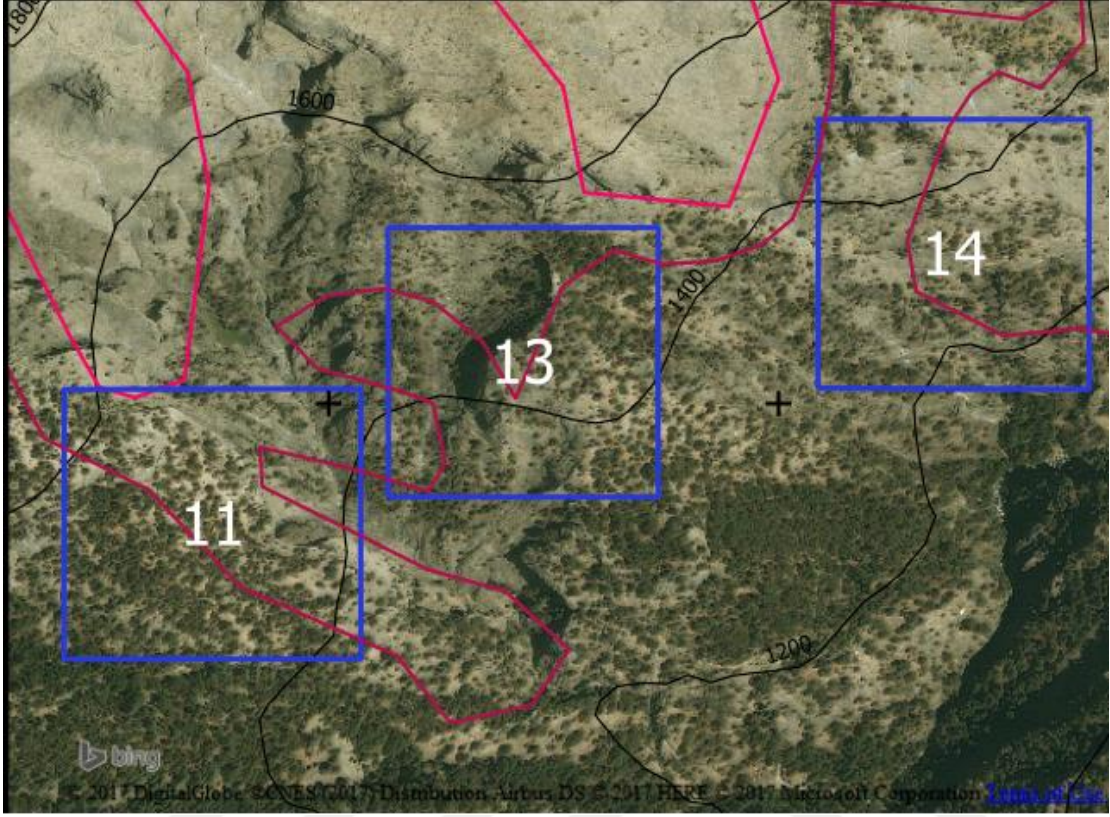
Şekil 3.8: Çalışmada 5., 6., ve 7. test alanları.



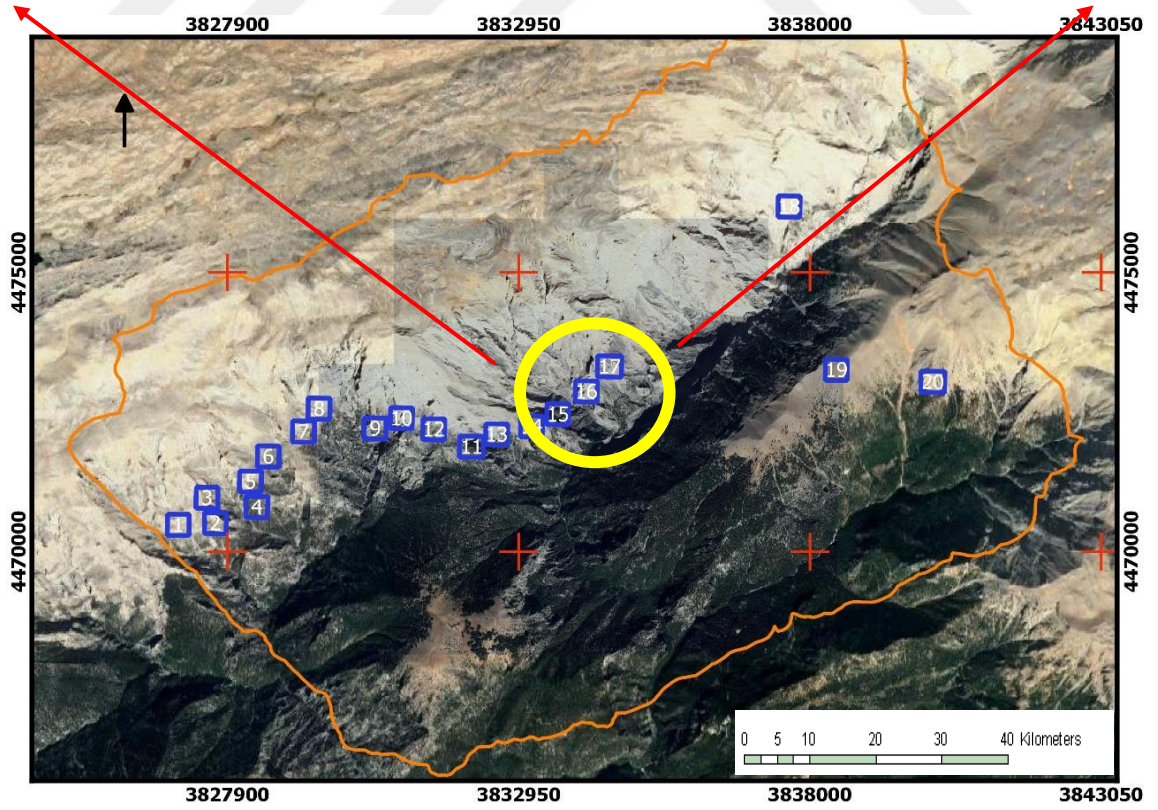
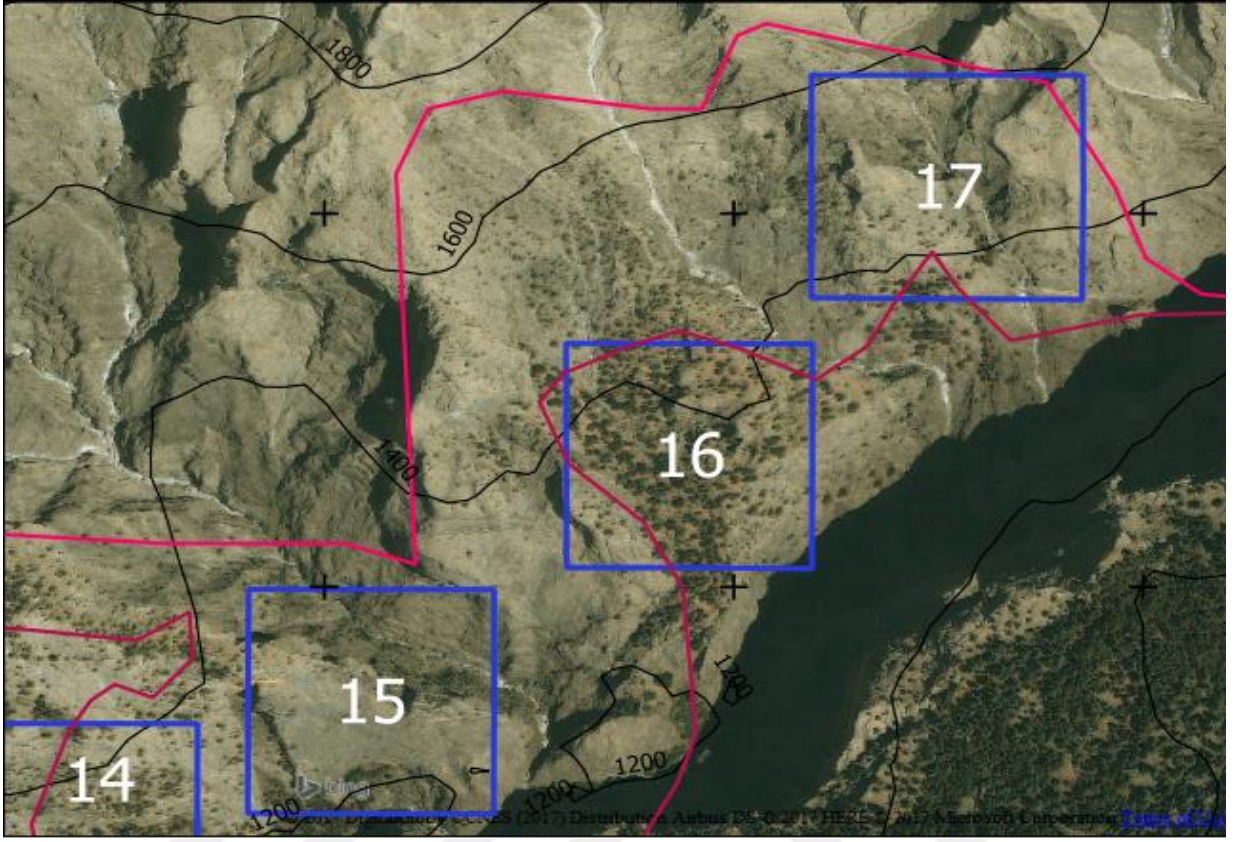
Şekil 3.9: Çalışmada 8. test alanı.



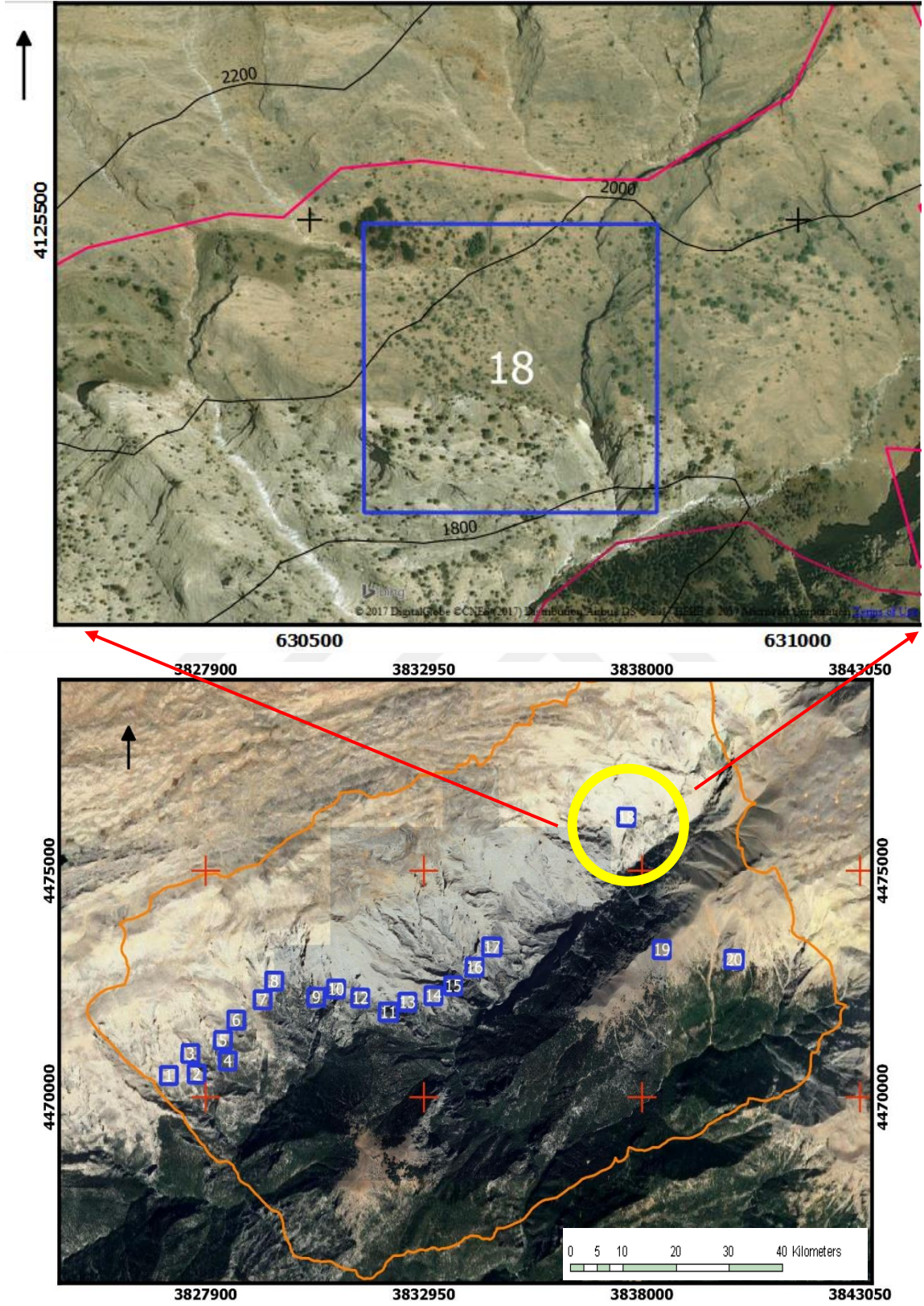
Şekil 3.10: Çalışmada 9., 10., ve 12. test alanları



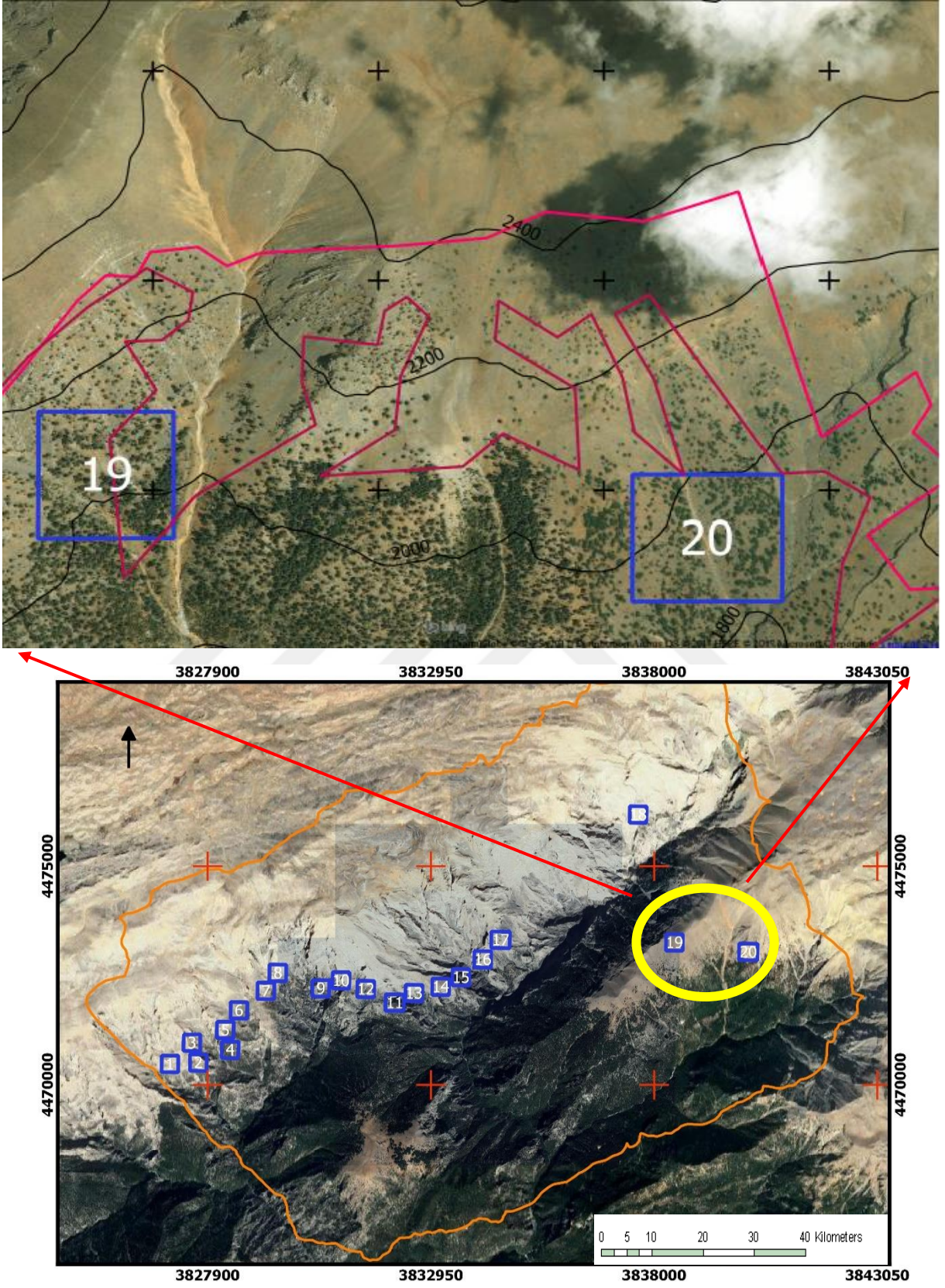
Şekil 3.11: Çalışmada 11., 13., ve 14. test alanları.



Şekil 3.12: Çalışmada 15., 16., ve 17. test alanları.



Şekil 3.13: Çalışmada 8. test alanı.



Şekil 3.14: Çalışmada 19. ve 20. test alanları

Parametrik olmayan Mann-Kendall trend testi ve lineer model (LM) sırasıyla değişkenlerin anlamlılık ve eğilimleri belirlemek için uygulanmıştır. Özellikle, istatistiksel anlamlılık “tua” katsayısı kullanılarak analiz edilmiştir. Eğilim analizi, iklim değişkenlerine eğilimlerini ve iklim değişkenlerinin önemini (AYS, aylık ortalama sıcaklık, aylık ortalama minimum sıcaklık ve aylık ortalama maksimum sıcaklık) belirlemek için Mann-Kendall trend testi ile iklim parametreleri olarak uygulanmıştır.

Orman meşcere haritalarından orman ağaç sınır kaymalarını belirlemek için, 1970-1992, 1992-2002, 2002-2013 dönemleri için orman meşcere haritalarının üst üste getirilmesiyle, yükseklik varyasyonu hesaplanmıştır. Elde edilen orman ağaç sınır haritaları, ilgili sınırdan NDVI haritalarına yerleştirilmiş ve orman ağaç sınırındaki her bir çalışma periyodu için NDVI yoğunluk değerlerindeki değişimler saptanmıştır. Tüm 20 test alanının NDVI ve AYS değerleri ortalaması alınarak R ortamında kaydedilmiştir. Aynı zamanda, AYS ve NDVI'nın normal dağılımı tüm araştırma dönemleri için Shapiro-Wilk testi (parametrik olmayan test) kullanılarak analiz edilmiştir. Aynı şekilde, NDVI ve AYS arasındaki kutucuklar ve dağılım arazileri her yıl ayrı ayrı yapılmıştır (1984-1992-2002-2013-2017). Her bir tet alanın NDVI ve AYS'sine ilişkin piksel eğilimleri, piksel tabanlı sağlam bir doğrusal model üzerinde hesaplanmıştır ve dokuz zaman periyodu için trend önemi hesaplanmıştır (1984-1988-1992-1997-2002-2007-2010-2013-2017). Ayrıca, NDVI ve AYS pikselleri arasındaki non-parametrik Spearman korelasyon analizi 1984 ve 2017 yılları arasında tahmin edilmiştir. Eşzamanlı olarak, mekansal ve zamansal ağaç türlerindeki değişimler, orman arazisi yapısını ve dört zaman periyodu boyunca (1970-1992-2002-2013) orman ağaç sınır kaymalarını vardiolarını izlemek için seçilen alanlar içinde hesaplanmıştır. Dahası, anlamlılık düzeyleri dört değerde (0,00, 0,001, 0,01, 0,05) belirlenmiştir. Tüm istatistiksel analizler, R yazılımı ve çeşitli Quantum GIS eklentileri ile yapılmıştır.

Her döneme ait meşcere haritaları, Qgis ortamında georeference ve sayısallaştırılmıştır. Eşzamanlı olarak, orman ağaç sınırını göstermek için, her dönem için meşcere haritasının en yüksek kısmı sayısallaştırılmış ve bir vektör katmanı hazırlanmıştır (1970-1992-2002-2013). Aynı zamanda, “Profil aracı” eklentisini kullanarak topoğrafya haritasındaki en yüksek ağaç sınırı her dönem (1970-1992-2002-2013) için belirlenmiştir. Daha sonra, profil istatistikleri, her bir sınır için “qProf” eklentisi ile yükseklik profili istatistikleri hesaplanmıştır. Orman ağaç sınırının kaymalarını belirlemek için, 1970-1992, 1992-2002, 2002-2013 dönemleri için bir iki dönem fark haritası hesaplanmıştır. Eşzamanlı olarak, mekansal ve zamansal ağaç

türlerindeki değişimler, orman arazi yapısı ve dört zaman periyodu boyunca (1970-1992-2002-2013) hesaplanmıştır. Ayrıca, mekansal olarak değişen ağaç sınırının koordinat sistemi belirlenmiştir. Bununla birlikte, orman meşcere haritalarının mekansal dağılım detaylarına göre, çalışma alanının tüm kısımlarında orman ağaçlarının dağılımıyla alakalı incelemeler yapılmıştır. Tüm hesaplamalar “Raster paket” ve “Landsat paketi” kullanılarak Qgis Raster Calculator ve R programında yapılmıştır.



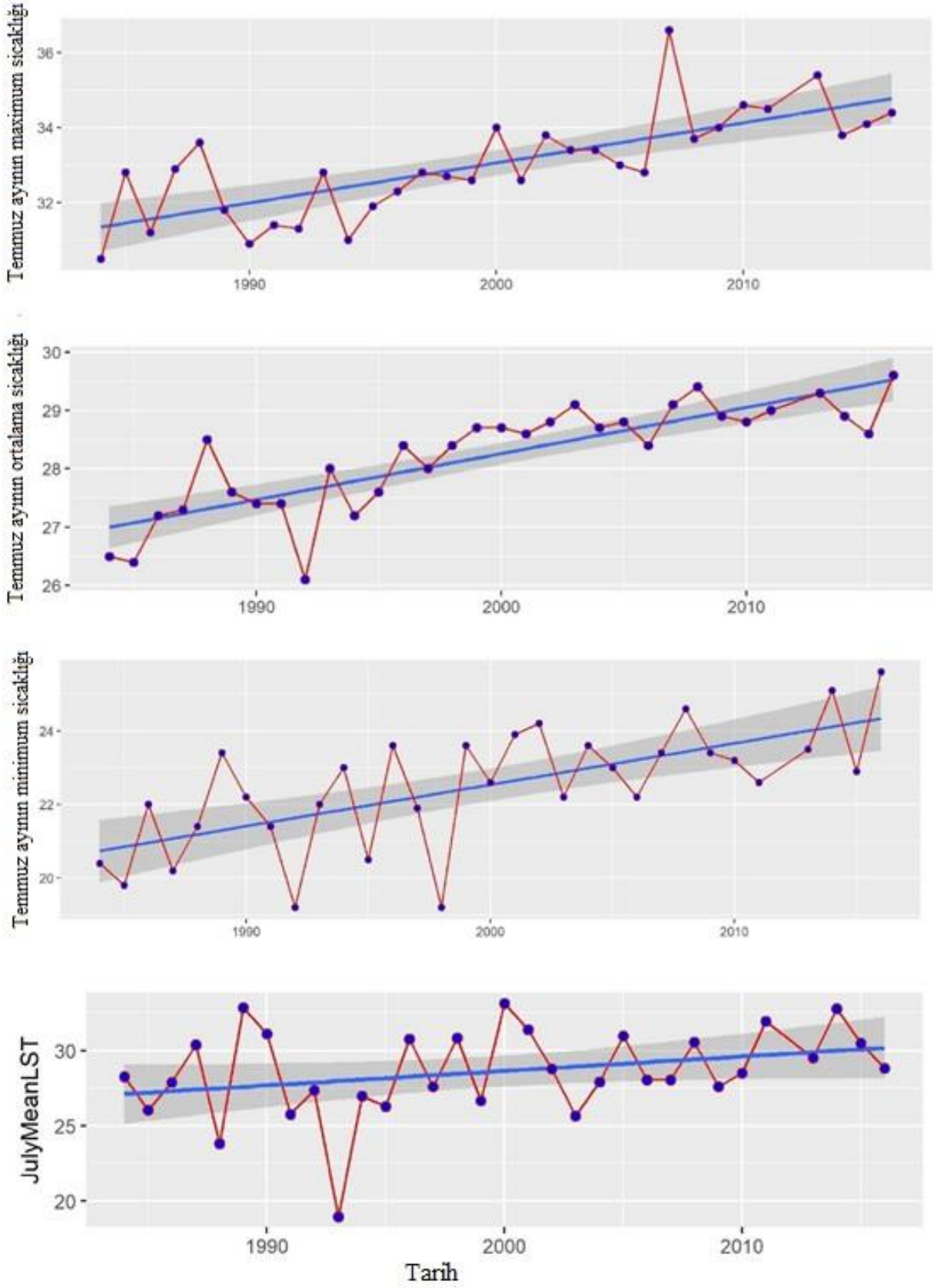
4. BULGULAR

4.1. ZAMAN SERİSİ ANALİZİ, MANN-KENDALL TREND ANALİZİ

Tüm aylık ortalama sıcaklık değişkenlerinin istatistiksel olarak anlamı ve eğilimi gözlenmiştir (Şekil 4.1). Sıcaklık verilerinin zamansal seri analizi, aylık ortalama sıcaklığın çalışma alanında 1980'den beri en az 3° C'lik belirgin bir ısınma eğilimi ile karşılaştığını (Tablo 4.1) ve 1970'ten beri 4° C'lik bir artış meydana geldiğini göstermiştir. Uzun vadeli ortalama AYS (tau = 0,265, $\rho < 0,01$), aylık ortalama sıcaklık (TMEAN), aylık ortalama minimum sıcaklık (TMIN) ve aylık ortalama maksimum sıcaklık (TMAX) eğilim analizi, istatistiksel olarak pozitif bir eğilim göstermiştir. Aylık ortalama ve maksimum hava sıcaklığının 32 yıl boyunca (1984'ten 2016'ya) analizi, Temmuz'daki en önemli ısınma eğilimini ortaya koymuştur (TMEAN7 için tau = 0,62, $\rho < 0,00$), TMAX7 için tau = 0,595, $\rho < 0,00$), Ocak- Temmuz ((tau = 0,525, TMEAN1-7 için $\rho < 0,00$), (tau = 0,523, TMAX1-7 için $\rho < 0,00$)) ve Ocak - Aralık (tau = 0,562, $\rho < 0,00$ TMEAN12), (sırasıyla TMAX12 için tau = 0,558, $\rho < 0,00$)) (Tablo 4.1).

Tablo 4.1: İklim değişkenlerinin zamansal seri analizi (aylık ortalama sıcaklık (TMEAN), aylık ortalama minimum sıcaklık (TMIN) ve aylık ortalama maksimum sıcaklık (TMAX)) ve AYS (MEAN, MAX, MIN) (ortalama 12 = ortalama Ocak- Aralık, ortalama 1.7 = ortalama Ocak - Temmuz sıcaklığı, X7 = ortalama Temmuz sıcaklığı).

		tau	2-sided pvalue
AYS	MEAN	0,265	0,031262*
	MAX	0,0155	0,9133
	MIN	0,362	0,0036792**
Aylık Ortalama sıcaklık	mean12	0,562	4,8876e-06***
	mean1,7	0,525	1,8954e-05***
	X7	0,62	5,9605e-07***
Aylık Ortalama Maksimum sıcaklık	mean12	0,558	8,2254e-06***
	mean1,7	0,523	2,861e-05***
	X7	0,595	2,265e-06***
Aylık Ortalama Minimum sıcaklık	mean12	0,532	2,1338e-05***
	mean1,7	0,491	8,6427e-05***
	X7	0,474	0,00017405***
0 '***' 0,001 '***' 0,01 '**' 0,05 '.' (2-tailed)			



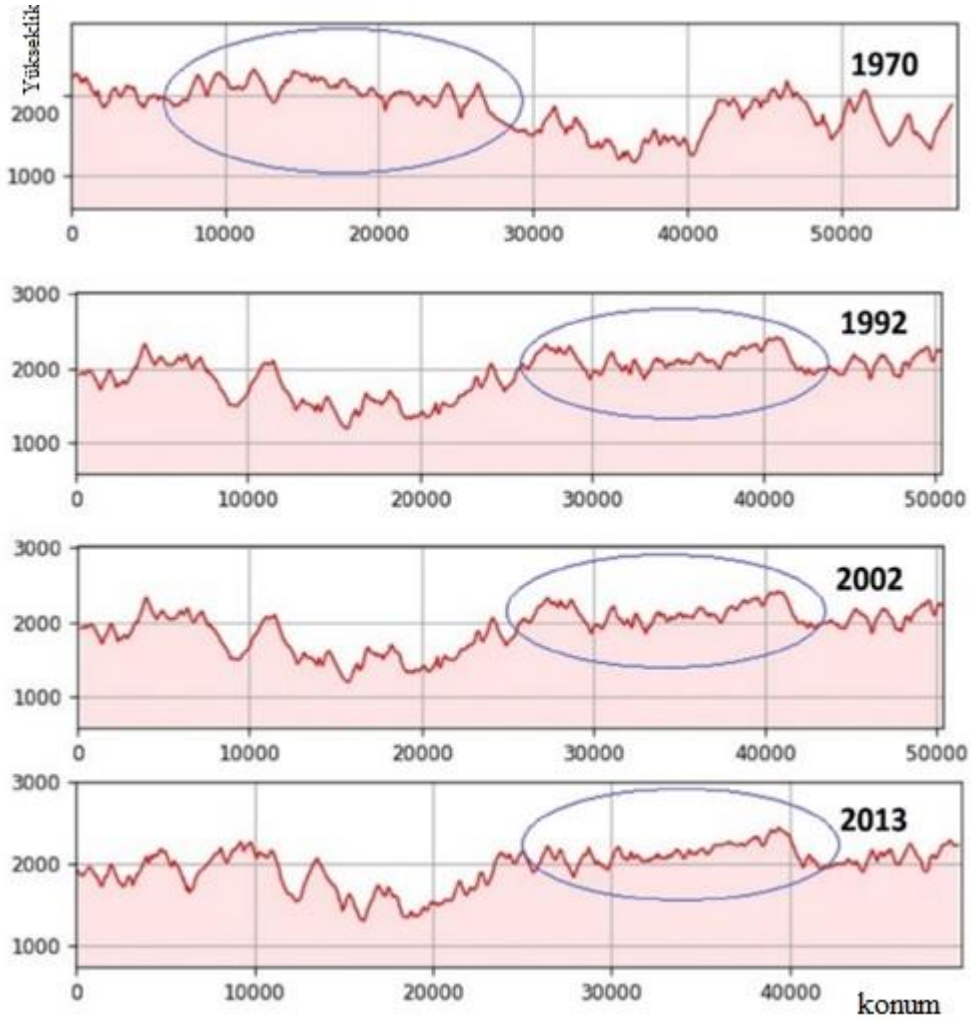
Şekil 4.1: Temmuz ay sıcaklığı ($^{\circ}$ C)(Y eksenini : TMEAN7, TMAX7, TMIN7), ve AYS 1984den 2016ya kadar.

4.2. ORMAN AĞAÇ SINIRININ YÜKSEKLİK DEĞİŞİMİ

1970-1992, 1992-2002 ve 2002-2013 dönemleri için ağaç sınırının alt ve üst pozisyonu ve değişimi araştırılmıştır. Ağaç sınırı, tüm üç zaman diliminde meydana gelen en düşük ve en yüksek ağaç sınırını rakımlarının her ikisinde de değişmektedir (Tablo 4.2). En yüksek ağaç sınır rakımı 2013 yılında 2442,48 m iken, 1970 yılında 2335 m olarak belirlenmiştir. 1992-2002 döneminde yaklaşık 44,45 m'lik bir yükselme görülmüştür, bu da diğer dönemlerden çok daha yüksektir. En düşük ağaç sınır rakımı yüksekliği, 2002 ile 2013 yılları arasında yaklaşık 22,3 m artmıştır. Ayrıca, tahmin edilen en düşük ağaç sınır rakımı yüksekliği, 1970 yılında 1158,75 m'den 2013 yılında 1303,82 m'ye yükselmiştir (Şekil 4.2 ve Tablo 4.2). Benzer şekilde, gözlemlenen kaymalar orman meşcere haritaları tamamında tutarlı değildir. Bazen en üst sıralarda belirgin kaymalar tespit edilmemiştir. Bununla birlikte, orman meşcere haritalarının mekansal dağılım detaylarına göre, çalışma alanının tüm kısımlarında orman ağacı türlerinin genişlemesine yönelik kanıtlar bulunmakta olup, Sedir ağacı ve Ardıç ağacı tutarlı bir şekilde kaya ve toprak kaplı alanlarda gelişen iki ağaç türü olarak gözlemlenmiştir. Toplamda, ağaç türleri belgelenen meşcere haritalarına göre çalışma süresine göre artmıştır ve bu eğilim Qgis ortamındaki Bing Aerial görüntülerinde açıkça görülmüştür (Şekil 4.2).

Tablo 4.2: Orman ağaç sınırının yükselti pozisyonu (m) ve değişimi.

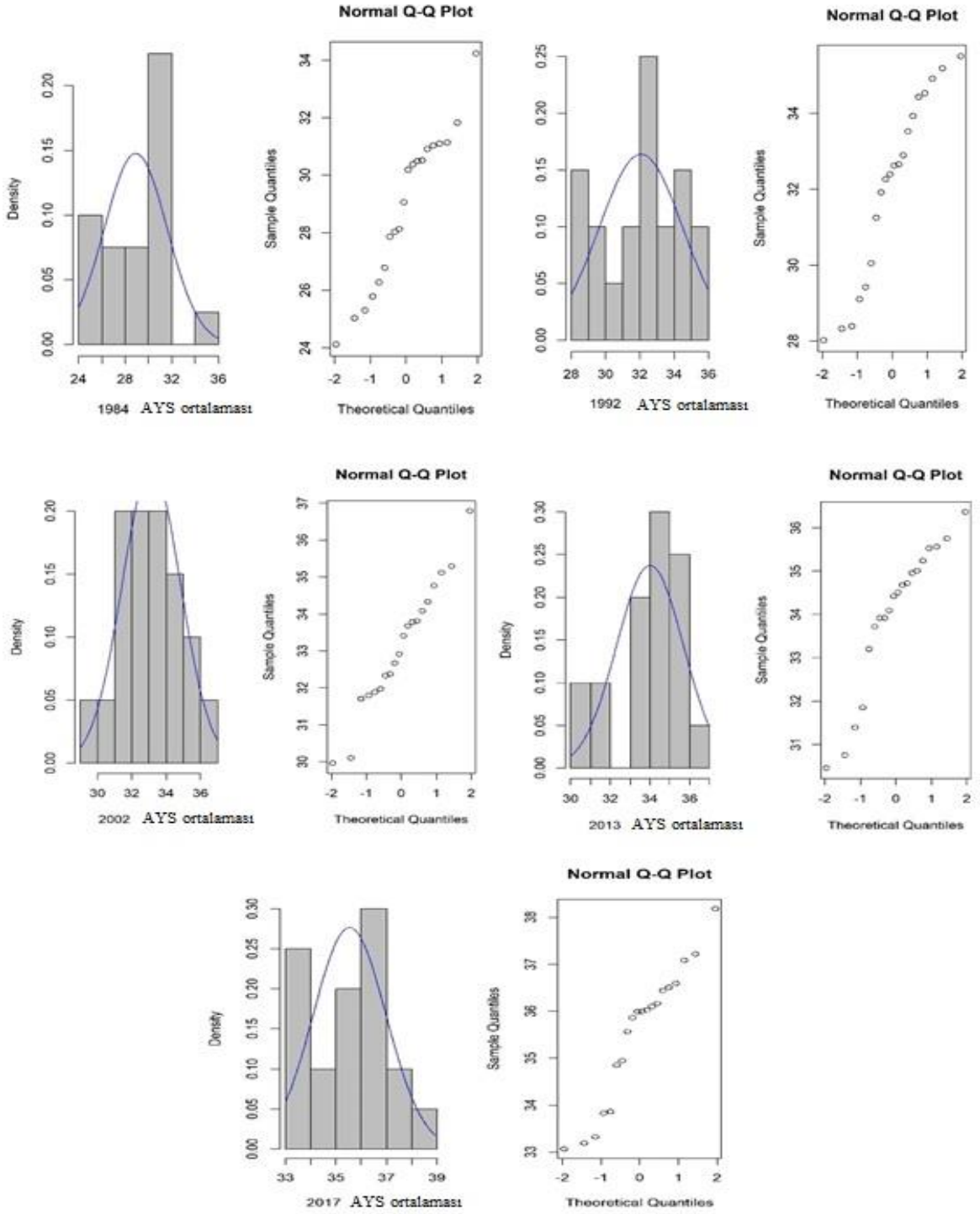
Çalışma a periyod u	Yükseklik					Değişimler		
	en düşük	en yüksek	ortalama	varyans	standart sapma	min	max	ortalama
1970	1158,75	2335,02	1828,41	83118,68	288,30			
1992	1176,01	2375,54	1877,88	71846,04	268,04	+17,26	+40,51	+49,46
2002	1198,35	2420,18	1916,21	78285,68	279,79	+22,34	+44,45	+38,32
2013	1303,82	2442,48	1962,80	58970,83	242,83	+105,46	+22,3	+46,59



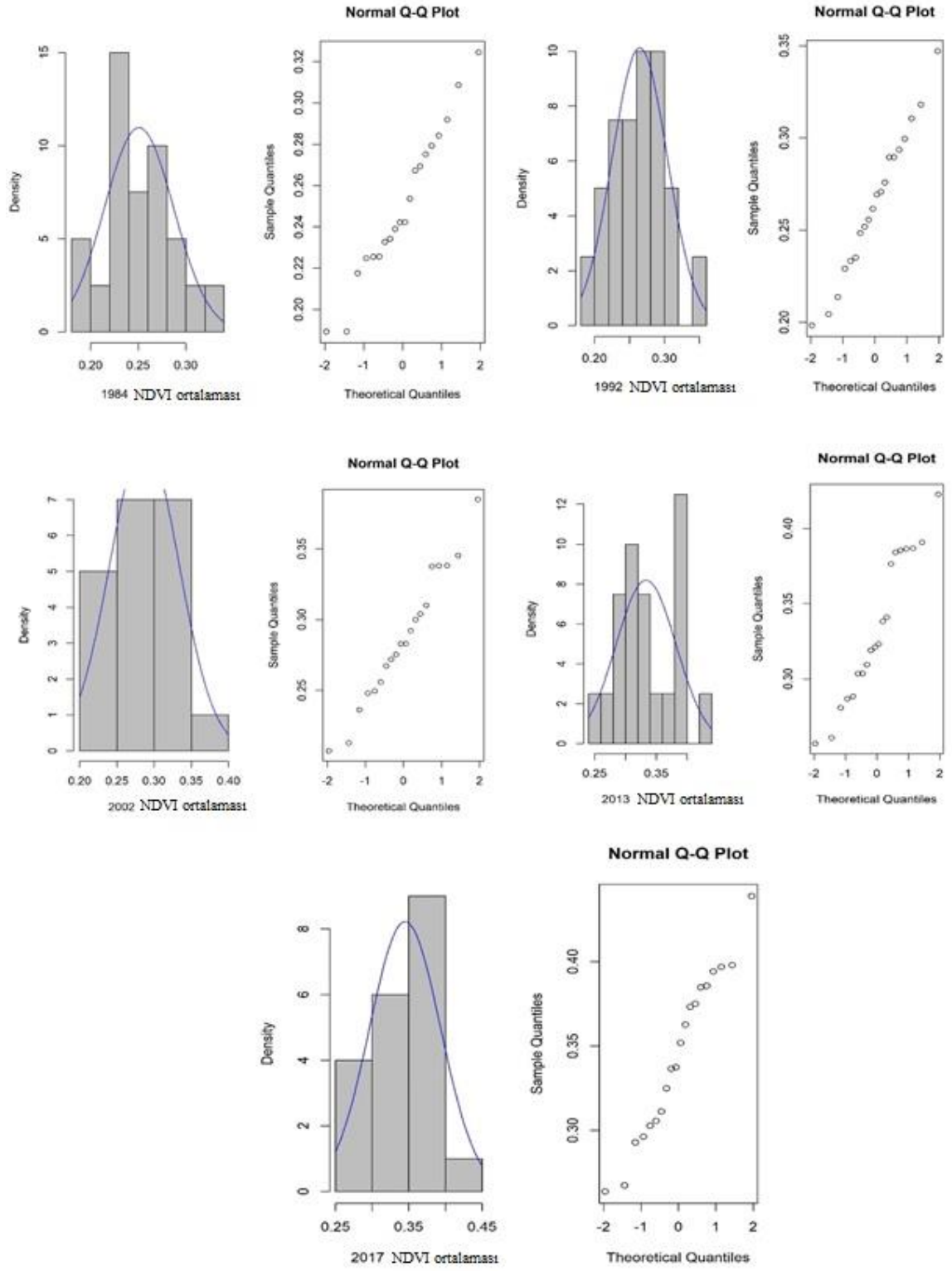
Şekil 4.2: Her döneme ait orman ağaç sınırının yüksekliği (x eksenı=konum) (y eksenı= Yükseklik).

4.3. TEST ALANLARININ AYS ve NDVI İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

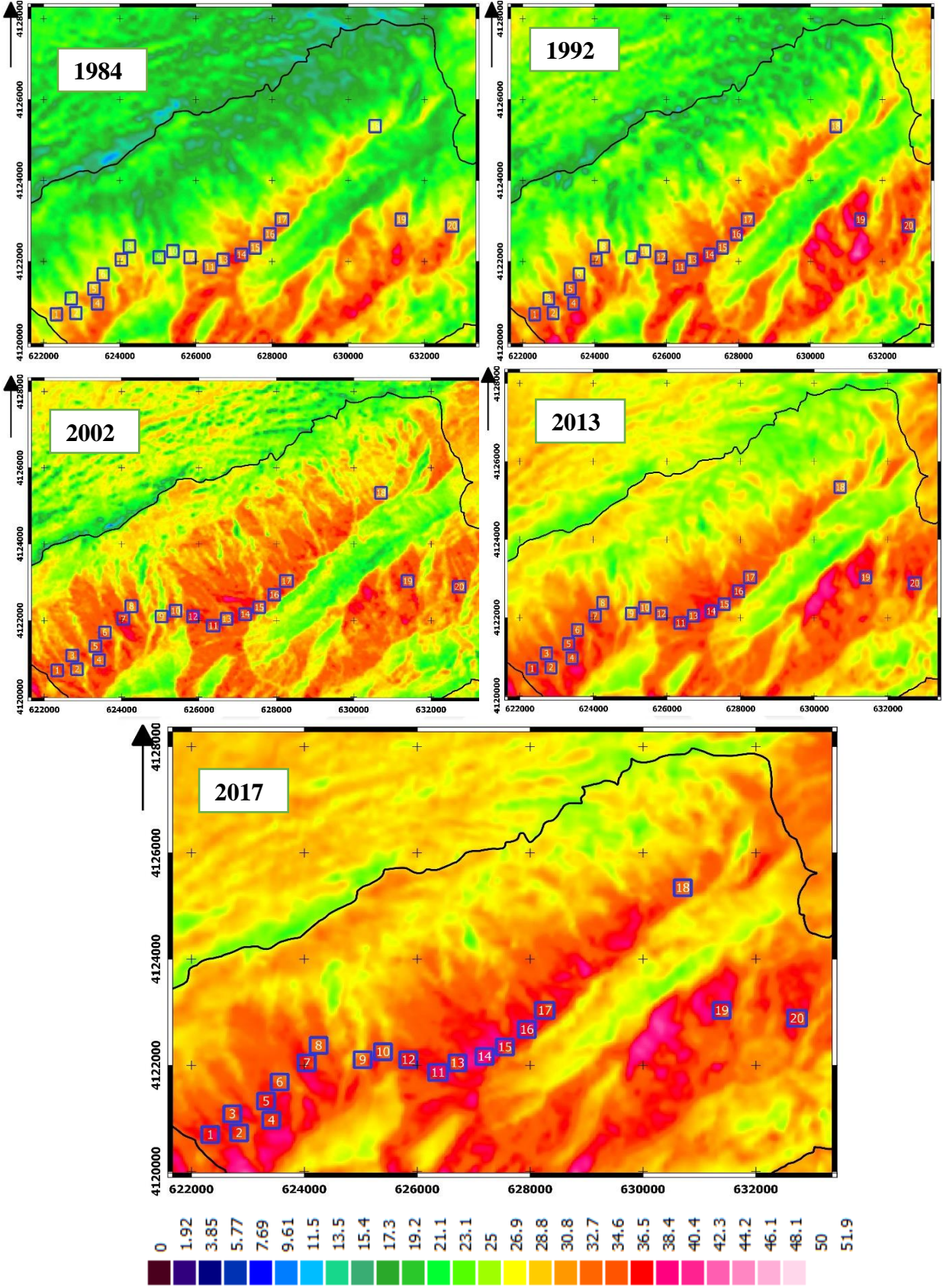
AYS ve NDVI'nın normal dağılımı tüm araştırma dönemleri (1970-1992-2002-2013- 2017) için Shapiro-Wilk testi (parametrik olmayan test) sonuçları, tüm test alanındaki değerlerin normal dağılım gösterdiğini ortaya koymuştur (Şekil 4.3, Şekil 4.4). 1984'ten 2017'ye (1984-1992-2002-2013-2017) kadar 5 döneme ait NDVI ve AYS haritaları çalışma alanı için hazırlanmıştır (Şekil 4.5 , Şekil 4.6). Her bir çalışma periyodu için test alanlarındaki NDVI ve AYS değerleri hesaplanmıştır (1984-1992-2002-2013-2017).



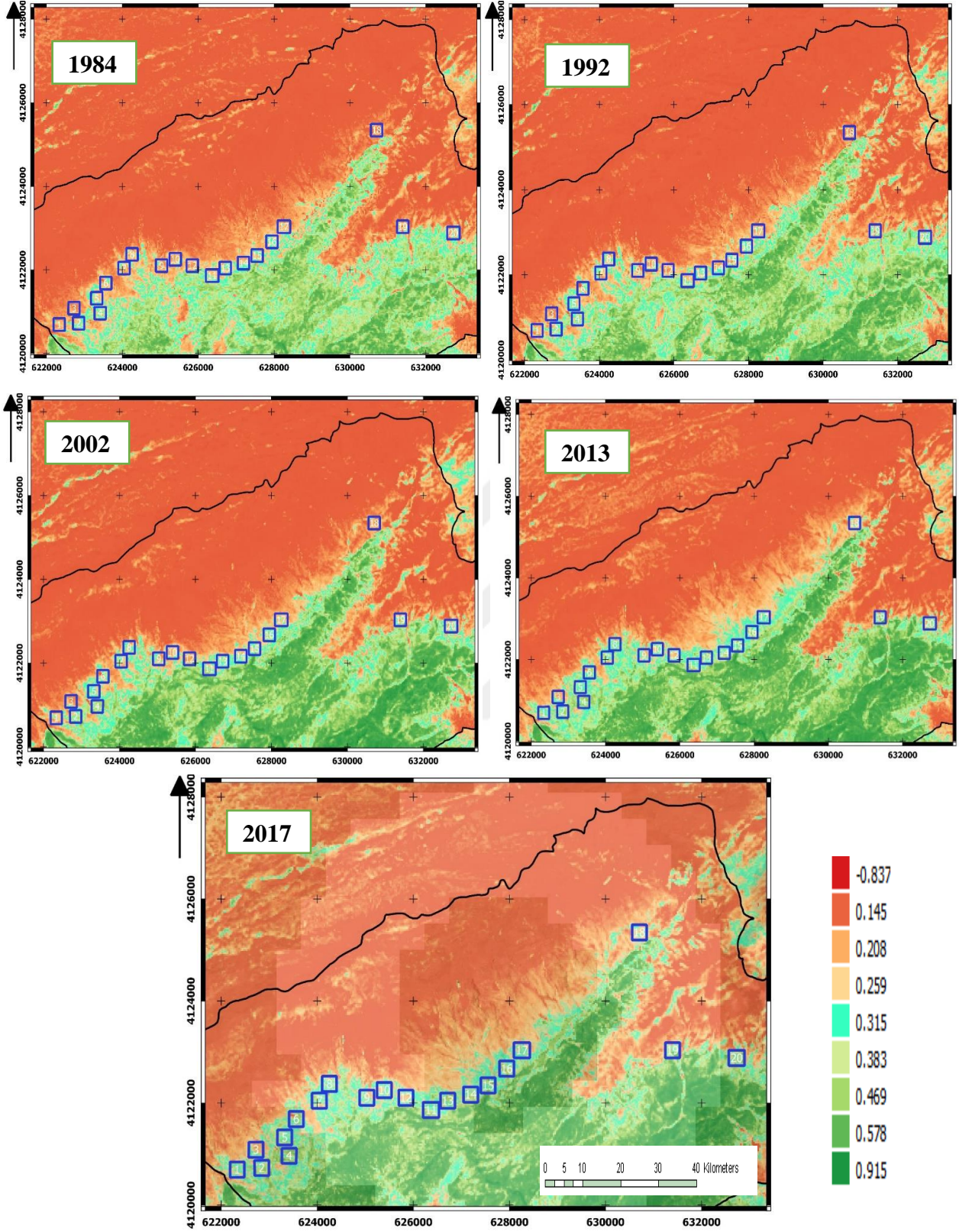
Şekil 4.3: AYS'nin normal dağılımı tüm araştırma dönemleri için Shapiro-Wilk test grafiği.



Şekil 4.4: NDVI'nin normal dağılımı tüm araştırma dönemleri için Shapiro-Wilk testi.

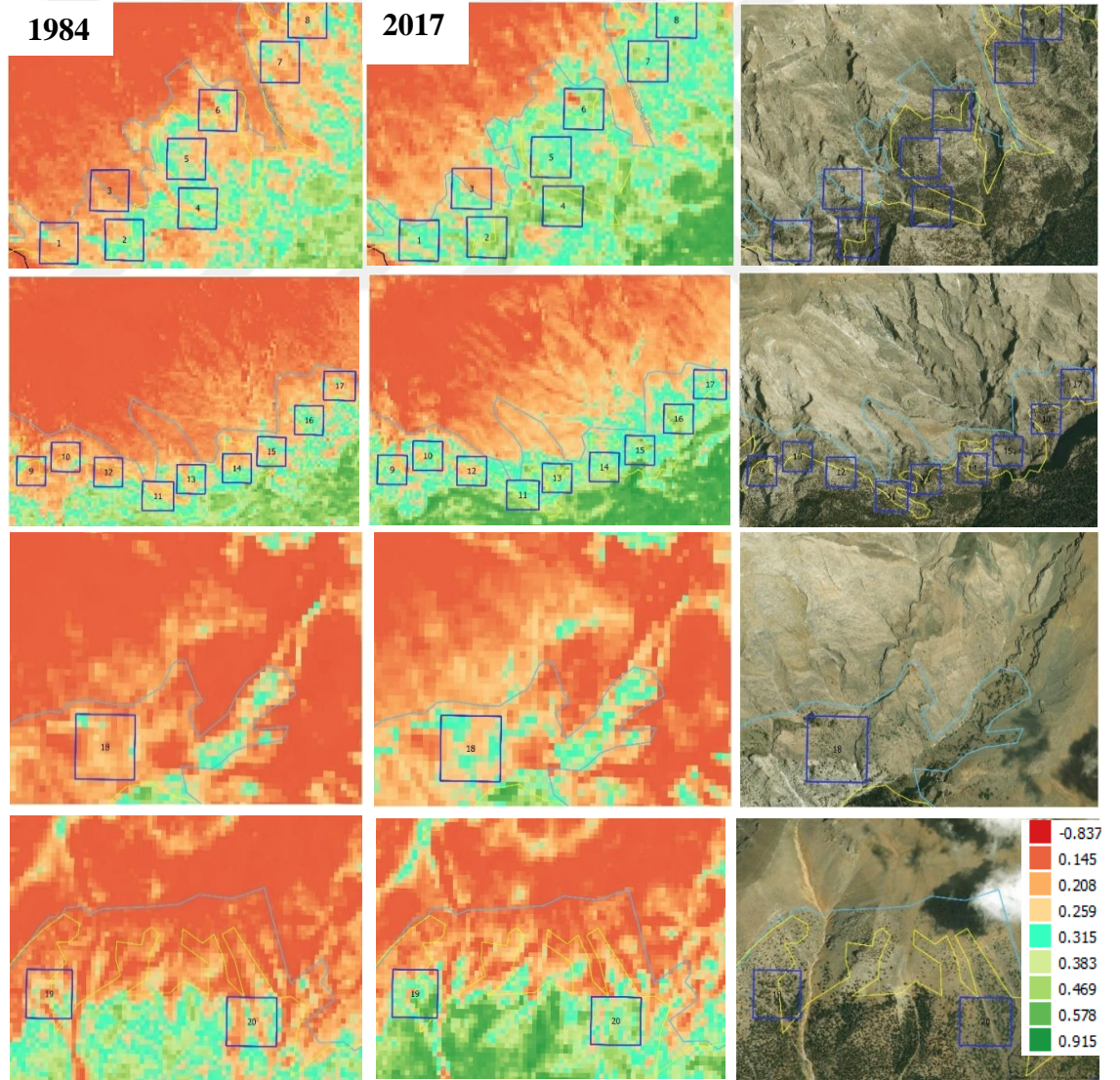


Şekil 4.5: AYS haritaları ($^{\circ}$ C)(1984, 1992, 2002, 2013, 2017).

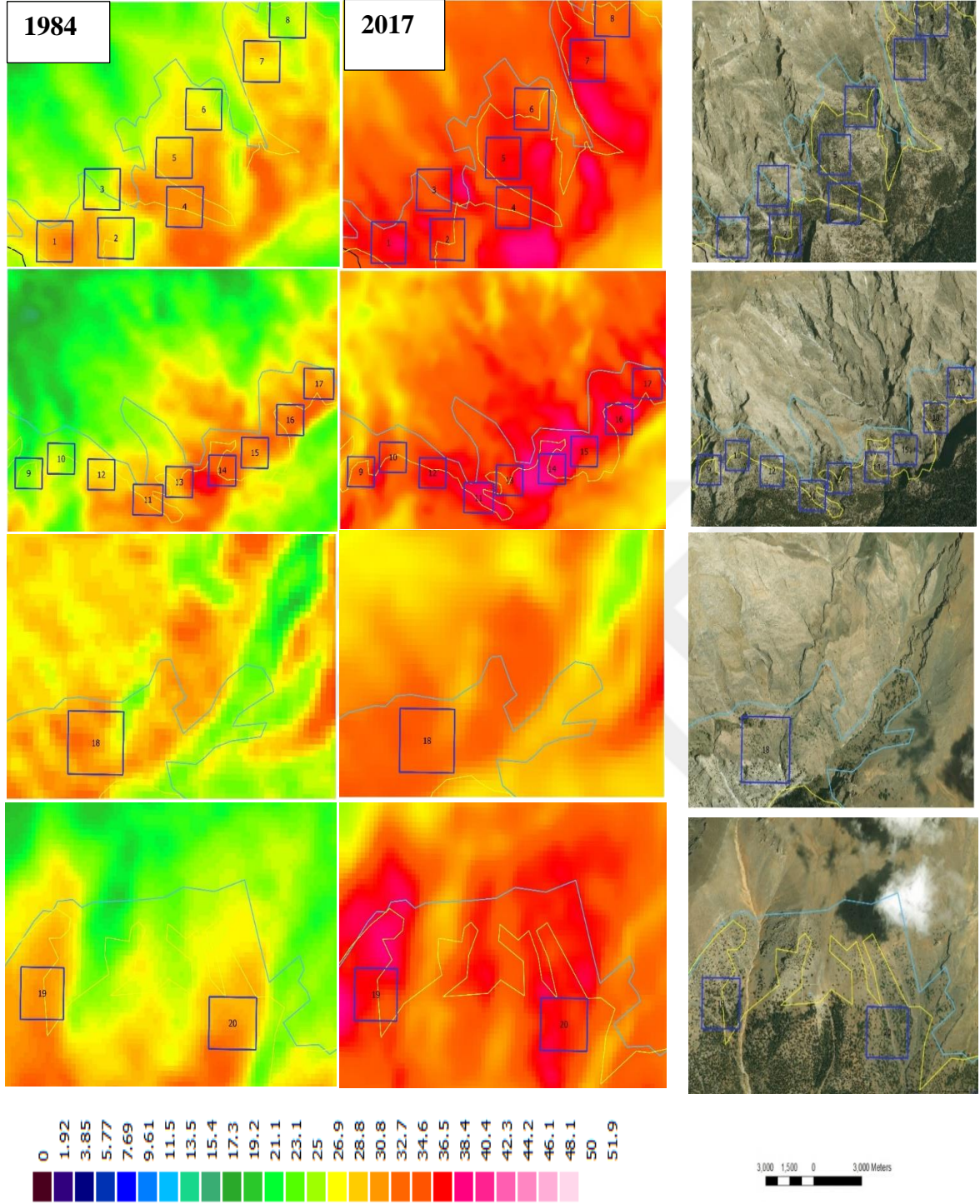


Şekil 4.6: NDVI haritaları (1984, 1992, 2002, 2013, 2017).

1984'ten 2017'ye kadar test alanların NDVI ve AYS değerleri artmıştır. Her bir çalışma periyodu için test alandeki NDVI ve AYS ortalama değerlerinde (NDVI değeri 1984'te 0,25 ve 2017'de 0,35- AYS değeri 1984'te 30 °C ve 2017'de 35°C) önemli artışlar hesaplanmıştır (1984-1992-2002-2013-2017) (Şekil 4.7, Şekil 4.8). Her bir çalışma periyodu için test alanlardaki NDVI minimum ortalama değerlerinde 1984'te 0,16'dan 2017'de 0,22 değeri ve AYS 1984'te 27,5°C'den 2017'de 34°C'ye kadar artmıştır (Şekil 4.7, Şekil 4.8). Her bir çalışma periyodu için test alanlardaki NDVI 1984'te 0,34 ten 2017'de 0,52 değeri ortalama maksimum değerlerine ve AYS 1984'te 31°C'den 2017'de 37,5°C'ye kadar ortalama maksimum önemli artışlar hesaplanmıştır (Şekil 4.7, Şekil 4.8).



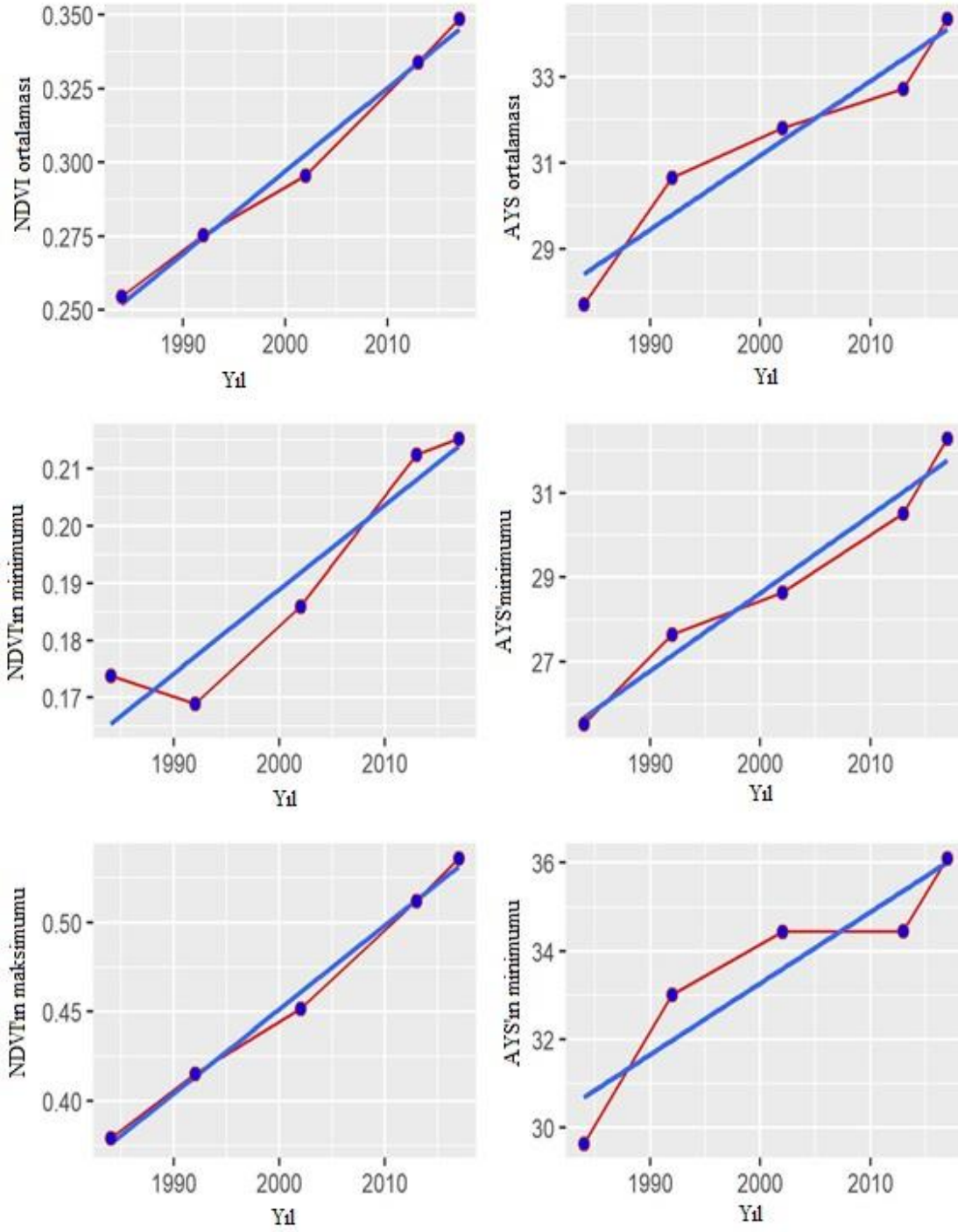
Şekil 4.7: NDVI haritaları (1984, 2017) (mavi kareler, Hava Bing görüntüleri üzerindeki test alanlarda yerlerini göstermektedir)



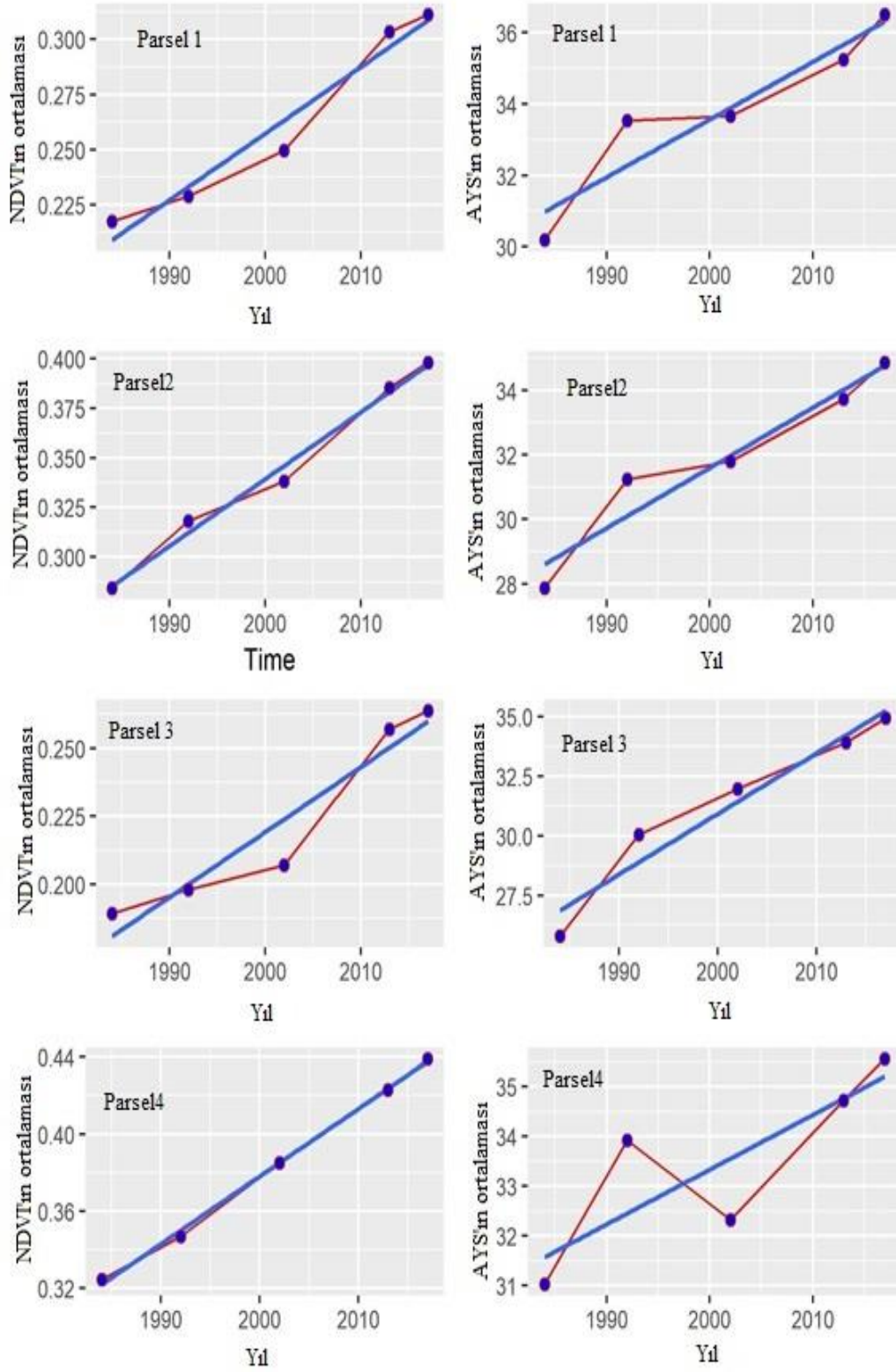
Şekil 4.8: AYS haritaları (°C) (1984, 2017) (mavi kareler, Hava Bing görüntüleri üzerindeki test alanların yerlerini göstermektedir).

1984'ten 2017'ye kadar her test alanların ortalama NDVI ve AYS değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14). Seçilen çalışma test alanları, çalışma dönemi boyunca ortalama NDVI ve AYS değerlerinde artış eğilimi göstermiştir. (Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14). 5 döneme ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alanlarının NDVI ve AYS haritaları gösterilmiştir (Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.17, Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22.) .

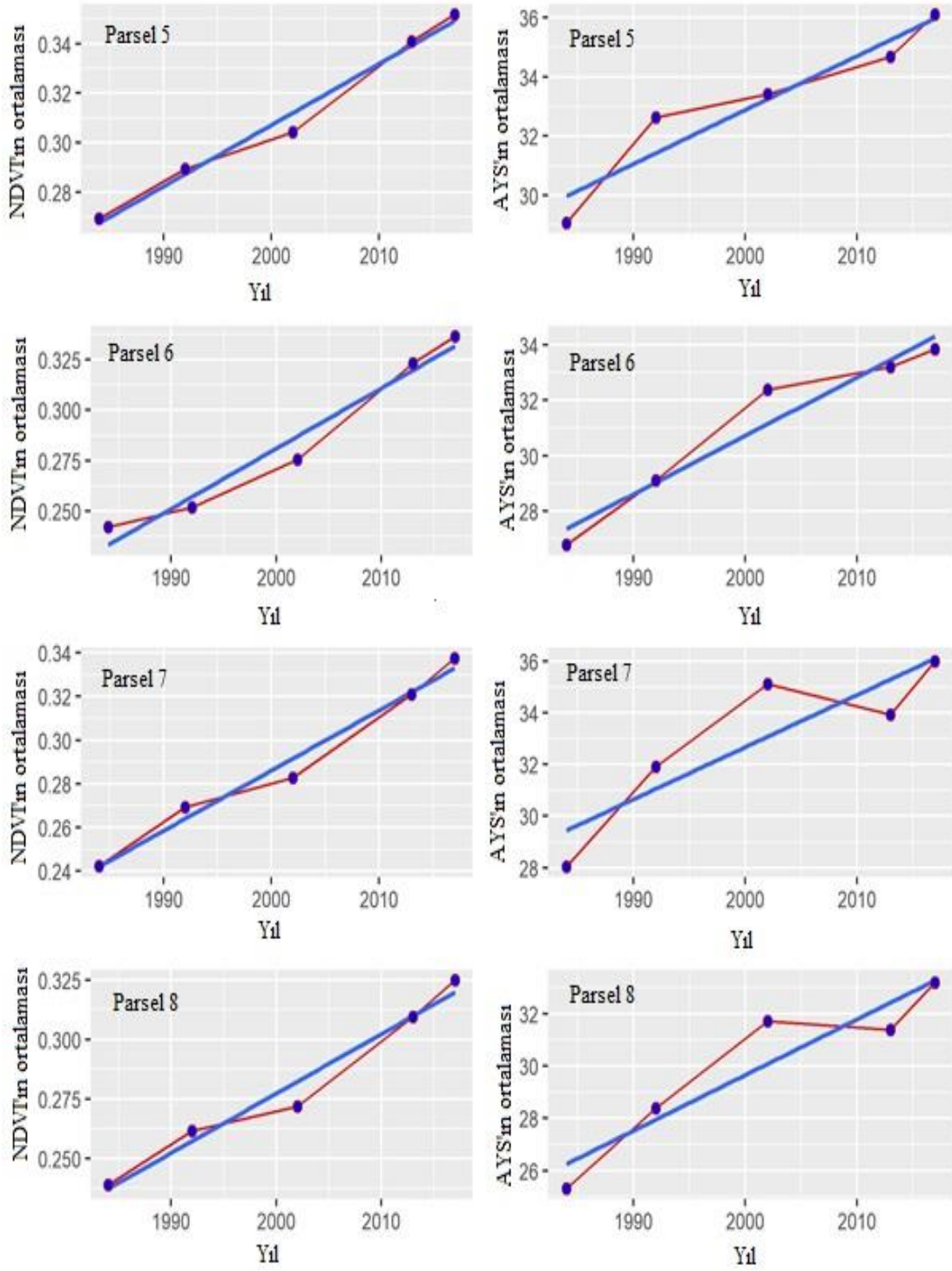
1984'ten 2017'ye kadar tüm test alanlarda ortalama NDVI ve AYS değerleri artmıştır (Şekil 4.9). Her bir çalışma periyodu için her test alanlarındaki NDVI ve AYS ortalama değerlerinde önemli artışlar hesaplanmıştır (1984-1992-2002-2013-2017) (Şekil 4.23 (B)). Her bir çalışma periyodu için test alanlarındaki NDVI ve AYS minimum değerlerinde önemli artışlar hesaplanmıştır (1984-1992-2002-2013-2017) (Şekil 4.23(C)). Her bir çalışma periyodu için test alanlarındaki NDVI ve AYS maksimum değerlerinde önemli artışlar hesaplanmıştır (1984-1992-2002-2013-2017) (Şekil 4.23(A)).



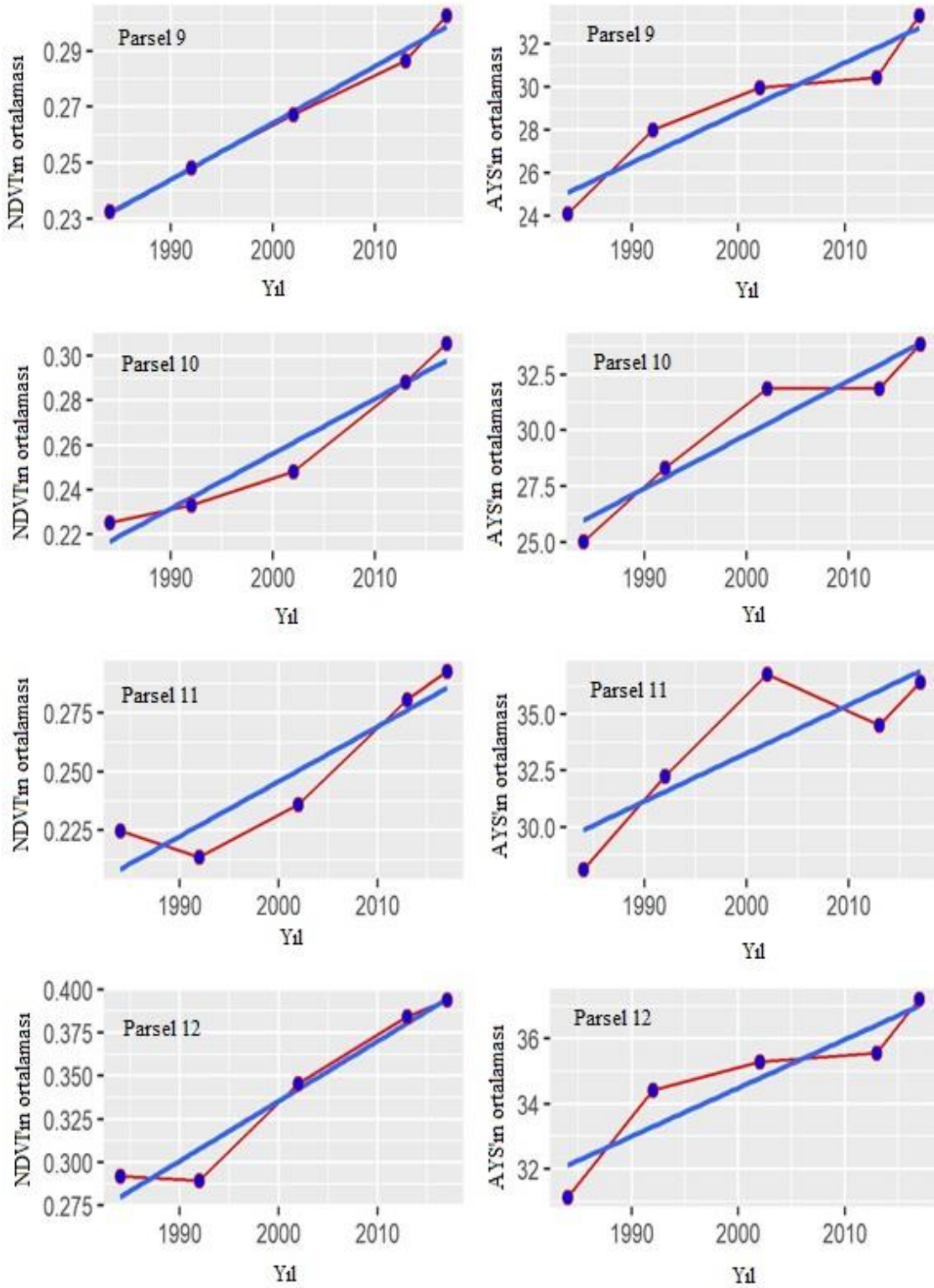
Şekil 4.9: 1984'ten 2017'ye kadar test alanların NDVI ve AYS (°C) değerleri (MIN, MAX, MEAN).



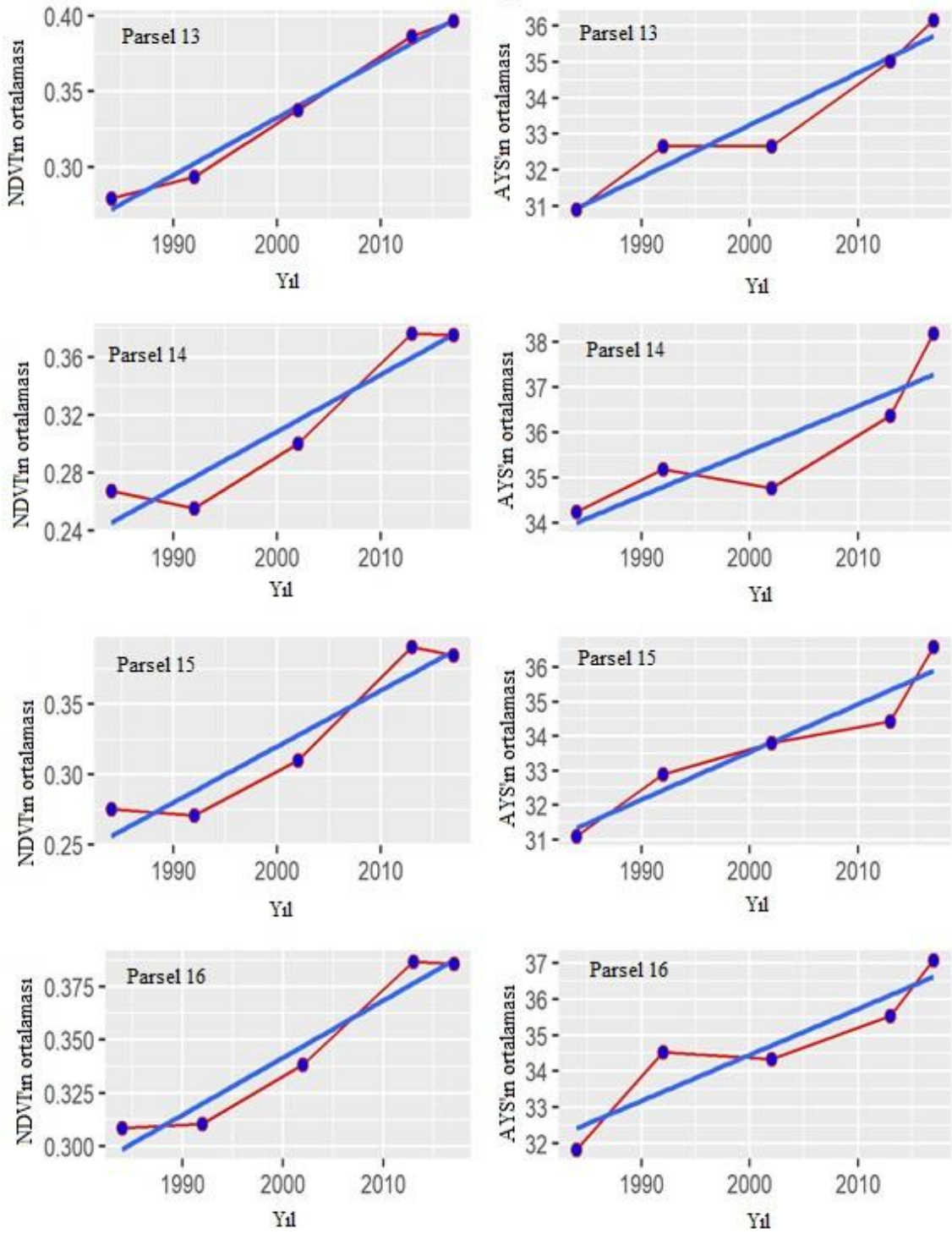
Şekil 4.10: 1984'ten 2017'ye kadar test alanlarının ortalama NDVI ve AYS (°C) değerleri (MEAN)(1, 2, 3, ve 4 test alanı).



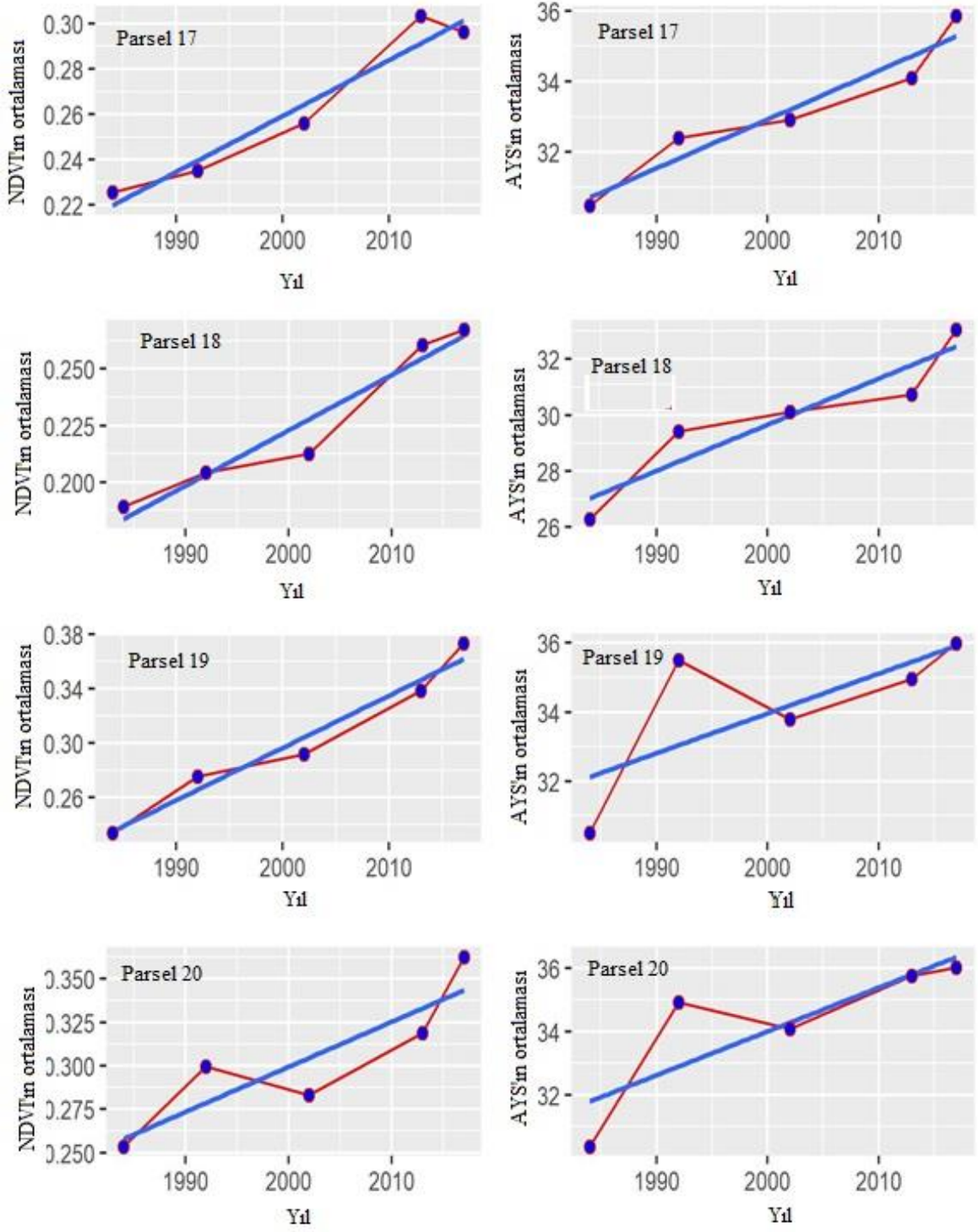
Şekil 4.11: 1984'ten 2017'ye kadar test alalarının ortalama NDVI ve AYS (°C) değerleri (MEAN)(5, 6, 7, ve 8 test alanı).



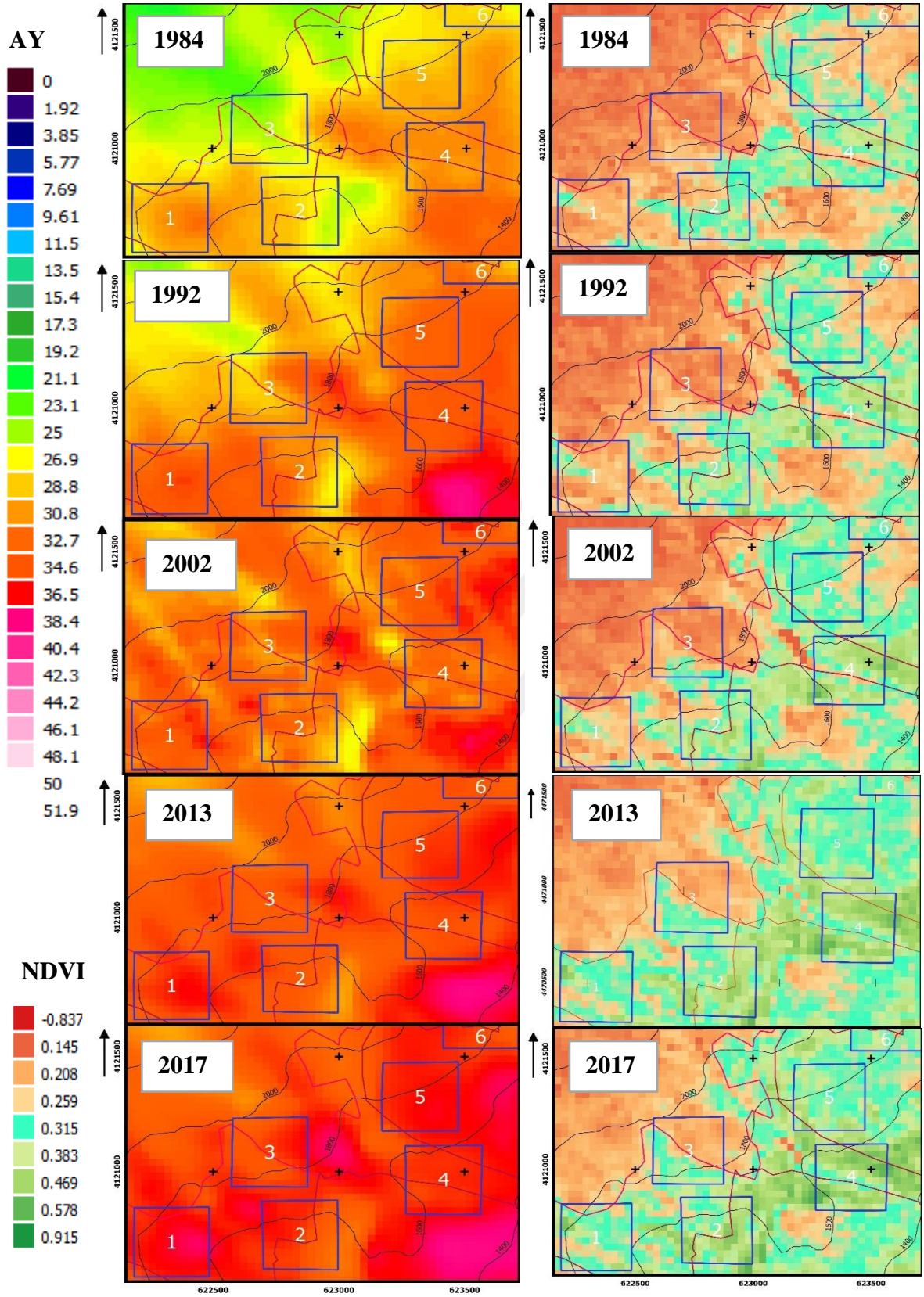
Şekil 4.12: 1984'ten 2017'ye kadar test alalarının ortalama NDVI ve AYS (°C) değerleri (MEAN)(9, 10, 11, ve 12 test alanı).



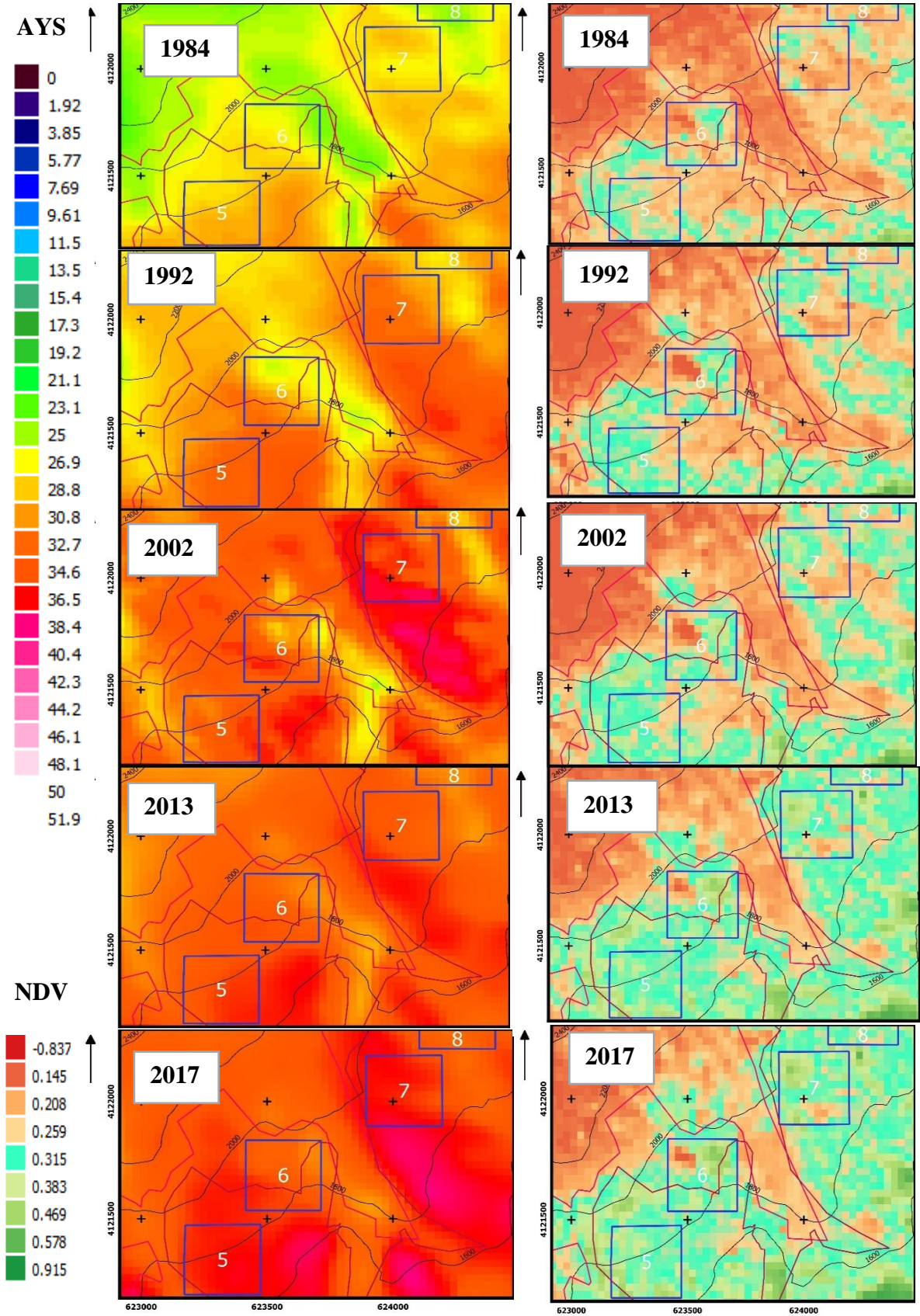
Şekil 4.13: 1984'ten 2017'ye kadar test alalarının ortalama NDVI ve AYS (°C) değerleri (MEAN)(13, 14, 15, ve 16 test alanı).



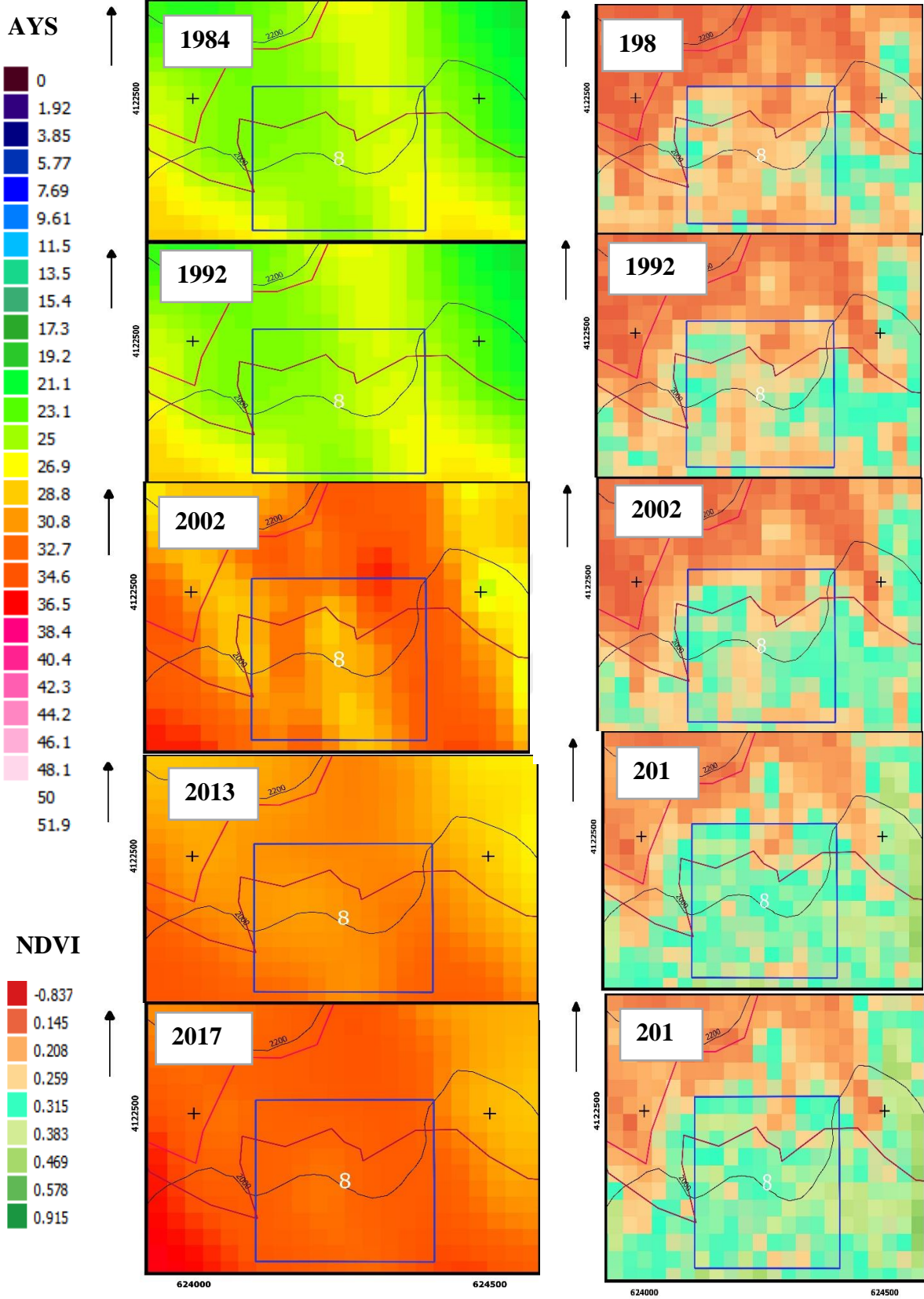
Şekil 4.14: 1984'ten 2017'ye kadar test alarının ortalama NDVI ve AYS (°C) değerleri (MEAN)(17, 18, 19, ve 20 test alanı).



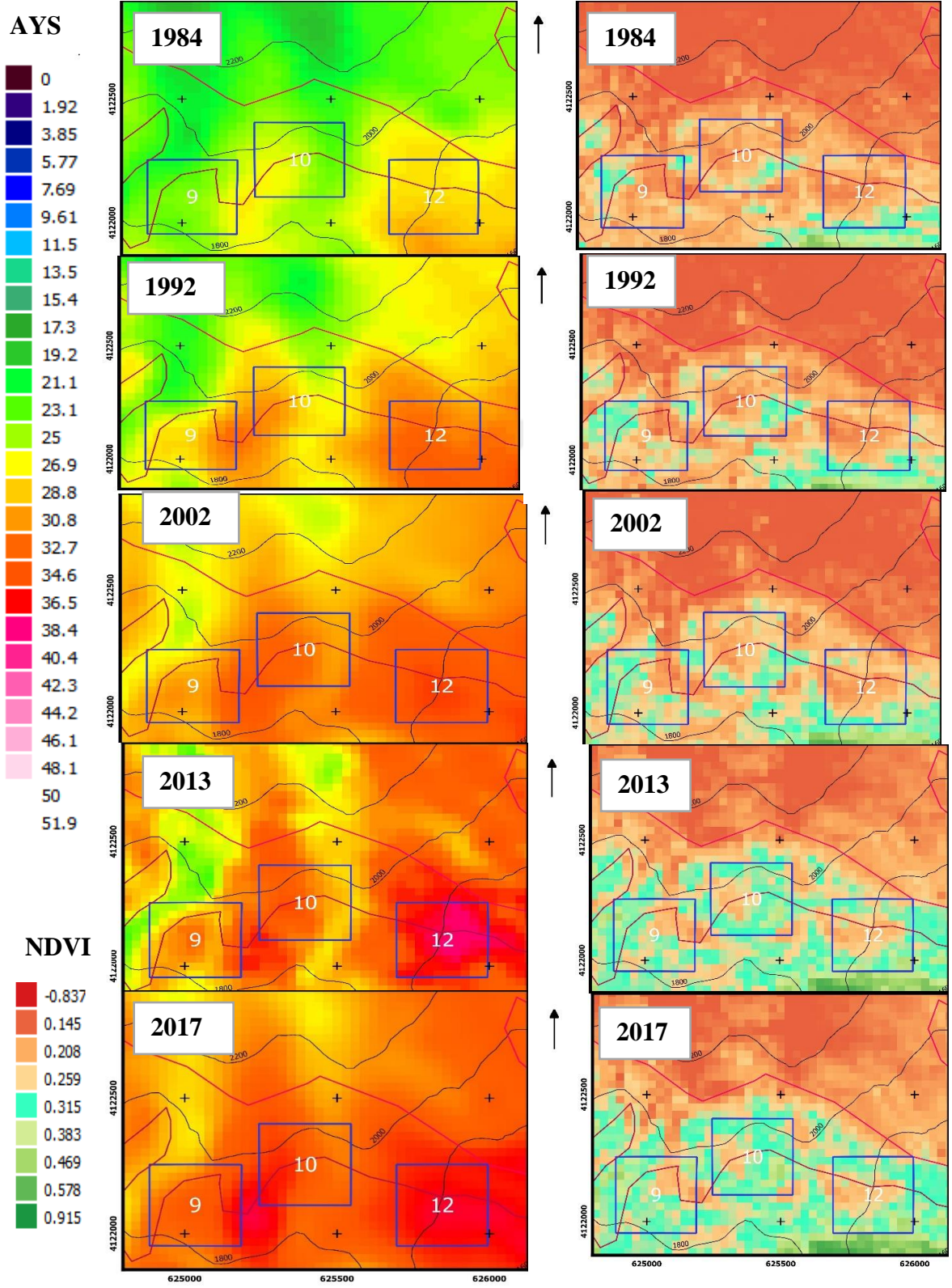
Şekil 4.15: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alanlarının NDVI ve AYS (°C) haritaları (1, 2, 3, 4, ve 5).



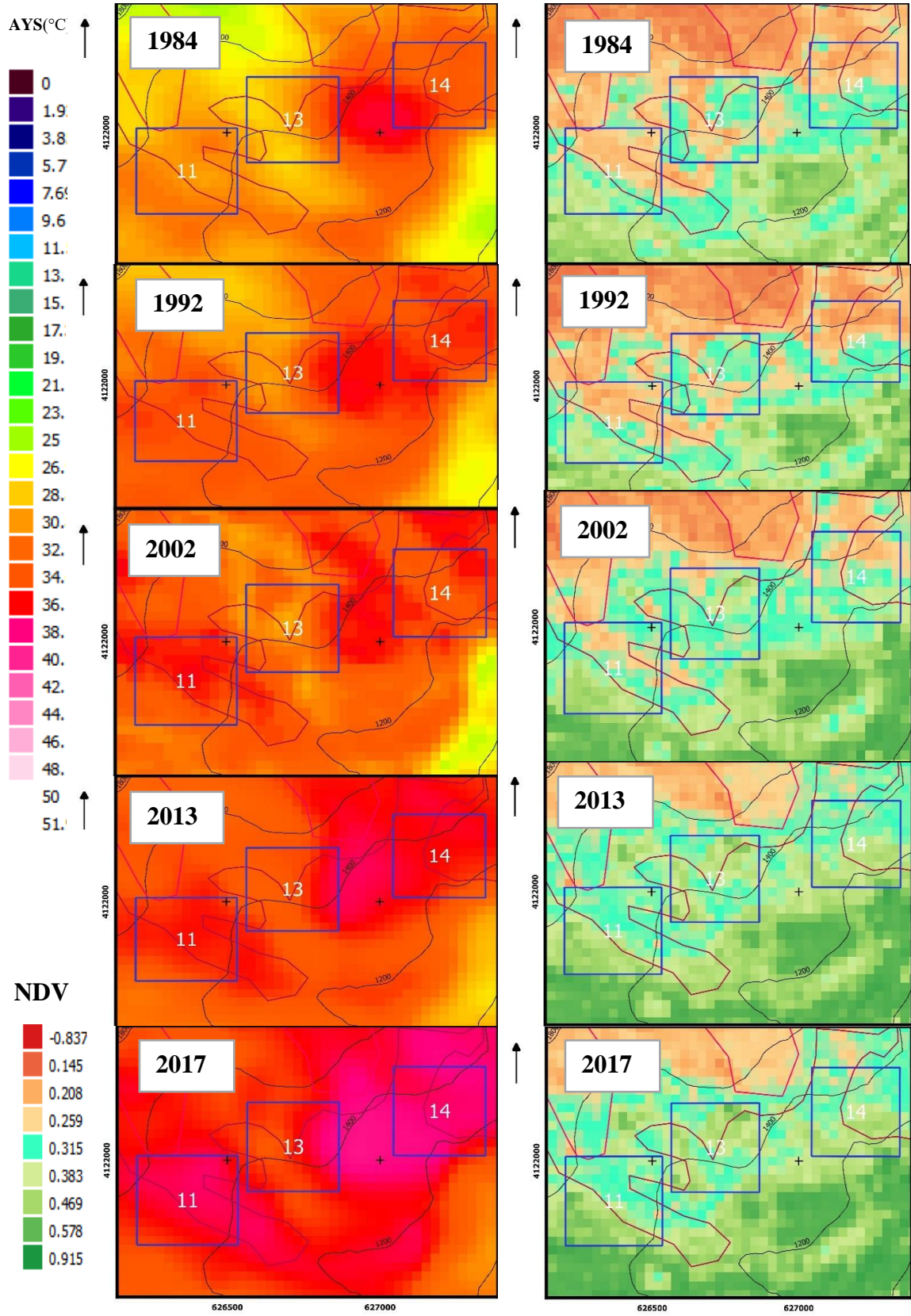
Şekil 4.16: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alarının NDVI ve AYS (°C) haritaları (6 ve 7).



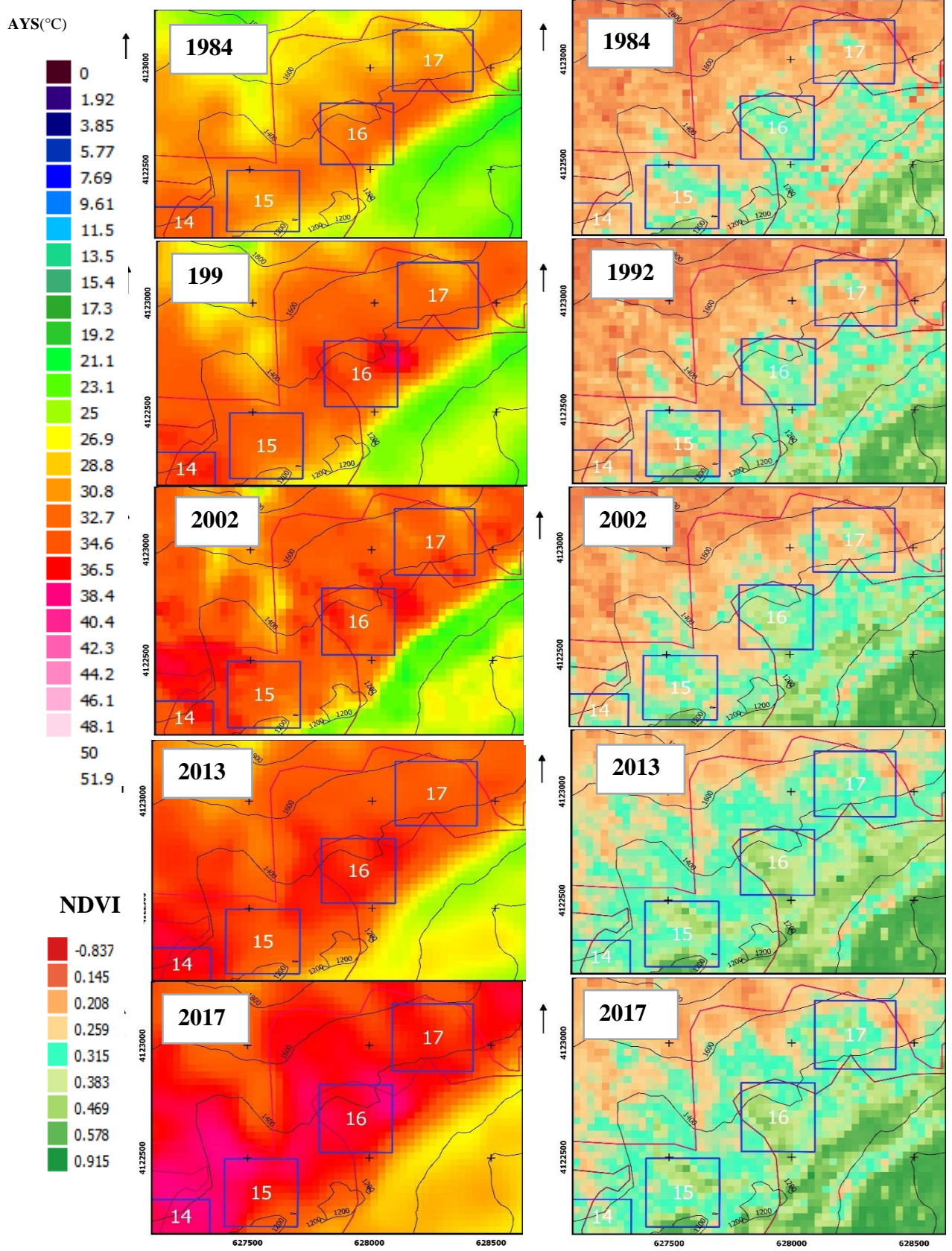
Şekil 4.17: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alarının NDVI ve AYS (°C) haritaları (8).



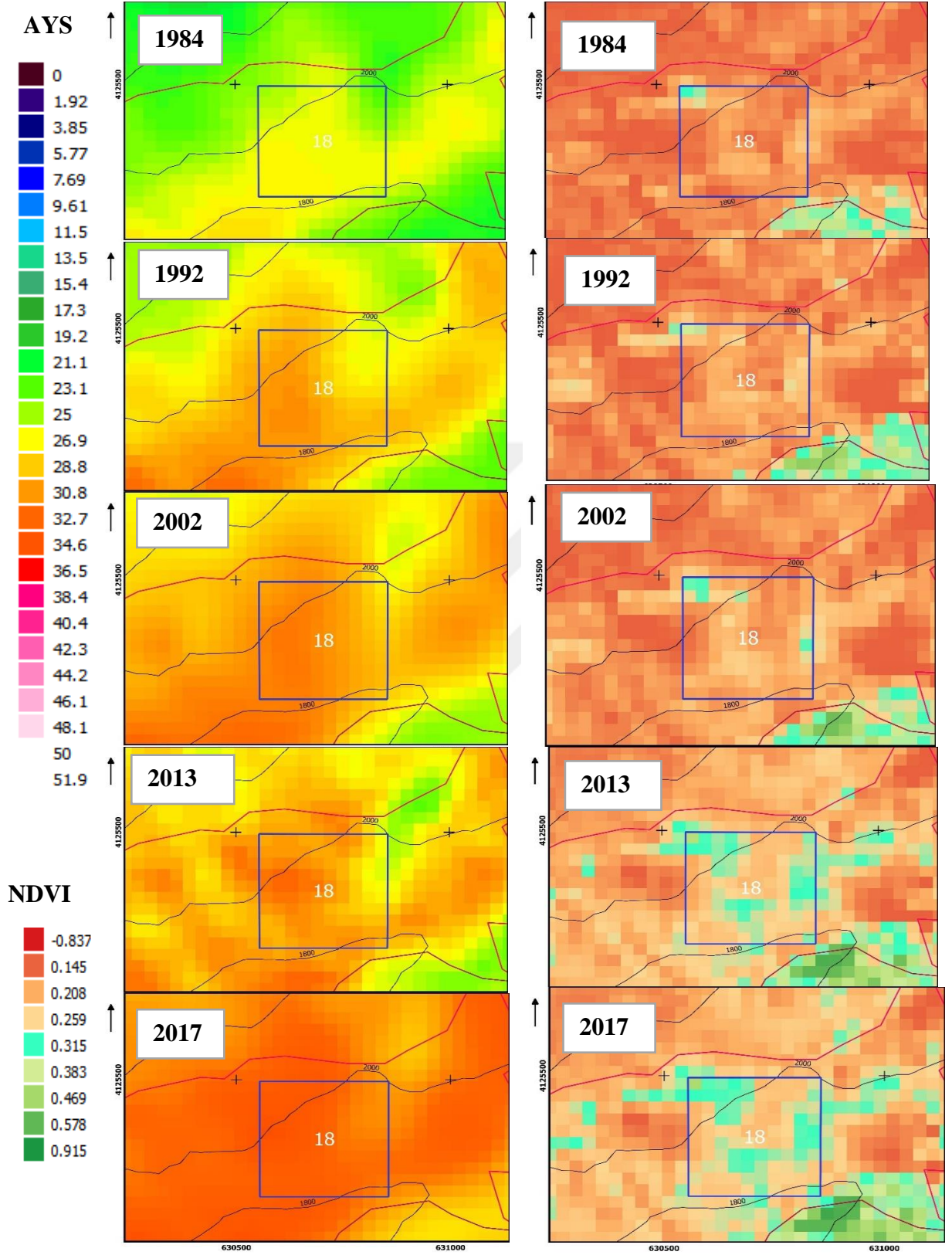
Şekil 4.18: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alarının NDVI ve AYS (°C) haritaları (9, 10 ve 12).



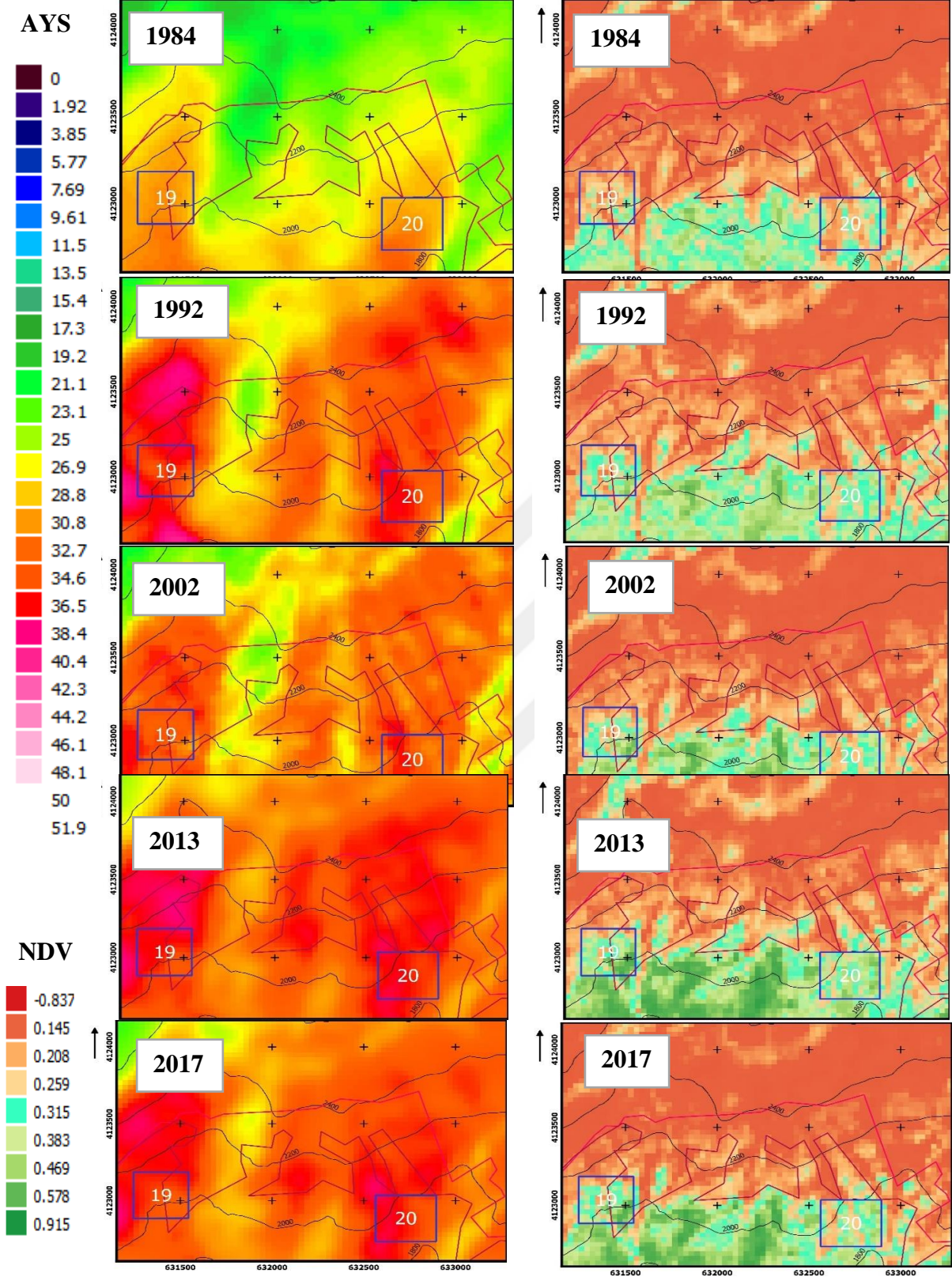
Şekil 4.19: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alanlarının NDVI ve AYS (°C) haritaları (11, 13, ve 14).



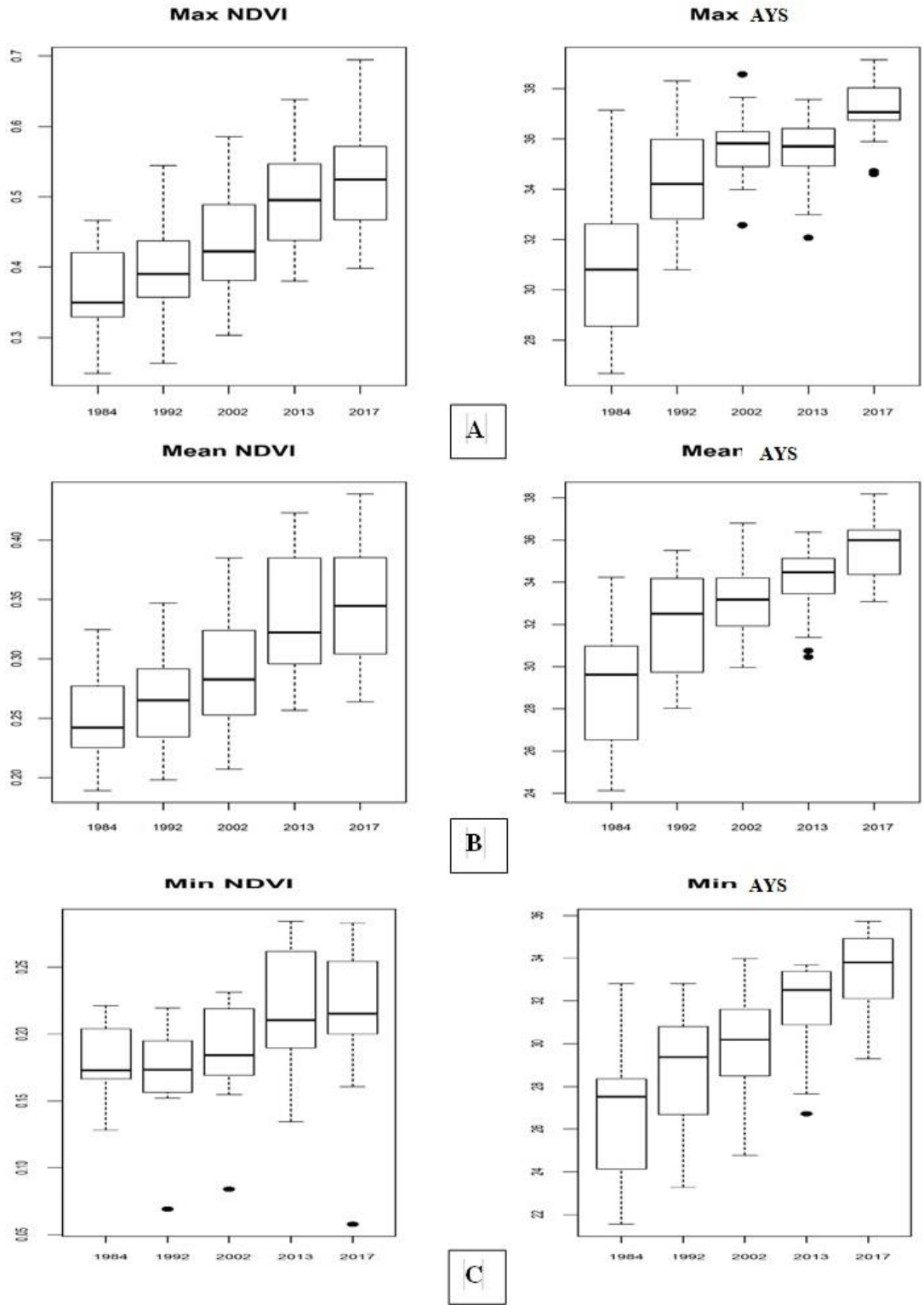
Şekil 4.20: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alarının NDVI ve AYS(°C) haritaları (15, 16, ve 17).



Şekil 4.21: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alanlarının NDVI ve AYS (°C) haritaları (18).



Şekil 4.22: 5 dönem ait (1984, 1992, 2002, 2013, ve 2017) test alanlarının NDVI ve AYS (°C) haritaları (19 ve 20).



Şekil 4.23: Test alanların NDVI ve AYS (°C) kutu ploti (MIN, MAX, ve ortalama değerlerinin kutu ploti).

Beş döneme ait test alanlar için NDVI ve AYS değerlerinin istatistiksel analiz sonuçları elde edilmiştir (Tablo 4.3). Sonuçlara göre, ortalama NDVI değeri 1984'de 0,25'den 2017'de 0,34'e kadar artmış. Minimum NDVI değeri, 1984 de 0,17'den 2017'de 0,21'e kadar artmış, maksimum NDVI değeri 1984'de 0,37 iken 2017 de bu değer 0,53'e kadar artmıştır. NDVI mod değeri 1984'den 2017 yılına kadar artmış (Tablo 4.3). Sonuçlara göre 1984 te ortalama AYS'ın değeri 27,71°C iken 2017 de 34,35 °C kadar artmıştır. 1984 de minimum AYS'ın değeri 25,53 °C iken 2017 de bu değer 32,29 °C kadar artmıştır. Maksimum AYS değeri, 1984 de 39,64 °C'tan 2017 de 36,10 °C'ye kadar artmıştır. AYS mod değeri 1984'ten 2017'ye kadar çalışma dönemi boyunca artmıştır (Tablo 4.4).

Tablo 4.3: Beş döneme ait test alanlar için NDVI değerlerinin istatistik analiz sonuçları.

Tarih	NDVIMEAN	NDVIMIN	NDVIMAX	NDVISTD	NDVIVAR	NDVIMODE
1984	0,254632758	0,173819	0,379034	0,045546	0,002332	0,237412
1992	0,275327183	0,168951	0,415349	0,053646	0,00323	0,244126
2002	0,295436854	0,185939	0,451645	0,059649	0,004005	0,275183
2013	0,333973389	0,212462	0,512277	0,066601	0,004905	0,314995
2017	0,348741975	0,215328	0,536114	0,071093	1,165377	0,332074

Tablo 4.4: Beş döneme ait test alanlar için AYS (°C) değerlerinin istatistik analiz sonuçları.

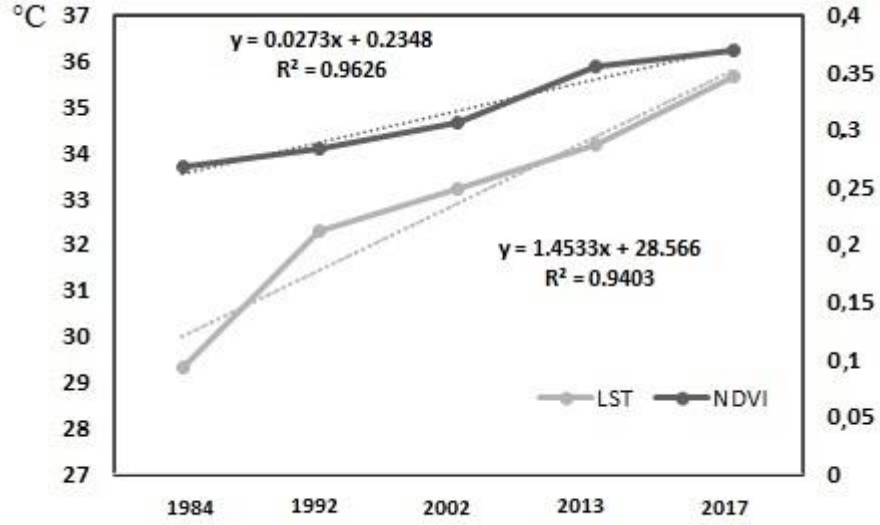
Tarih	AYSMEAN	AYSMIN	AYSMAX	AYSSTD	AYSVAR	AYSMODE
1984	27,71016	25,53268	29,64161	1,008814	1,165377	27,76637
1992	30,66163	27,64506	33,00938	1,289348	1,920712	30,49177
2002	31,80598	28,64385	34,43452	1,40527	2,196127	31,84973
2013	32,72665	30,51442	34,45559	0,941105	1,016723	32,34699
2017	34,35474	32,2902	36,10502	0,903922	0,945598	33,91798

Ortalama NDVI'nin büyüklüğü pozitif ve istatistiksel olarak her beş dönem için anlamlıdır. NDVI'daki artışın, her bir çalışma dönemi için artan ortalama AYS (Tablo 4.5) ile pozitif korelasyonu olduğu bulunmuştur. Ek olarak, pozitif korelasyon hem ortalama hem de minimum AYS parametreleri için bulunmuştur. Ancak maksimum AYS parametresi için korelasyon bulunmamıştır. Ancak, 2002 dönemi hariç, tüm çalışma dönemi boyunca (1984, 1992, 2013, 2017) çoğu test alanında ortalama NDVI ve ortalama AYS arasında pozitif bir korelasyon gözlenmiştir. 1984'te ortalama NDVI ve ortalama AYS arasında istatistiksel olarak anlamlı bir pozitif korelasyon bulunmuştur ($r = 0,634$; $p < 0,05$) (Tablo 4.5). Elde edilen test alanlarının NDVI değerlerine göre, orman sınırının test alanlarındaki ortalama NDVI değerlerinde tutarlı bir artış olduğunu göstermektedir (Şekil 4.24). Eşzamanlı olarak, orman sınırının test alanlarındaki AYS değerlerinde artış olduğunu göstermektedir (Şekil 4.25). AYS değerleri çalışma süresi boyunca $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişmiştir (Şekil 4.24 (B)). Çalışma süresi boyunca ortalama NDVI ve AYS eğilim analizi hesaplanmıştır. Sonuçlara göre, ortalama AYS ve NDVI değerleri, sırasıyla $R^2 = 0,94$ ve $R^2 = 0,96$, zamanla artan bir eğilim göstermiştir (Şekil 4.24).

Tablo 4.5: Beş dönem için AYS($^{\circ}\text{C}$) (MAX, MEAN, MIN) ve NDVI (MAX, MEAN, MIN)) arasındaki korelasyon matrisi.

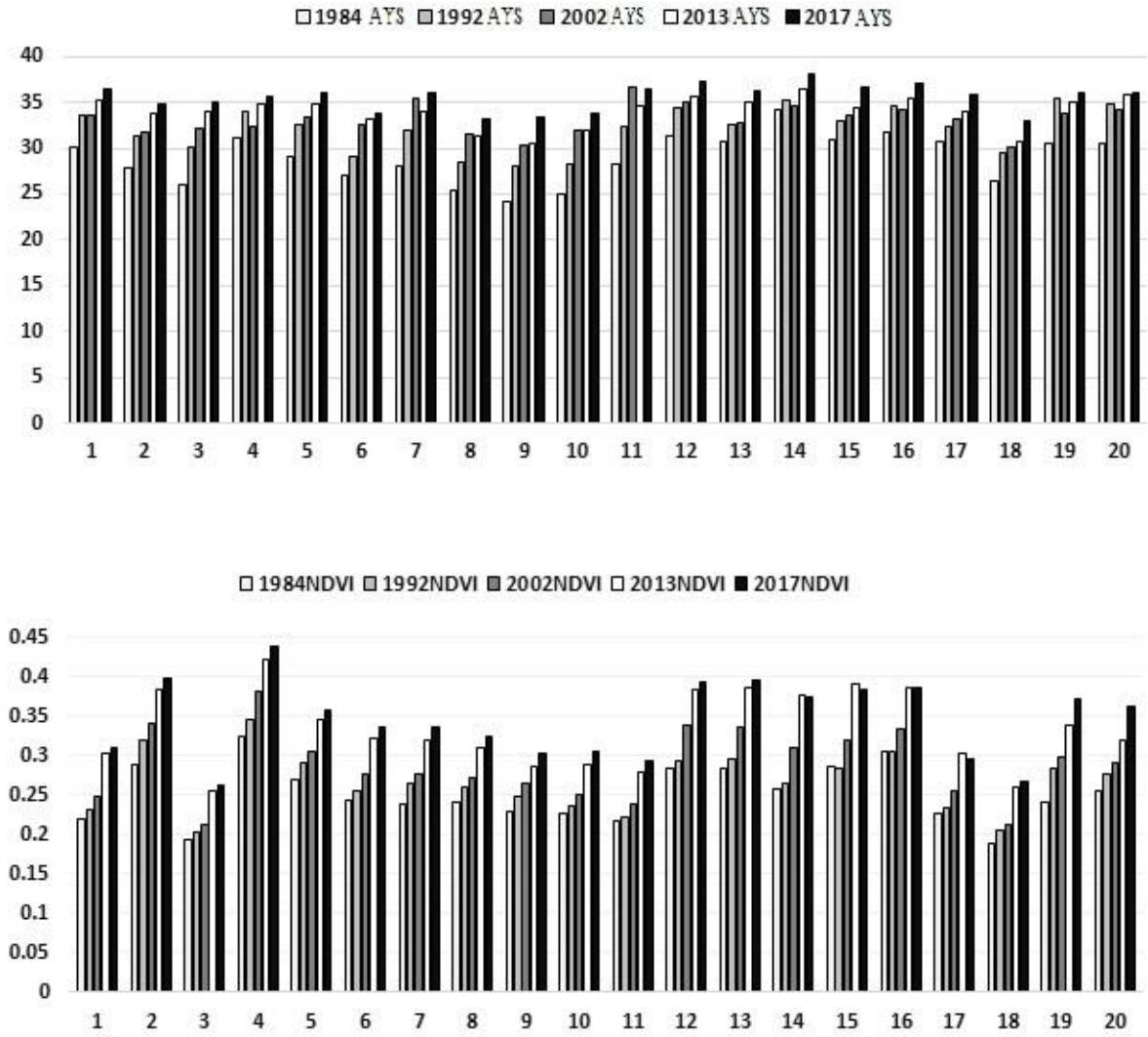
Tarih	AYS MEAN NDVI MEAN	AYS MAX NDVI MAX	AYS MIN NDVI MIN
1984	0,634***	0,248	0,483*
1992	0,509*	0,183	0,551**
2002	0,393	-0,088	0,414*
2013	0,497*	0,226	0,435*
2017	0,440*	0,233	0,348

0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' (2-tailed)



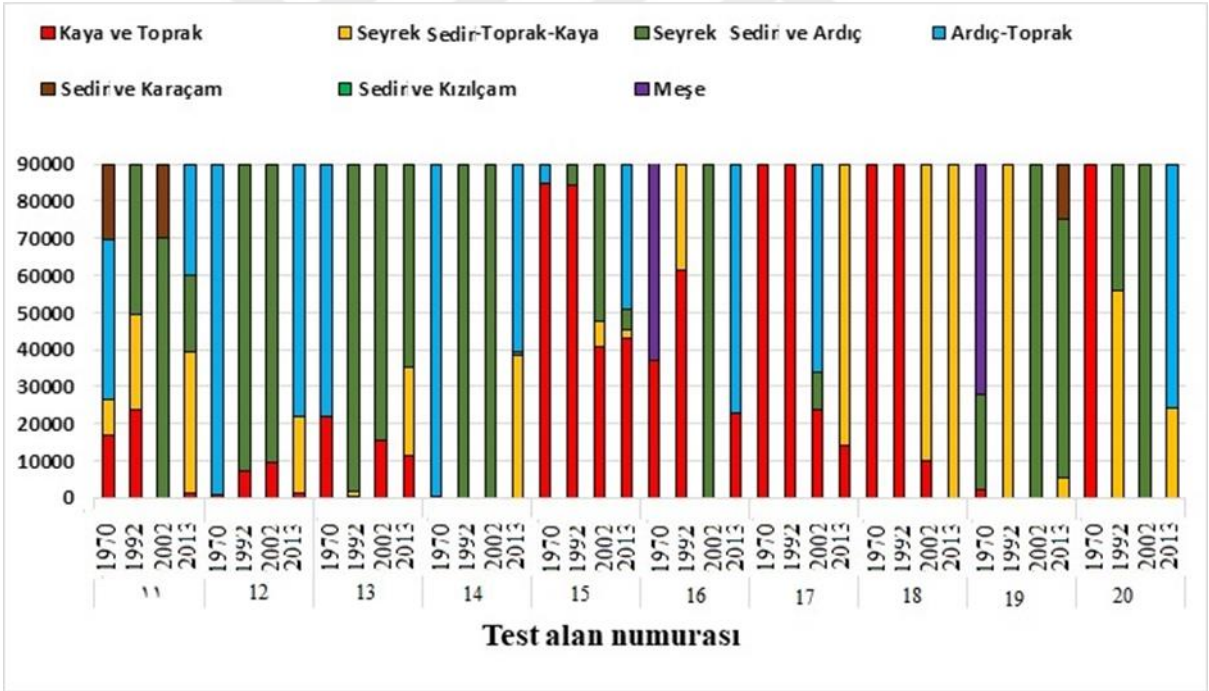
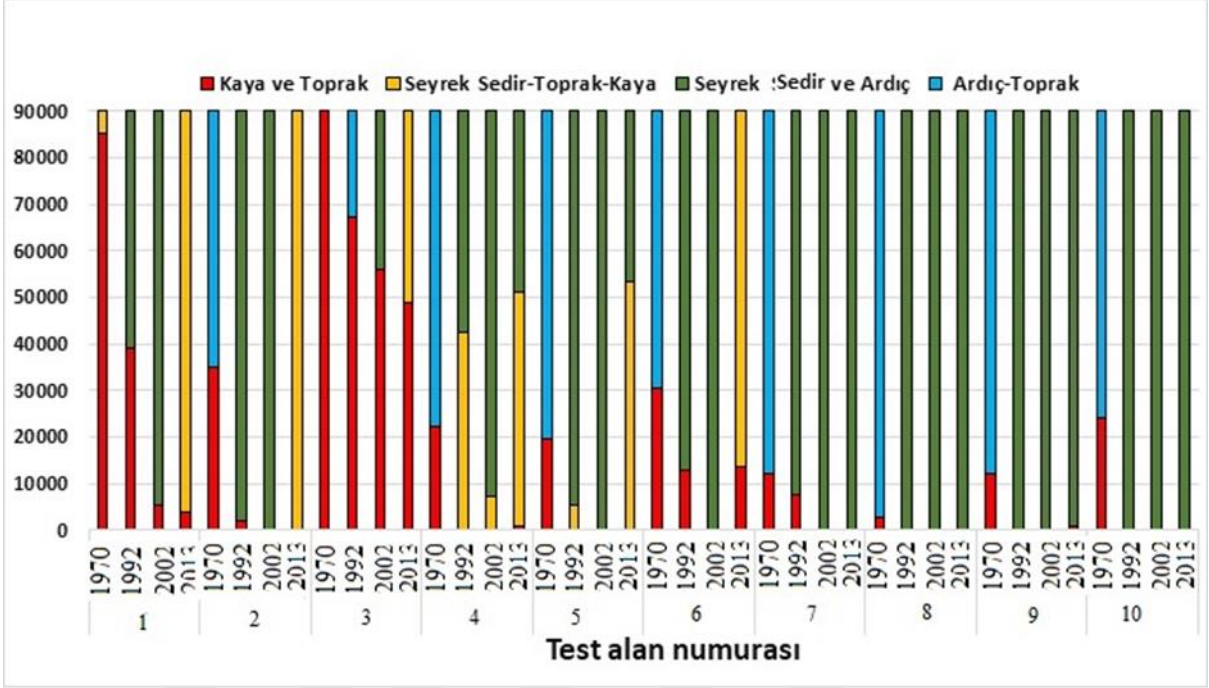
Şekil 4.24: Çalışma süresi boyunca ortalama NDVI ve AYS (°C) eğim analizi.

Ortalama NDVI ile ortalama AYS arasındaki korelasyon analizi anlamlı derecede pozitif bir korelasyon göstermiştir ($r = 0,75$, $\rho < 0,05$). NDVI ve AYS arasındaki korelasyon katsayısı değişkenlik göstermiştir ($r = 0,22-0,99$). 1984'ten 2017'ye kadar 20 deneme alanında NDVI ortalaması, 0,25'ten 0,39'a yükselmiştir (Şekil 4.24). Her bölgedeki ortalama NDVI yoğunluğu çalışma dönemleri arasında değişmiştir. Her bölgedeki ortalama AYS değeri çalışma dönemleri arasında değişmiştir.



Şekil 4.25: Test alanların NDVI ve AYS (°C) dalgalanması (X Eksenini = Test alanlarının sayısı).

NDVI yeşillik trendi sonucuna bakıldığında, orman ağacı sınırındaki ağaç türleri örtüsüyle ile tutarlılık göstermiştir. 1, 2, 3, 7, 13, 15, 17 ve 18 numaralı alanlarda, kaya ve toprak örtme derecesi sürekli olarak azalmıştır ve onların yerine seyrek Ardıç ve Sedir ağacı yerleşmiştir. 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 19 ve 20 numaralı alanlarda, ağaçların gelişim çağı, ağaçların kapalılığı ve ağaçların çapı, 1970'ten 2017'ye kademeli olarak artmıştır. 16 numaralı test alan incelendiğinde, artan NDVI eğilimi ile test alan sınıfları arasında bir tutarsızlık olduğunu göstermiştir (Şekil 4.25 ve Şekil 4.26). Ancak, orman meşcere haritalarına göre test alan, ağaç türlerinden (çoğunlukla sedir ve ardıç ağacıdır), toprak ve kaya sınıflarından oluşmaktadır. Genel olarak, orman meşcere haritalarına göre test alanın kapalılığı 1970'ten 2013'e yükselmiştir. Gözlemlenen tüm test alanlarda, sedir ağacı çalışma süresi boyunca sürekli olarak diğer ağaç türlerinden daha fazla yükselmiştir. Ancak, orman meşcere haritalarında test alanların kapalılığı incelendiğinde, sedir ağacının çalışma dönemi boyunca kademeli olarak yukarı doğru hareket ettiği ortaya çıkmıştır. Ek olarak, sedir ağacının Bu araştırma süresince boyunca yukarı doğru hareket ettiğinde ardıç ağacının da 1970'ten 2013 yılına kadar arttığı görülmüştür. Aynı zamanda, NDVI yoğunluğunun artması ile beraber, test alanların yeşilliği de artmıştır. Dahası, her bir test alanın bileşimi ve yapısı incelendiğinde, eskiden bulunan ağaç türlerinin karışımının ve ağaç çapının arttığını göstermiştir (Şekil 4.26). Tüm test alanlarda, 1970'ten 2013'e kadar kaya (taş) sınıfında genel bir düşüş görülmüştür (Şekil 4.26). Sedir ve Ardıç ağaçları, 1970'ten 2013'e kadar hızla artan iki ağaç türü olarak tespit edilmiştir. Hatta, orman meşcere haritasında Sedir ağacının kayalıklar üzerinde genişlediği, çoğunlukla seyrek formda olduğu gözlenmiştir. Ancak, 2013 yılına ait orman meşcere haritası incelendiğinde (test alanlarını incelediğimizde) üç ağaç türünün (*Quercus sp.*, *Pinus brutia* ve *Pinus nigra*) bulunmadığı, buna karşın 1970 orman meşcere haritası incelendiğinde ise (test alanlarını incelediğimizde) yer aldığı gözlenmiştir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26: Orman meşcere haritasından alınan her test alanın sınıfın miktarı metrekare

5. TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, Landsat verileri ve orman meşcere haritaları ile orman ağaç sınırı dinamikleri ve yapısal değişimleri belirlenmiştir. Buna ek olarak, ağaç sınırı dinamiği araştırmalarında belirli zaman aralıkları için düzenlenen orman meşcere haritalarının öneminin vurgulanması amaçlanmıştır. Mevcut çalışmada, orman ağaç sınırı ekotonunun, 1970 ile 2013 yılları arasında gerçekleşen değişimlerin farklılık analizi ile değerlendirilmesi sonucunda genişlediği bulunmuştur. En yüksek ağaç sınır rakımı 2013 yılında 2442,48 m iken, 1970 yılında 2335 m olarak belirlenmiştir. 1992-2002 döneminde yaklaşık 44,45 m'lik bir yükselme görülmüştür ki bu da diğer dönemlerden çok daha yüksektir. En düşük ağaç sınır rakımı yüksekliği, 2002 ile 2013 yılları arasında yaklaşık 22,3m artmıştır. Ayrıca, tahmin edilen en düşük ağaç sınır rakımı yüksekliği, 1970 yılında 1158,75m'den 2013 yılında 1303,82m'ye yükselmiştir. Sonuçlara göre, ortaya çıkan haritalar, her on yılda yaklaşık 20 ila 40m orman ağaç sınırının genişlediğini, en üstteki orman ağaç sınırının 43 yıl boyunca coğrafi olarak genişlediğini, en alt ağaç sınırı yüksekliğinin 2335m'den 2442.5m'ye çıktığını göstermiştir (Şekil 4.2) (Tablo 4.2). Bununla birlikte, bazı bölgelerde değişiklikler tek tip gerçekleşmemiştir (Şekil 4.1) [16, 45, 62, 133]. Genellikle, geçmişte yapılan çalışmalarda orman ağaç sınırını belirlemek için, ağaç türlerinin dendrolojik ölçümleri [35, 44], alpin ekoton biyoloji gözlemleri [133], tekrarlanan fotoğraf kayıtları [48, 57] ve uzaktan algılama [26–28, 47, 57, 68, 84, 92] yöntemleri kullanılmıştır. Dahası, orman ağaç sınırının daha yüksek irtifalara hareketi, küresel ısınmaya, özellikle hava sıcaklığındaki artışa bir cevap olarak bildirilmiştir. Bu çalışmada, aylık ortalama sıcaklığın (TMIN, TMAX, TMEAN) eğilim analizi, özellikle aylık ortalama temmuz ayı sıcaklıklarında ($\tau = 0,62$, $\rho < 0,00$), çalışma dönemi boyunca istatistiksel olarak pozitif bir eğilim sergilemiştir (Şekil 4.1)(Tablo 4.1). Tartıştığımız gibi, araştırmamızda iklim ısınmasına orman ağaç sınırının daha yüksek irtifalara doğru ilerlemesi eşlik etmektedir [31, 35, 36, 44, 98, 122, 133]. Çalışma bulgularımız, özellikle kuzey yarıküredeki ağaçların yukarı doğru hareketlerini kaydeden diğer bilimsel çalışmaların bulguları ile tutarlılık göstermektedir [28, 39, 91, 146].

Diğer araştırmalarla elde edilen benzer sonuçlar, kaydedilen tarihi Landsat verilerinin orman hattı ve orman ağaç sınır kaymalarının gözlemlenmesi ve belirlenmesi için olağanüstü bir fırsat sunma potansiyelini vurgulamıştır [28, 39, 92, 144, 146]. Önceki araştırmalarda, geçtiğimiz yüzyılda 140-700 m arasında orman ağaç sınırında ilerleme kaydedilmiştir [57] ve

yılda ortalama 3m'lik bir değişim olduğu belirlenmiştir [122]. Ayrıca, bazı durumlarda, ağaç türlerine göre yaklaşık ortalama 29 metrelik bir yükseklik değişimi rapor edilmiştir. Sıcaklıkta 1° C'lik bir artış, 11-40 m'lik bir kaymaya yol açmıştır [56, 82]. Benzer şekilde, bizim bulgumuz 40 yıl boyunca 4 °C'lik bir artış göstermiştir, bu da on yıllık süre içinde 1 °C'nin arttığını varsaydığımızda, orman ağaç sınırının on yıl boyunca 20 ila 40 metre arasında yükseldiği doğrulanmıştır (Tablo 4.1, Şekil 4.1). Diğer bulgularda, en düşük orman ağaç sınır irtifasının kayma oranı, 20 ila 106 m arasında olup bu da ileriki çalışmalarda araştırılması gereken bir durumdur (Tablo 4.2). Buna ek olarak, çok sayıda araştırma, ağaç hareketlerindeki artış eğiliminin, ağaçların doğal olarak artmasıyla sonuçlanabileceğini ve daha sonraki araştırmalarda dikkate alınması gereken Erken Holosen'de bir optimuma ulaştığını bildirmiştir [57, 69, 91]. Bu değişimlerin bu ekotonun peyzaj üzerinde, bitkileri, mikroorganizmaları ve dağ ekosisteminde yaşayan hayvanları etkileyen önemli bir etkisi olacaktır [91]. Ayrıca, ağaçların yukarı doğru kayması devam ederse, bu durum ekotonun albedo'sunu azaltacak ve küresel ısınmayı muhtemelen artıracaktır. Bu nedenle, muhtemelen daha fazla iklim ısınmasına katkıda bulunuyor olabilirler [86].

Çalışma dönemi boyunca ortalama NDVI ve AYS değerlerinde artış eğilimi tüm test alanların ortalama değerlerinde (MIN, MAX, MEAN) (Şekil 4.9) ve her test alanının ortalama değerlerinde artış göstermiştir (Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13, Şekil 4.14). Bununla birlikte, sonuçlar ortalama NDVI'daki artışın ortalama AYS'deki artışla tutarlı olduğunu göstermektedir (Şekil 4.23 (B)). 2002 yılı hariç, her yıl için tüm çalışma periyotlarında (1984, 1992, 2013, 2017) tüm test alanların periyotlarındaki ortalama NDVI ve ortalama AYS değerleri arasında orta derecede pozitif korelasyon gözlenmiştir. 1984'te ortalama NDVI ve ortalama AYS ($r = 0,634$; $\rho < 0,05$) arasında istatistiksel olarak anlamlı pozitif korelasyon olduğu belirlenmiştir (Tablo 4.5). Ortalama AYS ve NDVI'daki artan eğilimler sırasıyla $R^2 = 0,94$ ve $R^2 = 0,96$ R^2 değerlerine sahiptir (Şekil 4.24). Ortalama NDVI'daki artış, 1984 ile 2017 yılları arasındaki dokuz zaman diliminde ($P = 0,75$, $\rho < 0,05$) (1984-1988-1992-1997-2002-) her bir piksel korelasyon analizi kullanılarak ortalama AYS'deki artış ile pozitif korelasyon göstermiştir [36]. Korelasyon katsayısı, orman meşçere yoğunluğu ve yaz sıcaklığı arasında $r = 0,537$, $\rho < 0,05$ olan değerler ile pozitif ve anlamlı ($r = 0,901-0,777$, $\rho < 0,05$) bulunmuştur [85]. Saha araştırmalarına dayanarak, temmuz ayında sıcaklık ve ağaç büyümesi arasında anlamlı ve pozitif bir eğilim ve anlamlı bir korelasyon gözlemlenmiştir; bu 20 test alan için elde edilen sonuçlarla ve piksel periyodu başına çalışma

dönemi boyunca Temmuz ayı AYS sıcaklığı ile uyumludur [77, 85] ($r = 0.75$, $\rho < 0.05$). Bu nedenle, piksel eğilimi analizine göre, artan AYS, seçilen alanlarda çalışma periyodu boyunca artan NDVI eğiliminde önemli bir rol oynamıştır (Şekil 4.24). Daha fazla piksel sıcaklığı ile ağaç türü ve birey sayısı artmaktadır [91, 95, 98]. Bu bulgu, çalışma alanındaki ağaç genleşmesinin, özellikle sıcaklıktaki iklim değişikliğine neden olan faktörlere bağlı olabileceğini düşündürmektedir [48]. Temmuz ayındaki aylık ortalama sıcaklık, çalışmamızdaki iklim faktörleri arasında en büyük kayma yaşanan değişkendir ($\tau = 0.62$, $\rho < 0.00$) (Tablo 4.1). Kuzey Avrasya'da yaz mevsimi sıcaklığının [63] çoğunlukla temmuz ayı sıcaklığındaki hava sıcaklığının kontrol edildiği kanıtlanmıştır [91]. Zamansal analiz sonuçları, 1984'ten 2017'ye kadar AYS değerlerinde tutarlı bir ısınma eğilimi olduğunu ortaya koymuştur (Şekil 4.1) [62, 86, 100]. Eşzamanlı olarak, sıcaklık artışlarının muhtemelen ağaç türlerinin büyüme ihtiyaçlarını karşıladığı görülmektedir [57]. Bununla birlikte, iklim faktörlerinde, özellikle sıcaklığın yıldan yıla değişikliklerinin, bitki örtüsü kaymaları üzerinde önemli bir etkiye sahip olması beklenebilir [133]. Önceki çalışmalarda, artan sıcaklığın, ağaç sınırı ekotonundaki kaymaların ana sebebi olduğu kaydedilmiştir. Ilıman ormanların genişlemesinin, küresel ısınmanın bir göstergesi olarak sıcaklıktaki artışları yansıtması muhtemeldir [62, 119, 122].

Araştırma alanında son otuz yılda sedir ve ardıç ağaçları, her on yıl boyunca mevcut orman meşcere haritalarının karşılaştırılmasına göre, diğer iğne yapraklı türlere göre her yönden daha yüksek irtifalara daha hızlı ilerlemiştir (Şekil 4.26). Bu kaymalar, ortaya çıkan NDVI haritalarında artan yeşillik olarak düşünülebilir (Şekil 4.25). Bununla birlikte, bazı meşcerelerde, gözlemlenen ağaç türlerindeki kaymalar NDVI değerleri ile ayırt edilememiştir. 20 test alan incelendiğinde, NDVI yeşillenme trendinde ve vasküler bitkilerinde arttığını, özellikle de Ardıç ve Sedir ağacında artış tespit edilmiştir. Ayrıca Alpin alanında yapılan bir çalışmada Ardıç ağacının arttığı Landsat verilerinden çıkartılan bitki örtüsünden tespit edilmiştir [142]. Ek olarak, ormanın ağaç olmayan bölgelere yayılması başka bir çalışmada kaydedildi (Wallentin et al. 2008). Test alanlardaki artan NDVI eğilimlerine benzer şekilde, bulgular, orman meşcere ağaç türlerinin [48, 91, 118], özellikle Landsat verileri kullanılarak elde edilen NDVI'ya dayanan halihazırda kalıcı ağaç türleri olan test alanlarda genişlediğini göstermiştir [11, 49, 100, 108]. İlginç bir şekilde, daha önce yürütülen araştırmalara göre, Sedir ağacı, şiddetli soğuk kış ve hatta uzun süreli kuraklıkların bile sürdürülebilmesi için umut veren bir ağaç türüdür. Ek olarak, Sedir ağacının iklim değişikliği koşullarına yüksek

düzeyde uyum gösterdiği ve kalıcı ve verimli meşcereler sağlamanın muhtemel olduğu mevcut çalışmalarda belirtilmiştir [59, 61, 94]. Dahası, Hajar ve ark.[61] Çalışmalarında sedir ağacının yüksek rakımlara doğru genişlemesi, model senaryo araştırması ile kaydedilerek adaptasyonu tartışılmıştır. Çeşitli ağaç türleri farklı yanıtlar vermiştir, bunlar daha ileri çalışmalarda dikkate alınmalıdır. Bir diğer önemli bulgu ise, sedir ağacının başka ağaç türlerinden kayaların üzerinde Ardıç ağacının orman meşcere haritalarına göre yayılmasıdır. Üç ağaç türünün yerine (Çam ağacı, kızılçam ve karaçam) ardıç ve sedirin yayıldığı belirlenmiştir (Şekil 4.26). Odunsu türlerin genişlemesi küresel ölçekte rapor edilmiştir [156]. Bu araştırma, orman meşcere haritalarını kullanarak, iklimsel ısınmada ağaç türlerinin bileşimsel ve yapısal değişimlerini tespit etmenin ve tahmin edebilmenin mümkün olduğunu kanıtlamıştır ve bulgularımız, yapılan önceki bilimsel çalışmaların bulguları ile tutarlıdır [122, 134]. Bununla birlikte, her ağaç türünün ısınmaya verdiği cevabın, özel ekolojik özellikleri, temel gereklilikleri ve saha durumları ile ilgili olması muhtemeldir. Ancak, bu çalışma, Doğu Akdeniz'deki yüksek dağların iklim ısınmasından ciddi şekilde etkilendiğini vurgulamış, bu nedenle antropojenik etkilerin ve orman yangınlarının etkilerinin [105] daha ileri çalışmalarda araştırılması gerekmektedir. Her iki veri seti birbirini tamamlar ve elde edilen sonuçlara bir gerçeklik ve geçerlilik ekler. Bu önemli yön, diğer çalışmalarda tartışılmıştır [48, 71]. Mevcut orman meşcere haritalarının [18, 104] veya tekrarlanan alan araştırması ölçümlerinin, bitki örtüsü ve Bing Hava haritaları gibi yüksek hava fotoğrafları için uzaktan algılama verilerinden elde edilen NDVI yeşilliğini doğruladığı belirtilmelidir [48]. Çalışma alanında diğer ekolojik faktörlerin, dendrolojik çalışmaların ve ağaç türlerinin fidelerinin toplanması ve deneysel alanların yerleştirilmesi önerilmektedir. Ayrıca, orman ağaç sınır dinamiğini araştıran çalışmalarda ağaç sınır tarihinin önemi göz önüne alınmalıdır. Araştırma alanının buzul sonrası tarihi göz önüne alındığında, ağaç sınır pozisyonunun etkilerinin mevcut ekoton yapısını değiştirdiği vurgulanmıştır [49, 68]. Ancak, araştırma alanı hızlı bir ısınma geçirdi ve buzullar 1980'de ortadan kayboldu [153]. Orman ağaç sınırının yukarı hareketi devam ederse, daha yüksek irtifalarda bitkilerin biyolojik çeşitliliğini tehdit edebilir. Mevcut çalışmanın sınırlamaları olduğuna dikkat edilmelidir. Zayıf yönlerinden biri, çalışma alanında yeterli meteoroloji istasyonu olmamasıdır. Elde edilen sonuçlara göre, meteoroloji istasyonlarına bir alternatif, her 30 mx 30 m piksel için sıcaklık bilgisi sağlayan Landsat termal bantları ile AYS haritalarının kullanılmasıdır. Bununla birlikte, birçok çalışma uzak bölgelerde hava sıcaklığı yerine AYS kullanmanın uygunluğunu kanıtlamıştır [14, 32, 121].

Ayrıca, orman izleme çalışmalarında iklim değışikliği araştırmalarında AYS potansiyeli bildirilmiştir [106, 121].



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mevcut tez çalışması, orman meşcere haritaları, uzun vadeli Landsat verileri (NDVI, AYS) ve sıcaklık verilerini kullanarak 43 yılda gerçekleşen yapısal değişimleri izleme olanağını lokal bir alanda göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, Qgis ortamındaki mevcut yüksek çözünürlüklü Bing Aerial görüntüleri ve mevcut orman meşcere haritaları tarafından doğrulanmıştır. Yalnızca Landsat verilerinin veya orman meşcere haritalarının kullanımı ile ilgili belirsizlikler, uygulanan yöntemlere göre Bing Air haritalarıyla iki verinin birleştirilmesiyle azaltılabilir. Bu çalışmada, üç önemli bilimler, yani CBS teknikleri, uzaktan algılama verileri ve arazi tabanlı ölçümler entegre edilmiştir. Önceki çalışmalar sadece uzaktan algılama ve vejetasyonun yeşilliğini ya da sadece saha tabanlı yöntemler (dendroloji ve biyoloji çalışmaları) temelinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, sıcaklık göstergesi olan AYS'nin ve ekotektonun yeşil biyokütlesinin bir temsilcisi olan NDVI'nin alan ölçeğinde 1983'ten 2017'ye kadar artan bir eğilim gösterdiğini göstermiştir. Araştırmanın sonuçları, orman ağaç sınırının sıcaklık anomalilerinin, her piksel analizi ve doğrusal model kullanılarak AYS ile ekoton bölgelerinde başarıyla tespit edilebildiğini göstermektedir. Ek olarak, orman yapısının heterojenliğindeki boşluk ve zaman üzerindeki kaymalar, iki veri kaynağının birleştirilmesiyle tespit edilebilir. Dahası, bu çalışmada, sedir ve ardıç hem NDVI haritaları hem de orman meşcere haritaları tarafından iki öncü ağaç türü olarak belirlenmiştir. Mevcut çalışmada, sedir ve ardıç öncü ağaç türleri olmuştur. Sonuçlar, iklim ısınmasının orman ağaç sınırının yukarı doğru hareketlerine yol açtığı hipotezini destekleyen NDVI değerlerinin de arttığını göstermiştir. Bu nedenle, orman sınırındaki bitki örtüsünün artan sıcaklıklara nasıl tepki verdiğini belirlemek, orman ekosistemindeki orman yöneticileri için bazı gelişimsel uyum stratejilerinin oluşturulmasına yardımcı olur. Gelecekteki araştırmalar, NDVI ve diğer bitki örtüsü endekslerinin, orman hattında ve orman ağaç sınırının hareketlerini tespit etme performanslarını incelemek için karşılaştırılmasına odaklanmamız gerekmektedir. Diğer çalışmalarda, Sedir ve Ardıç gibi çeşitli ağaç türlerinin genişlemesini ve azalmasını ve bunların diğer ağaç türleriyle rekabetini araştırması gerekmektedir. Ayrıca, çalı ve başka bitkilerde ve diğer alpin bitki örtüsü değişimlerinin araştırılması tavsiye edilir. Bu bulgular genel olarak, sonuçların niş modelleme çalışmalarında etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir, ancak ağaç türü modelleme senaryosu araştırmaları deneysel verilerden ziyade stimülasyona dayanmaktadır. Ayrıca, gelecekteki araştırmalar, diğer faktörlerin orman sınır hattında ve orman ağaç sınırının dinamikleri üzerindeki katkılarını incelemelidir. Dahası,

ESA'nın Sentinel 2A ve radar uzaktan algılama verileri ve optik uzaktan algılama verileriyle daha güvenilir bilgi vermesi tavsiye edilir.

Mevcut araştırma, orman meşcere haritalarını kullanılarak 43 yıl boyunca, orman ağaç sınırının genişleme ve yapısal değişimlerin izlenmesinin uygulanabilirliğini göstermektedir. GIS ve orman meşcere haritalarının, bu çalışmada orman alanlarının sınırının değişimini tespit etmek için yararlı bir yöntem olarak gösterilmiştir. Bir diğer önemli bulgu orman meşcere haritalarının mekansal dağılım detaylarına göre, çalışma alanının tamamında orman ağacı türlerinin dağılımı incelenebilmiştir. Ayrıca, meşcere haritaları hem Sedir ağacı hem de Ardıç ağacında belirgin bir değişim ve artış olduğunu göstermiştir. Bizim sonuçlarımız, özellikle uzak dağ bölgelerinde, ekolojik niş modellemede daha kritik, yansıtıcı ve sorumlu soruşturma ihtiyacına dair ikna edici kanıtlar sunmaktadır. Bu sonuçlar, iklim değişikliği senaryoları altındaki benzer değişimler açısından olağanüstü bir öneme sahip olabilir. Sonuçlarımızın, daha önce belgelenmemiş bölgedeki orman ağaç sınır dinamikleri üzerinde yararlı ipuçları sağladığına inanıyoruz. Orman ağaç sınırının ağaçların çap-boy ve yaş yapısını tarihsel olarak araştırılmasını tavsiye edilmektedir.

Önerilen yaklaşım, elde edilen sonuçlara göre, küresel düzeyde ağaç sınır çalışmalarında uzaktan algılama teknikleri ile ağaç sınırını daha titiz ve sistematik bir şekilde analiz edilmesinin yolunu açarak uzaktan algılama görüntülerden standart ve tekrarlanabilir ölçümler yapılmasını sağlamaktadır. Bu çalışma, şimdiye kadar bu araştırma alanında kullanılmamış olan ağaç sınır izleme için mevcut bir küresel bilgi kaynağına erişim potansiyelini değerlendirerek katkıda bulunmaya çalışmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Ahn, J.Y. 2014. Monitoring Regional Vegetation Changes in Seward Peninsula, Alaska, Using Remote Sensing Technique. PRISM.
- [2] Alatalo, J. and Ferrarini, A. 2017. Braking effect of climate and topography on global change-induced upslope forest expansion. *International Journal of Biometeorology*. 61, (2017), 541–548.
- [3] Allen, T. and Walsh, S. 1996. Spatial and Compositional Pattern of Alpine Treeline, Glacier National Park, Montana. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 62, (1996), 1261–1268.
- [4] Ameztegui, A. et al. 2016. Land-use legacies rather than climate change are driving the recent upward shift of the mountain tree line in the Pyrenees. *Global Ecology and Biogeography*. 25, (2016).
- [5] Anadon-Rosell, A. et al. 2018. Xylem anatomical and growth responses of the dwarf shrub *Vaccinium myrtillus* to experimental CO₂ enrichment and soil warming at treeline. *Science of the total environment*. 642, (2018), 1172–1183.
- [6] Arekhi, M. et al. 2017. Can tree species diversity be assessed with Landsat data in a temperate forest? *Environmental monitoring and assessment*. 189, 11 (2017), 586.
- [7] Aslan, Z. and Natarajan, K. 1994. Vegetation pattern of Istanbul from the Landsat data and the relationship with meteorological parameters. *Annales Geophysicae*. 12, (1994), 574–584.
- [8] Baird, R. et al. 2012. Browning of the landscape of interior Alaska based on 1986–2009 Landsat sensor NDVI. *Canadian Journal of Forest Research*. 42, (2012), 1371–1382.
- [9] Baker, W. and Weisberg, P. 1995. Landscape Analysis of the Forest-Tundra Ecotone in Rocky Mountain National Park, Colorado. *Professional Geographer*. 47, (1995), 361–375.
- [10] Baumann, M. 2013. Forests through the Eye of a Satellite: Understanding regional forest-cover dynamics using Landsat Imagery. (2013).
- [11] Bharti, R.R. et al. 2012. Assessing vegetation changes in timberline ecotone of Nanda Devi National Park, Uttarakhand. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 18, (2012), 472–479.
- [12] Bobrowski, M. et al. 2017. Modelling the potential distribution of *Betula utilis* in the Himalaya. *Global Ecology and Conservation*. 11, (2017), 69–83.
- [13] Bonanomi, G. et al. 2018. Anthropogenic and environmental factors affect the tree line position of *Fagus sylvatica* along the Apennines (Italy). *Journal of biogeography*. 45, 11 (2018), 2595–2608.
- [14] Brabyn, L. et al. 2014. Accuracy assessment of land surface temperature retrievals from Landsat 7 ETM+ in the Dry Valleys of Antarctica using iButton temperature loggers and weather station data. *Environmental Monitoring and Assessment*. 186, 4 (2014), 2619–2628.
- [15] Brown, D. 1994. Predicting vegetation types at treeline using topography and biophysical disturbance variables. *Journal of Vegetation Science*. 5, (1994), 641–656.
- [16] Bruggeman, D. et al. 2016. Forest cover changes in Bhutan: Revisiting the forest transition. *Applied Geography*. 67, (2016), 49–66.

- [17] Butler, D.R. et al. 2003. Lithologic, structural, and geomorphic controls on ribbon forest patterns in a glaciated mountain environment. *Geomorphology*. 55, 1-4 (2003), 203–217.
- [18] Cakir, G. 2006. Orman Amenajman Planlamasinda Gerekli Bilisimin Saglanmasi icin Uzaktan Algilama ve Cografi Bilgi Sistemlerinden Yararlanilmasi. *Doktora Tezi, KTU. Fen Bilimleri Enstitusu, Trabzon*. (2006).
- [19] Callaghan, T. et al. 2002. The tundra-taiga interface and its dynamics: Concepts and applications. *Ambio*. Spec No 12, (2002), 6–14.
- [20] Camarero, J.J. and Gutiérrez, E. 2004. Pace and Pattern of Recent Treeline Dynamics: Response of Ecotones to Climatic Variability in the Spanish Pyrenees. *Climatic Change*. 63, 1 (Mar. 2004), 181–200.
- [21] Chander, G. et al. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*. 113, 5 (2009), 893–903.
- [22] Chavez, P.S. and others 1996. Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. *Photogrammetric Engineering and Remote sensing*. 62, 9 (1996), 1025–1035.
- [23] Chen, B. et al. 2017. A mangrove forest map of China in 2015: Analysis of time series Landsat 7/8 and Sentinel-1A imagery in Google Earth Engine cloud computing platform. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 131, (2017), 104–120.
- [24] Chen, Y. et al. 2015. Detection of vegetation abundance change in the alpine tree line using multitemporal Landsat Thematic Mapper imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 36, (2015).
- [25] Chhetri, P. and Cairns, D. 2018. Low recruitment above treeline indicates treeline stability under changing climate in Dhorpatan Hunting Reserve, Western Nepal. *Physical Geography*. (2018), 1–14.
- [26] Chhetri, P.K. 2018. Predicting upslope expansion of sub-alpine forest in the Makalu Barun National Park, Eastern Nepal, with a hybrid cartographic model. *Journal of Forestry Research*. 29, 1 (Jan. 2018), 129–137.
- [27] Chhetri, P.K. et al. 2017. Topography and human disturbances are major controlling factors in treeline pattern at Barun and Manang area in the Nepal Himalaya. *Journal of Mountain Science*. 14, 1 (2017), 119–127.
- [28] Chhetri, P.K. and Thai, E. 2019. Remote sensing and geographic information systems techniques in studies on treeline ecotone dynamics. *Journal of Forestry Research*. 30, 5 (Oct. 2019), 1543–1553.
- [29] Congedo, L. 2016. Semi-automatic classification plugin documentation. *Release*. 4, 0.1 (2016), 29.
- [30] Congedo, L. 2016. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation: Release 5.0. 2.1. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.29474.02242> (2016), 1.
- [31] Crawford, C. et al. 2018. Landsat Science Team: 2017 Summer Meeting Summary. *Landsat Science Team Meeting Reports*. 30, (2018), 21–25.
- [32] Cristóbal, J. et al. 2008. Modeling air temperature through a combination of remote sensing and GIS data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 113, D13 (2008).
- [33] Cullen, L. et al. 2001. Climate change and tree-ring relationships of *Nothofagus menziesii* tree-line forests. *Canadian Journal of Forest Research*. 31, (2001), 1981–1991.

- [34] Danby, R.K. 2007. *Alpine treeline and climate warming: A multiscale study of pattern and process in southwest Yukon*. ProQuest.
- [35] Danby, R.K. and Hik, D.S. 2007. Responses of white spruce (*Picea glauca*) to experimental warming at a subarctic alpine treeline. *Global Change Biology*. 13, 2 (2007), 437–451.
- [36] Danby, R.K. and Hik, D.S. 2007. Variability, contingency and rapid change in recent subarctic alpine tree line dynamics. *Journal of Ecology*. 95, 2 (2007), 352–363.
- [37] Danzeglocke, J. 2005. Remote sensing of upper timberline elevation in the Alps on different scales. (2005).
- [38] Davenport, M. and Nicholson, S. 1993. On the relation between rainfall and the Normalized Difference Vegetation Index for diverse vegetation types in East Africa. *International Journal of Remote Sensing*. 14, (1993), 2369–2389.
- [39] Davis, E. et al. 2020. Regional variability in the response of alpine treelines to climate change. *Climatic Change*. 162, (2020), 1–20.
- [40] Deering, D.W. 1989. Field measurements of bidirectional reflectance. *Theory and Application of Optical Remote Sensing*. (1989), 14–65.
- [41] Devi, N. et al. 2008. Expanding forests and changing growth forms of Siberian larch at the Polar Urals treeline during the 20th century. *Global Change Biology*. 14, 7 (2008), 1581–1591.
- [42] DEVI, N. et al. 2008. Expanding forests and changing growth forms of Siberian larch at the Polar Urals treeline during the 20th century. *Global Change Biology*. 14, 7 (2008), 1581–1591.
- [43] Dinca, L. et al. 2017. Forests dynamics in the montane alpine boundary: a comparative study using satellite imagery and climate data. *Climate Research*. 73, 1-2 (2017), 97–110.
- [44] Du, H. et al. 2017. Warming-induced upward migration of the alpine treeline in the Changbai Mountains, northeast China. *Global change biology*. (2017).
- [45] Elmendorf, S.C. et al. 2012. Global assessment of experimental climate warming on tundra vegetation: heterogeneity over space and time. *Ecology Letters*. 15, 2 (2012), 164–175.
- [46] Fer, I. and Dalfes, N. Modeling climate change impacts on forest ecosystems : An application for Turkey and its region.
- [47] Fraser, R. et al. 2012. A method for trend-based change analysis in Arctic tundra using the 25-year Landsat archive. *Polar Record*. 48, 1 (2012), 83–93.
- [48] Fraser, R. et al. 2011. Detecting long-term changes to vegetation in northern Canada using the Landsat satellite image archive. *Environmental Research Letters*. 6, 4 (2011), 045502.
- [49] Fraser, R.H. et al. 2014. Warming-induced shrub expansion and lichen decline in the Western Canadian Arctic. *Ecosystems*. 17, 7 (2014), 1151–1168.
- [50] Gaire, N.P. et al. 2017. Site-and species-specific treeline responses to climatic variability in eastern Nepal Himalaya. *Dendrochronologia*. 41, (2017), 44–56.
- [51] Gartzia, M. et al. 2014. Assessment of the effects of biophysical and anthropogenic factors on woody plant encroachment in dense and sparse mountain grasslands based on remote sensing data. *Progress in Physical Geography*. 38, (2014), 201–217.
- [52] Ghebregabher, M.G. et al. 2016. Extracting and analyzing forest and woodland cover change in Eritrea based on landsat data using supervised classification. *The Egyptian journal of Remote Sensing and Space Science*. 19, 1 (2016), 37–47.

- [53] Giri, C. et al. 2007. Monitoring mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 73, 1 (2007), 91–100.
- [54] Goel, N.S. 1989. Inversion of canopy reflectance models for estimation of biophysical parameters from reflectance data. *Theory and Applications of Optical Remote Sensing. Wiley Series in Remote Sensing*. (1989), 205–251.
- [55] Goslee, S. 2011. Analyzing Remote Sensing Data in R: The landsat Package. *Journal of Statistical Software*. 43, (2011).
- [56] Grabherr, G. et al. 1994. Climate effects on mountain plants. *Nature*. 369, 6480 (1994), 448–448.
- [57] Grace, J. et al. 2002. Impacts of climate change on the tree line. *Annals of Botany*. 90, 4 (2002), 537–544.
- [58] Groen, T. et al. 2012. Tree Line Change Detection Using Historical Hexagon Mapping Camera Imagery and Google Earth Data. *GIScience & Remote Sensing*. 49, (2012), 933–943.
- [59] Güney, A. et al. 2015. Cambial activity and xylogenesis in stems of *Cedrus libani* A. Rich at different altitudes. *Botanical studies*. 56, 1 (2015), 20.
- [60] Guo, D. et al. 2014. Topographic controls on alpine treeline patterns on Changbai Mountain, China. *Journal of Mountain Science*. 11, 2 (2014), 429–441.
- [61] Hajar, L. et al. 2010. *Cedrus libani* (A. Rich) distribution in Lebanon: Past, present and future. *Comptes Rendus Biologies*. 333, 8 (2010), 622–630.
- [62] Hanberry, B.B. and Hansen, M.H. 2015. Latitudinal range shifts of tree species in the United States across multi-decadal time scales. *Basic and Applied Ecology*. 16, 3 (2015), 231–238.
- [63] Harsch, M.A. et al. 2009. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming. *Ecology letters*. 12, 10 (2009), 1040–1049.
- [64] Hasegawa, K. et al. 2010. Improving the estimation of leaf area index by using remotely sensed NDVI with BRDF signatures. *Remote Sensing of Environment*. 114, 3 (2010), 514–519.
- [65] Hofgaard, A. et al. 2013. Latitudinal forest advance in northernmost Norway since the early 20th century. *Journal of Biogeography*. 40, (2013), 938–949.
- [66] Holtmeier, F.-K. 2009. *Mountain timberlines: ecology, patchiness, and dynamics*. Springer Science & Business Media.
- [67] Holtmeier, F.-K. and Broll, G. 2005. Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales. *Global ecology and Biogeography*. 14, 5 (2005), 395–410.
- [68] Holtmeier, F.-K. and Broll, G. 2017. Treelines—Approaches at Different Scales. *Sustainability*. 9, 5 (2017), 808.
- [69] Holtmeier, K.-F. and Broll, G. 2010. Altitudinal and polar treelines in the northern hemisphere Causes and response to climate change (Obere und polare Baumgrenze auf der nördlichen Hemisphäre Ursachen und Antwort auf den Klimawandel). *Polarforschung*. 79, 3 (2010), 139–153.
- [70] Irl, S. et al. 2016. Patterns of island treeline elevation - a global perspective. (2016).
- [71] Iverson, L.R. and McKenzie, D. 2013. Tree-species range shifts in a changing climate: detecting, modeling, assisting. *Landscape Ecology*. 28, 5 (2013), 879–889.
- [72] Jacob, M. et al. 2016. Land cover dynamics in the Simien Mountains (Ethiopia), half a century after establishment of the National Park. *Regional Environmental Change*. (2016).

- [73] Jump, A.S. and Penuelas, J. 2005. Running to stand still: adaptation and the response of plants to rapid climate change. *Ecology Letters*. 8, 9 (2005), 1010–1020.
- [74] Kimball, K. and Weihrauch, D. 2000. Alpine Vegetation Communities and the Alpine-Treeline Ecotone Boundary in New England as Biomonitors for Climate Change. 3, (2000).
- [75] Klasner, F.L. and Fagre, D.B. 2002. A half century of change in alpine treeline patterns at Glacier National Park, Montana, U.S.A. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 34, 1 (2002), 49–56.
- [76] Klinge, M. et al. 2015. Modelling forest lines and forest distribution patterns with remote sensing data in a mountainous region of semi-arid Central Asia. *Biogeosciences*. 12, (2015), 2893–2905.
- [77] Körner, C. 1998. A re-assessment of high elevation treeline positions and their explanation. *Oecologia*. 115, 4 (1998), 445–459.
- [78] Körner, C. 2012. *Alpine treelines: functional ecology of the global high elevation tree limits*. Springer Science & Business Media.
- [79] Körner, C. and Paulsen, J. 2004. A world-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of biogeography*. 31, 5 (2004), 713–732.
- [80] Kullman, L. 1993. Pine (*Pinus Sylvestris* L.) tree-limit surveillance during recent decades, Central Sweden. *Arctic and Alpine Research*. (1993), 24–31.
- [81] Leeuwen, T.T. van et al. 2011. Optimal use of land surface temperature data to detect changes in tropical forest cover. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 116, G2 (2011).
- [82] Lenoir, J. et al. 2008. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science*. 320, 5884 (2008), 1768–1771.
- [83] Leonelli, G. et al. 2009. Detecting Climatic Treelines in the Italian Alps: The Influence of Geomorphological Factors and Human Impacts. *Physical Geography*. 30, (2009), 338–352.
- [84] Li, H. et al. 2016. Human Impact on Vegetation Dynamics around Lhasa, Southern Tibetan Plateau, China. *Sustainability*. 8, 11 (2016), 1146.
- [85] Li, H. et al. 2016. Pattern of NDVI-based vegetation greening along an altitudinal gradient in the eastern Himalayas and its response to global warming. *Environmental Monitoring and Assessment*. 188, 3 (2016), 186.
- [86] Liess, S. et al. 2012. The effects of boreal forest expansion on the summer Arctic frontal zone. *Climate Dynamics*. 38, 9-10 (2012), 1805–1827.
- [87] Lillesand, T. et al. 2004. *Remote Sensing and Image Interpretation (Fifth Edition)*.
- [88] Luo, G. and Dai, L. 2013. Detection of alpine tree line change with high spatial resolution remotely sensed data. *Journal of Applied Remote Sensing*. 7, (2013), 073520.
- [89] Lutz, D.A. et al. 2013. Four decades of Andean timberline migration and implications for biodiversity loss with climate change. *Plos One*. 8, 9 (2013), e74496.
- [90] Ma, X. et al. Sensitivity of Vegetation on Alpine and Subalpine Timberline in Qinling Mountains to Temperature Change. 10, 1105.
- [91] MacDonald, G. et al. 2008. Climate change and the northern Russian treeline zone. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. 363, 1501 (2008), 2283–2299.
- [92] Masek, J.G. 2001. Stability of boreal forest stands during recent climate change: evidence from Landsat satellite imagery. *Journal of Biogeography*. 28, 8 (2001), 967–976.

- [93] Mathisen, I. et al. 2013. Fifty years of tree line change in the Khibiny Mountains, Russia. Advantages of combined Remote sensing and dendroecological approaches. *Applied Vegetation Science*. 17, (2013).
- [94] Messinger, J. et al. 2015. Cedrus libani: A promising tree species for Central European forestry facing climate change? *European Journal of Forest Research*. 134, 6 (2015), 1005–1017.
- [95] Miller, A.E. et al. 2017. Warming drives a front of white spruce establishment near western treeline, Alaska. *Global change biology*. (2017).
- [96] Mishra, N.B. and Mainali, K.P. 2017. Greening and browning of the Himalaya: Spatial patterns and the role of climatic change and human drivers. *Science of The Total Environment*. 587, (2017), 326–339.
- [97] Moen, J. et al. 2004. Potential Effects of Climate Change on Treeline Position in the Swedish Mountains. *Ecology and Society*. 9, (2004).
- [98] Monleon, V.J. and Lintz, H.E. 2015. Evidence of tree species' range shifts in a complex landscape. *PLoS One*. 10, 1 (2015), e0118069.
- [99] Morley, P.J. et al. 2017. Integrating remote sensing and demography for more efficient and effective assessment of changing mountain forest distribution. *Ecological Informatics*. (2017).
- [100] Morton, D.C. et al. 2012. Satellite-based evidence for shrub and graminoid tundra expansion in northern Quebec from 1986 to 2010. *Global Change Biology*. 18, 7 (2012), 2313–2323.
- [101] Nagendra, H. 2001. Using remote sensing to assess biodiversity. *International Journal of Remote Sensing*. 22, (2001), 2377–2400.
- [102] Orbán, I. et al. 2018. Treeline and timberline dynamics on the northern and southern slopes of the Retezat Mountains (Romania) during the late glacial and the Holocene. *Quaternary International*. 477, (2018), 59–78.
- [103] Orhan, O. et al. 2014. Use of landsat land surface temperature and vegetation indices for monitoring drought in the Salt Lake Basin Area, Turkey. *The Scientific World Journal*. 2014, (2014).
- [104] Ozkan, U.Y. and Yesil, A. 2016. Forest stand delineation using Ikonos image and object based image analysis. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University Orman Fakultesi Dergisi*. 66, 2 (2016), 600–612.
- [105] Ozturk, M. et al. 2015. *Climate change impacts on high-altitude ecosystems*. Springer.
- [106] Parastatidis, D. et al. 2017. Online Global Land Surface Temperature Estimation from Landsat. *Remote Sensing*. 9, 12 (2017), 1208.
- [107] Parolly, G. 2015. The high-mountain flora and vegetation of the western and central Taurus Mts.(Turkey) in the times of climate change. *Climate Change Impacts on High-Altitude Ecosystems*. Springer. 99–133.
- [108] Patrick Shawn Sawyer, H.S. 2014. Vegetative response to climate change in the Big Pine Creek watershed along a 2,500 meter elevation gradient using Landsat data? *Earth Sciences*. (2014).
- [109] Paulsen, J. and Körner, C. 2014. A climate-based model to predict potential treeline position around the globe. *Alpine Botany*. 124, (Apr. 2014), 1–12.
- [110] Pettorelli, N. et al. 2014. Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*. 51, 4 (2014), 839–848.
- [111] Pozdnyakov, D.V. et al. 2007. Satellite evidence of ecosystem changes in the White Sea: A semi-enclosed arctic marginal shelf sea. *Geophysical Research Letters*. 34, 8 (2007).

- [112] QGIS Development, T. 2015. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- [113] Reynolds, M.K. et al. 2013. Patterns of change within a tundra landscape: 22-year Landsat NDVI trends in an area of the northern foothills of the Brooks Range, Alaska. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 45, 2 (2013), 249–260.
- [114] Resler, L. et al. 2004. Mapping the Alpine Treeline Ecotone with Digital Aerial Photography and Textural Analysis. *Geocarto International*. 19, (2004), 37–44.
- [115] Resler, L.M. 2006. Geomorphic controls of spatial pattern and process at alpine treeline. *The Professional Geographer*. 58, 2 (2006), 124–138.
- [116] Richards, J. 2013. *Remote Sensing Digital Image Analysis*.
- [117] Richardson, A.D. and Friedland, A.J. 2009. A review of the theories to explain arctic and alpine treelines around the world. *Journal of Sustainable Forestry*. 28, 1-2 (2009), 218–242.
- [118] Ropars, P. et al. 2015. How do climate and topography influence the greening of the forest-tundra ecotone in northern Québec? A dendrochronological analysis of *Betula glandulosa*. *Journal of Ecology*. 103, 3 (2015), 679–690.
- [119] Salzer, M.W. et al. 2009. Recent unprecedented tree-ring growth in bristlecone pine at the highest elevations and possible causes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 106, 48 (2009), 20348–20353.
- [120] Sawyer, P. and Stephen, H. 2012. Assessing ecological response of the Big Pine Creek watershed to climate change using time series analysis of Landsat surface reflectance data over a 28-year period. *River Basin Management VII*. 172, (2012), 375.
- [121] Shuman, C.A. and Comiso, J.C. 2002. In situ and satellite surface temperature records in Antarctica. *Annals of Glaciology*. 34, (2002), 113–120.
- [122] Singh, C. et al. 2011. Alpine vegetation ecotone dynamics in Gangotri catchment using remote sensing techniques. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. (2011), 36–8.
- [123] Sivrikaya, F. 2011. The importance of spatial accuracy in characterizing stand types using remotely sensed data. *African Journal Of Biotechnology*. 10, (2011).
- [124] Skowno, A.L. et al. 2017. Woodland expansion in South African grassy biomes based on satellite observations (1990–2013): general patterns and potential drivers. *Global Change Biology*. 23, 6 (2017), 2358–2369.
- [125] Solomon, S. et al. 2007. IPCC fourth assessment report (AR4). *Climate change*. (2007).
- [126] Stow, D.A. et al. 2004. Remote sensing of vegetation and land-cover change in Arctic Tundra Ecosystems. *Remote Sensing of Environment*. 89, 3 (2004), 281–308.
- [127] Stueve, K. et al. 2011. Spatial variability of biotic and abiotic tree establishment constraints across a treeline ecotone in the Alaska Range. *Ecology*. 92, (2011), 496–506.
- [128] Talu, N. et al. 2010. *Turkey's National Climate Change Adaptation Strategy and Action Plan (Draft)*. TR Ministry of Environment and Urbanization, General Directorate of Environmental Management, Department of Climate Change, Ankara.
- [129] TEAM, Rd.C. and others 2010. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3–900051–07–0, URL: <http://www.R-project.org>.
- [130] Terzioglu Salih, M.K. Aydin Tufekcioglu 2015. Vegetation and Plant Diversity of High-Altitude Mountains in Eastern Karadeniz (Black Sea) Region of Turkey and Climate Change Interactions. *Climate Change Impacts on High-Altitude Ecosystems*. Springer. 383–408.

- [131] Trivedi, M.R. et al. 2008. Spatial scale affects bioclimate model projections of climate change impacts on mountain plants. *Global Change Biology*. 14, 5 (2008), 1089–1103.
- [132] Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 8, 2 (1979), 127–150.
- [133] Virtanen, R. et al. 2010. Recent vegetation changes at the high-latitude tree line ecotone are controlled by geomorphological disturbance, productivity and diversity. *Global Ecology and Biogeography*. 19, 6 (2010), 810–821.
- [134] Virtanen, T. et al. 2004. Modeling the Location of the Forest Line in Northeast European Russia with Remotely Sensed Vegetation and GIS-Based Climate and Terrain Data. *Arctic Antarctic and Alpine Research*. (2004).
- [135] Vittoz, P. et al. 2008. Effects of climate and land-use change on the establishment and growth of cembra pine (*Pinus cembra* L.) over the altitudinal treeline ecotone in the Central Swiss Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 40, 1 (2008), 225–232.
- [136] Volkan, E. 2018. Hava Kaynaklı Lazer Tarama Verilerinden Orman Meşcere Yükseklik Haritası Üretimi Ve Potansiyel Analizi. Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı.
- [137] Wallentin, G. et al. 2008. Understanding alpine tree line dynamics: an individual-based model. *Ecological Modelling*. 218, 3 (2008), 235–246.
- [138] Walsh, S.J. et al. 2003. Mapping, modeling, and visualization of the influences of geomorphic processes on the alpine treeline ecotone, Glacier National Park, MT, USA. *Geomorphology*. 53, 1-2 (2003), 129–145.
- [139] Walsh, S.J. and Kelly, N.M. 1990. Treeline Migration and Terrain Variability: Integration of Remote Sensing Digital Enhancements and Digital Elevation Models.
- [140] Wang, J. et al. 2017. Mapping the dynamics of eastern redcedar encroachment into grasslands during 1984–2010 through PALSAR and time series Landsat images. *Remote Sensing of Environment*. 190, (2017), 233–246.
- [141] Wang, T. et al. 2006. Treeline dynamics in relation to climatic variability in the central Tianshan Mountains, northwestern China. *Global Ecology and Biogeography*. 15, 4 (2006), 406–415.
- [142] Wang, W. et al. 2017. Rapid warming forces contrasting growth trends of subalpine fir (*Abies fabri*) at higher-and lower-elevations in the eastern Tibetan Plateau. *Forest Ecology and Management*. 402, (2017), 135–144.
- [143] Wang, Y. et al. 2016. Increased stem density and competition may diminish the positive effects of warming at alpine treeline. *Ecology*. 97, 7 (2016), 1668–1679.
- [144] Weisberg, P.J. et al. 2013. Landscape influences on recent timberline shifts in the Carpathian Mountains: Abiotic influences modulate effects of land-use change. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 45, 3 (2013), 404–414.
- [145] Weiss, D.J. 2009. Alpine treeline ecotones in the western United States: a multi-scale comparative analysis of environmental factors influencing pattern-process relations. *Dissertation Abstracts International*.
- [146] Wen, H. et al. 2020. Dynamics and Drivers of the Alpine Timberline on Gongga Mountain of Tibetan Plateau-Adopted from the Otsu Method on Google Earth Engine. *Remote Sensing*. 2020, (2020), 2651.
- [147] Weng, Q. et al. 2004. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*. 89, 4 (2004), 467–483.
- [148] White, J. et al. 1995. Forest mapping at Lassen Volcanic National Park, California, using Landsat TM data and a geographical information system. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 61, (1995), 299–305.

- [149] Wielgolaski, F. et al. 2017. Sensitivity to environmental change of the treeline ecotone and its associated biodiversity in European mountains. *Climate Research*. 73, (2017).
- [150] Wilmers, C.C. et al. 2013. Climate and vegetation phenology. *Yellowstone's wildlife in transition*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, USA. (2013), 147–163.
- [151] Xu, D. 2020. Tree Line Identification and Dynamics under Climate Change in Wuyishan National Park Based on Landsat Images. *Remote Sensing*. 12, (2020), 2890.
- [152] Yang-jian, Z. et al. 2001. The trend of tree line on the northern slope of Changbai Mountain. *Journal of Forestry Research*. 12, 2 (Jun. 2001), 97–100.
- [153] Yavasli, D.D. et al. 2015. Change in the glacier extent in Turkey during the Landsat Era. *Remote Sensing of Environment*. 163, (2015), 32–41.
- [154] Yichun Xie, S.Z. 2008. Remote sensing imagery in vegetation mapping: A review. *Journal of Plant Ecology*. 1, (2008), 9–23.
- [155] Zhang, Y. et al. 2009. Can Landsat imagery detect tree line dynamics? *International Journal of Remote Sensing*. 30, 5 (2009), 1327–1340.
- [156] Zinnert, J.C. et al. 2011. Woody vegetative cover dynamics in response to recent climate change on an Atlantic coast barrier island: a remote sensing approach. *Geocarto International*. 26, 8 (2011), 595–612.
- [157] Zong, S. et al. 2014. Current and Potential Tree Locations in Tree Line Ecotone of Changbai Mountains, Northeast China: The Controlling Effects of Topography. *PloS one*. 9, (2014), e106114.