

**İNSANSIZ HAVA ARACI VERİLERİNDEN NESNE TABANLI
SINIFLANDIRMA YAKLAŞIMI İLE SİĞ HEYELANLARIN TESPİTİ**

Resul ÇÖMERT

DOKTORA TEZİ

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri

Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Uğur AVDAN

(İkinci Danışman: Doç. Dr. Tolga GÖRÜM)

Eskişehir

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Ağustos 2018

Bu tez çalışması BAP Komisyonunca kabul edilen 1608F607 no.lu proje kapsamında desteklenmiştir

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Resul Çömert'in "İnsansız Hava Aracı Verilerinden Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yaklaşımı ile Sığ Heyelanların Tespiti" başlıklı tezi 10/08/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

<u>Jüri Üyeleri</u>	<u>Unvanı Adı Soyadı</u>	<u>İmza</u>
Üye (Tez Danışmanı) :	Doç. Dr. Uğur AVDAN	
Üye :	Prof. Dr. Yasin Dursun SARI	
Üye :	Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU	
Üye :	Doç. Dr. Murat UYSAL	
Üye :	Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL	

Prof.Dr. Ersin YÜCEL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

İNSANSIZ HAVA ARACI VERİLERİNDEN NESNE TABANLI SINIFLANDIRMA YAKLAŞIMI İLE SIĞ HEYELANLARIN TESPİTİ

Resul ÇÖMERT

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağustos 2018

Danışman: Doç. Dr. Uğur AVDAN

(İkinci Danışman: Doç. Dr. Tolga GÖRÜM)

Karadeniz bölgesi yüksek eğimli topoğrafyası, yoğun yağış alma özelliği ve dayanım açısından zayıf jeolojik malzeme özelliği nedeni ile Türkiye’de heyelan olayların yoğun olarak yaşandığı bölgelerdendir. Bölgenin heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde, heyelan envanter haritalarının üretilmesi birinci adımdır. Bölgede meydana gelen heyelanların haritalanmasında yersel yöntemler bölgenin koşulları nedeni ile zaman alıcı ve çok maliyetlidir. Uydu görüntüleri ve uçaklardan elde edilen hava fotoğraflarına bağlı yapılacak heyelan haritalamada, iklimsel koşullar, maliyet ve tekrarlı ölçüm kapasitelerinin sınırlı olması gibi kısıtlayıcı faktörler söz konusudur. Bunlara ek olarak uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarına bağlı olarak yapılan görsel yorumlama temelli heyelan haritalama işlemi çok fazla zaman almaktadır. Bundan dolayı İnsansız Hava Aracı (İHA) temelli veri toplama ve bu veriler üzerinden nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile heyelan olay envanterinin üretilmesi diğer yöntemlere göre hız ve maliyet açısından üstünlük kurabilecek niteliktedir.

Bu tez çalışmasında, Karadeniz Bölgesinde ani yağışlara bağlı gelişen heyelan olayları sonrası insansız hava aracından elde edilen verilere nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı uygulanarak heyelanların hızlı haritalanmasına yönelik modeller geliştirilmiştir. Bu kapsamda Bartın – Kurucaşile ve Rize – Çayeli olmak üzere iki adet araştırma sahası seçilmiştir. Seçilen alanlarda heyelanların haritalanmasına yönelik modeller geliştirilip test alanlarındaki başarıları araştırılmıştır. Geliştirilen modellerle elde edilen heyelanlar uzman tarafından üretilen heyelanlarla sayısal ve alansal bazda karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi sonucunda heyelan sayısına göre %86,27 ve alana göre %83,01’lük doğruluk oranı ile heyelanların haritalanabileceği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Nense tabanlı sınıflandırma, İHA, Heyelan, Karadeniz Bölgesi

ABSTRACT

DETECTION OF SHALLOW LANDSLIDES WITH OBJECT BASED CLASSIFICATION APPROACH FROM UNMANNED AERIAL VEHICLE DATA

Resul ÇÖMERT

Department of Remote Sensing and Geographic Information Systems

Anadolu University, Graduate School of Sciences, August 2018

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Uğur AVDAN

(Co - Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Tolga GÖRÜM)

The Black Sea Region is one of the most landslide prone area due to the high slope topography, heavy rainfall and highly weathered hillslope material conditions in Turkey. Generating of landslide inventory maps are first step producing landslide susceptibility maps of the region. Terrestrial methods for mapping the landslides occurrence to the region are time consuming and costly due to the conditions of the region. Landslide mapping based on satellite images and aerial photographs taken from airplanes has some limitation factors such as climatic conditions, cost and limited repetitive measurement capacities. In addition, visual interpretation-based landslide mapping, which is based on satellite images and aerial photographs, is time consuming. Therefore, the data collection based on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and generation of landslide event inventory maps by object-based classification approach through this data can be superior in terms of speed and cost compared to other methods.

In this thesis study, a semi-automatic model was developed by object-based classification approach for rapid mapping of landslides from data obtained from unmanned aerial vehicles after major landslide events in the Black Sea Region. Within this scope, two research areas were selected, namely Bartın - Kurucaşile and Rize – Çayeli. Landslide mapping Models have been developed in the selected areas and the successes of the models have been investigated in the test areas. The landslides obtained with the developed models have been compared with the landslides produced by the experts in numerical and area based. As a result of the comparison process, landslides can be mapped with an accuracy rate of 86.27% according to the number of landslides and 83.01% according to the landslides area.

Keywords: Object based classification, UAV, Landslide, Black Sea Region

TEŞEKKÜR

Tez sürecim boyunca bilgi ve birikimlerini benimle paylaşan, her konuda ve koşulda desteklerini benden eksik etmeyen, tecrübe ve deneyimleri ile önümü açan, tez sürecimin verimli ve kusursuz bir şekilde ilerlemesini sağlayan tez danışmanlarım Doç. Dr. Uğur AVDAN ve Doç. Dr. Tolga GÖRÜM'e, doktora tez konumun belirlenmesi sürecinden başlayıp, tezin bitimine kadar geçen her aşamada mesleki bilgi birikimini benimle cömertçe paylaşan, tezimin şekillenmesinde büyük katkılar veren Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU'na, Tez İzleme Komitelerinde tez sürecinin sağlıklı bir şekilde ilerlemesine ve tezimin şekillenmesinde tecrübe ve deneyimleri ile büyük katkılar sunan Prof. Dr. Yasin Dursun SARI'ya, tezimi inceleyip görüş ve önerilerini benimle paylaşan Doç. Dr. Murat UYSAL ve Dr. Öğr. Üyesi Hakan UYGUÇGİL'e, tez sürecim boyunca her türlü desteği veren, arazi çalışmalarında benimle beraber büyük bir özveri ile çalışan değerli arkadaşım Serhan TUNCER'e, Çayeli arazi çalışmalarımın sorunsuz bir şekilde geçmesini sağlayan ve arazi çalışmalarına büyük destekler veren kıymetli arkadaşım Cüneyt ÇUKUR'a, Çayeli arazi çalışmalarında her türlü kolaylığı sağlayan Kaptanpaşa, Çukurluhoca, Yeşiltepe ve Gürpınar köyleri muhtarlarına ve halkına, tez sürecim boyunca desteklerini benden eksik etmeyen değerli arkadaşlarım Dilek Küçük MATCI, Sunay MUTLU, Gordana JOVANOVSKA KAPLAN ve Onur KAPLAN'a, tez çalışmalarım boyunca her türlü fedakârlığı gösterip bana uygun çalışma ortamı sunan Anadolu Üniversitesi Yer ve Uzay Bilimleri Enstitüsü personeline ve Gümüşhane Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü personeline, hayatımın her aşamasında olduğu gibi tez sürecimde de en ufak tereddüt göstermeden her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, varlıkları ile bana güç veren sevgili aileme en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Resul ÇÖMERT

Ağustos 2018

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

.....
Resul ÇÖMERT

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ	xiv
KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Heyelanlar.....	1
1.2. Önceki Çalışmaların Genel Değerlendirmesi.....	4
1.2.1. Nesne tabanlı sınıflandırma ile heyelanların haritalanması.....	5
1.3. Problemin Tanımı ve Çalışmanın Amacı.....	8
1.4. Araştırma Soruları.....	10
1.5. Yöntem.....	10
1.6. Tezin İçeriği	12
2. ARAŞTIRMA SAHALARININ GENEL ÖZELLİKLERİ	13
2.1. Bartın Kurucaşile Araştırma Sahası.....	13
2.1.1. Çalışma sahasının konumu	13
2.1.2. Jeolojik özellikleri.....	14
2.1.3. Morfolojik özellikler	15
2.1.4. İklim ve bitki örtüsü	16

2.2. Rize Çayeli Araştırma Sahası	17
2.2.1. Çalışma sahasının konumu	17
2.2.2. Jeolojik özellikleri.....	18
2.2.3. Morfolojik özellikler	19
2.2.4. İklim ve bitki örtüsü	20
3. TEMEL KAVRAMLAR VE YÖNTEM.....	22
3.1. Heyelanlara Ait Temel Kavramlar.....	22
3.1.1. Heyelanların sınıflandırılması.....	23
3.1.2. Heyelan envanter haritaları.....	24
3.2. Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi.....	26
3.2.1. Görüntü segmentasyonu (görüntü nesnesi oluşturma)	26
3.2.2 Görüntü nesnesi metrikleri.....	31
3.2.3. Sınıflandırma yöntemleri.....	35
3.2.4. Doğruluk analizi	37
4. İNSANSIZ HAVA ARACI GÖRÜNTÜLERİNDEN ELDE EDİLEN ÜRÜNLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	40
4.1. Tez Çalışması Kapsamında Kullanılan İnsansız Hava Aracı	40
4.2. İHA Sistemi ile Veri Toplama İşlemleri.....	41
4.3. Veri İşleme..	44
4.4. Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Değerlendirilmesi.....	50
4.5. Uzman Heyelan Olay Envanter Haritalarının Oluşturulması.....	53
5. YOĞUN ORMAN ALANLARINDAKİ HEYELANLARININ HARİTALANMASI.....	55
5.1. Bartın Kurucaşile Heyelanları Olay Bilgisi	55
5.2. Çalışma Alanına Ait Verilerin Elde Edilmesi.....	56

	<u>Sayfa</u>
5.3. Verilerin İşlenmesi	57
5.4. Heyelanların Haritalanması.....	58
5.4.1. Görüntü segmentasyonu	59
5.4.2. Görüntü nesnelerinin sınıflandırılması	62
5.5. Bulgular ve Tartışmalar	69
5.5.1. Segmentasyon aşamasına ait sonuçlar	69
5.5.2. Sınıflandırma aşamasına ait sonuçlar.....	70
6. KARMAŞIK ALANLAR ÜZERİNDE HEYELANLARIN HARİTALANMASI.....	81
6.1. Rize Çayeli Heyelanları Olay Bilgisi	81
6.2. Çalışma Alanına Ait Verilerin Elde Edilmesi.....	82
6.3. Verilerin İşlenmesi	83
6.4. Heyelanların Haritalanması.....	84
6.4.1. Görüntü segmentasyonu	85
6.4.2. Görüntü nesnelerinin sınıflandırılması	86
6.5. Bulgular ve Tartışmalar	93
6.5.1. Segmentasyon aşamalarına ait sonuçlar	93
6.5.2. Sınıflandırma aşamasına ait sonuçlar	94
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	108
7.1. Çalışma Kapsamında Elde Edilen Sonuçlar.....	108
7.2. Çalışma Sonucundaki Öneriler.....	113
KAYNAKÇA.....	114
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Dünya genelinde meydana gelen afetlere göre ölüm sayıları (http-3)	1
Şekil 1.2. Tez çalışması kapsamında uygulanan iş akışı	12
Şekil 2.1. Kurucaşile araştırma sahasının genel görünümü.....	14
Şekil 2.2. 1964 – 2017 yılları arası Bartın ilinin aylara göre aylık ortalama sıcaklık, ortalama en düşük ve ortalama en yüksek sıcaklık değerleri (http-4).	16
Şekil 2.3. 1964 – 2017 yıllarında Bartın ili aylara göre ortalama yağış değerleri (http-4)	17
Şekil 2.4. Çayeli araştırma sahasının genel görünümü.....	18
Şekil 2.5. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nce yayımlanan 1928–2017 yılları arasında Rize ili aylık ortalama en düşük, ortalama ve ortalama en yüksek sıcaklık değerleri (°C) (http-5)	20
Şekil 2.6. Rize ili 1928 – 2017 yılları arası aylara göre ortalama yağış değerleri (mm) (http-5)	21
Şekil 3.1. Genel bir heyelana ait unsurlar (http-2)	22
Şekil 3.2. Görüntünün segmentasyon işlemi ile piksel seviyesinden görüntü nesnesi seviyesine dönüştürülmesi	27
Şekil 3.3. Mavi, kırmızı ve yeşil bantlardan oluşan ortofoto görüntüye farklı ölçek parametreleri uygulandığında elde edilen görüntü nesnelerinin boyutları	31
Şekil 3.4. Doku hesaplamalarında kullanılan farklı açılar için piksel komşulukları (Uça Avcı, 2017).	34
Şekil 3.5. En yaygın kullanılan dokusal metrikler x : satır sayısı; y : sütun sayısı; $P_{x,y}$: matrisin x,y koordinatlarında yer alan pikselin normalize değeri; N : satır veya sütun sayısı; μ : GLCM ortalama değeri; σ : GLCM standart sapması (Uça Avcı, 2017).	35
Şekil 3.6. Ölçüt kriterlerinin tanımlanması. (a) Eşik değeri ile tanımlanması. (b) Dağılım fonksiyonu ile tanımlanması (Uça Avcı, 2017).	37

Şekil 4.1. Sensefly eBee insansız hava aracının görünümü	40
Şekil 4.2. eMotion -3 yazılımında hazırlanmış uçuş planı örneği	43
Şekil 4.3. Pix4D Mapper Pro vers. 4.2.25 yazılımında öncül işleme sonucu elde edilen bağlantı noktaları örneği	46
Şekil 4.4. Veri işleme aşamasında üretilen yoğun nokta bulutu verisi, 3 boyutlu katı model, nokta bulutunun sınıflandırılması sonucu elde edilen yer ve yol yüzeyi noktaları ile yer üstü noktaları.....	48
Şekil 4.5. Veri işleme aşaması sonucunda üretilen ortomozaik, gri seviyeli görüntü, sayısal yükseklik modeli ve sayısal arazi modeli örnekleri	49
Şekil 4.6. Yol profillerinin SYM ve SAM verileri üzerindeki değişimi: (a): geniş yol üzerindeki değişim; (b): dar yol üzerindeki değişim	51
Şekil 4.7. Yol detaylarının SYM ve SAM verisinden üretilen eğim haritaları üzerindeki ayırt edilebilirliği	52
Şekil 5.1. Kurucaşile alanı heyelan haritalaması iş akış şeması.....	55
Şekil 5.2. Test sahası olarak seçilen alanların Google Earth görüntüsü üzerinden görünüşü.....	56
Şekil 5.3. Kurucaşile alanında seçilen test sahalarında yer alan heyelanların Alan 1 ve Alan 2’de görülen yeşillenme miktarları	57
Şekil 5.4. Bartın – Kurucaşile alanına ait model geliştirme ve test alanları.....	58
Şekil 5.5. Farklı katman kombinasyonlarına göre yapılan segmentasyon işlemi sonuçları	61
Şekil 5.6. Bütünlük parametresinin görüntü nesnelere etkisi	62
Şekil 5.7. Heyelan alanlarının haritalanması için geliştirilen kural seti adımları.....	63
Şekil 5.8. Görüntü nesnelerinin birleştirilerek bütüncül heyelanların oluşturulması	66
Şekil 5.9. Heyelan içine düşen farklı sınıflara ait alanların heyelan alanına dahil edilmesi.....	68
Şekil 5.10. Sınıflandırma işlemi sonucunda elde edilen sonuç harita	68

Şekil 5.11. Segmentasyon aşamasında eğim ve SYM verilerinin kullanılması sonucu heyelan içinde oluşan görüntü nesneleri	70
Şekil 5.12. Uzman tarafından üretilen heyelanlar ile nesne tabanlı görüntü analizi ile çıkartılan heyelanların karşılaştırılması	71
Şekil 5.13. Heyelan sayısına göre yapılan doğruluk analizinde doğru olarak kabul edilen heyelanlar (a): ağaçlardan dolayı çıkarılamayan heyelan parçaları, (b): yoldan dolayı çıkarılamayan heyelan parçaları.....	72
Şekil 5.14. Analizi sonucu yanlış çıkarılan heyelan örnekleri: (a): yolların alt kenarında yer alan toprak atıkları; (b): orman içinde kalan dar yollar; (c): dar çevreli dere yatağı.....	73
Şekil 5.15. Analiz sonucu çıkarılamayan heyelan alanlarına ait örnekler	74
Şekil 5.16. Alan bazlı doğruluk analizinde sonuçların kalitesini etkileyen örnek alanlar	75
Şekil 5.17. Kurucaşile test alanına ait çıkarılan heyelanların sonuç haritası.....	76
Şekil 5.18. Test alanı üzerinde model alanında farklı arazi kullanım alanlarında yanlış çıkarılan heyelanlar.	77
Şekil 6.1. Rize Çayeli Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından (OMGİ) elde edilen 15 Eylül – 15 Ekim tarihleri arası yağış bilgileri	82
Şekil 6.2. Çayeli araştırma sahası model ve test sahaları	84
Şekil 6.3. Çayeli model geliştirme alanında uygulanan heyelanların haritalanmasında uygulanan kural seti akışı	87
Şekil 6.4. Çayeli model geliştirme alanı sonuç sınıflandırma haritası	93
Şekil 6.5. Farklı ölçek parametrelerine göre görüntü nesnelerinin boyutlarının değişimi	94
Şekil 6.6. Çayeli model geliştirme alanında uzman tarafından üretilen heyelanlar ile analizi sonucu çıkartılan heyelanların karşılaştırılması	95
Şekil 6.7. Analiz ile çıkarılamayan küçük heyelan örnekleri	97

Sayfa

Şekil 6.8. Analiz ile çıkarılamayan eğimi % 30'dan küçük heyelan örnekleri	97
Şekil 6.9. Analiz ile yanlış çıkarılan heyelan örnekleri	98
Şekil 6.10. Analiz sonucu alansal doğruluk kalitesini etkileyen nedenler	99
Şekil 6.11. Çayeli test alanı 1'e ait çıkarılan heyelanların karşılaştırılması	100
Şekil 6.12. Çayeli test alanı 2'ye ait çıkarılan heyelanların karşılaştırılması	101
Şekil 6.13. Analiz ve uzman tarafından çıkarılan heyelan örnekleri	106
Şekil 6.14. Tekil olarak çıkarılamayan heyelan örnekleri	107

TABLÖLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1. Heyelanların genel oluş nedenleri (http-1, http-3).....	2
Tablo 3.1. Cruden ve Varnes (1996)'ya göre heyelanların sınıflandırılması.....	23
Tablo 3.2. Heyelanların alan bazlı olarak sınıflandırılması	24
Tablo 3.3. Heyelanların derinliklerine göre sınıflandırılması.....	24
Tablo 4.1. Sensefly eBee insansız hava aracının teknik özellikleri	41
Tablo 4.2. Araştırma sahalarına ait uzman tarafından üretilen heyelan sayıları.....	54
Tablo 5.1. Bartın Kurucaşile Alan 1 ormanlık alanına yönelik yapılan veri toplama aşamasına ait uçuş bilgileri	57
Tablo 5. 2. Sınıflandırma işleminde kullanılan parametreler ve eşik değerleri	64
Tablo 5. 3. Kurucaşile model alanına ait heyelan sayısı tabanlı doğruluk analizi	72
Tablo 5.4. Kurucaşile model alanında çıkarılan heyelanların alan bazlı doğruluk değerleri	74
Tablo 5. 5. Kurucaşile test alanına ait heyelan sayısı tabanlı doğruluk analizi	76
Tablo 5.6. Kurucaşile model alanında çıkarılan heyelanların alan bazlı doğruluk analizi	78
Tablo 6.1. Rize – Çayeli çalışma sahasına yapılan uçuşlara ait bilgiler	83
Tablo 6.2. Çayeli model geliştirme alanında heyelanların haritalanması için kullanılan parametreler ve eşik değerleri.....	88
Tablo 6.3. Çayeli model geliştirme alanı, heyelan sayısına bağlı yapılan doğruluk analizi.....	96
Tablo 6.4. Çayeli model geliştirme alanı alan bazlı doğruluk değerleri	98
Tablo 6.5. Çayeli test alanlarına ait heyelan sayısı bazlı doğruluk analizi sonuçları...	102
Tablo 6.6. Çayeli test alanlarına ait alan bazlı doğruluk analizi sonuçları	103

KISALTMALAR DİZİNİ

EGI	: Aşırı Yeşillik İndeksi
GLCM	: Grey Level Cooccurrence Matrix (Gri Düzey Eş Oluşum Matrisleri)
GNSS	: Global Navigation Satellite System (Global Navigasyon Uydu Sistemi)
GRVI	:Yeşil Bant Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi
İHA	:İnsansız Hava Aracı
KBO	: Kırmızı Bant Oranı
KMBI	: Kırmızı Yeşil Fark Bant İndeksi
LİDAR	: Light Detection And Ranging (Işık Tespiti ve Mesafe Ölçme)
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index (Normalize Edilmiş Fark Bitki İndeksi)
OMGİ	: Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
PPK	: Post-Processing Kinematic (Ölçü Sonrası Değerlendirme)
RTK	: Real Time Kinematic (Gerçek Zamanlı Kinematik)
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SYM	: Sayısal Yüzey Modeli
YBO	: Yeşil Bant Oranı
YMBI	: Yeşil Mavi Fark Bant İndeksi

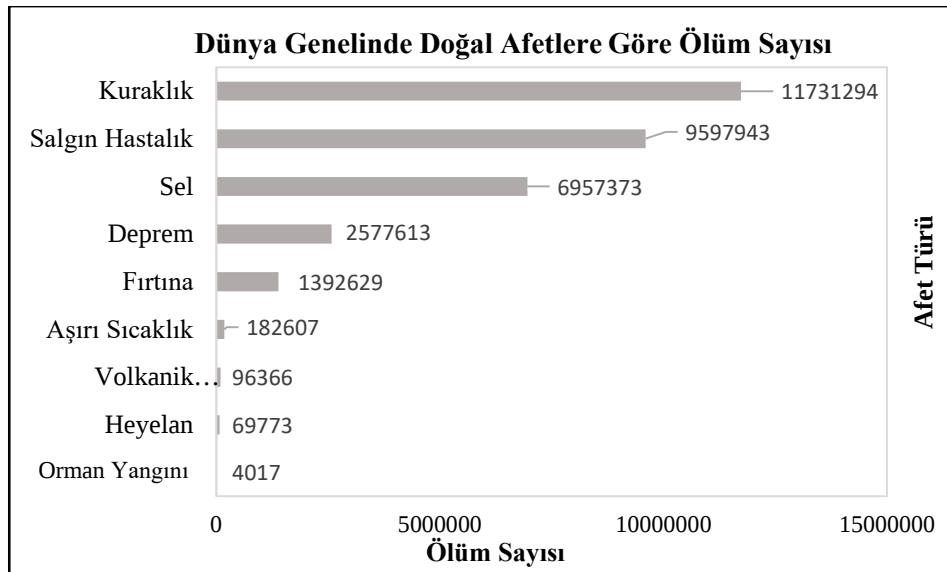
1. GİRİŞ

Bu bölümde tez çalışmasının alt yapısını oluşturan bilgiler, çalışmanın amacı, cevap aranacak sorular ve tezin genel içeriği hakkında bilgiler verilmiştir.

1.1. Heyelanlar

İnsanlar ve insan yerleşmeleri üzerinde fiziksel, ekonomik, sosyal ve çevresel kayıplara neden olan, normal yaşamı ve insan faaliyetlerini durdurarak veya kesintiye uğratarak toplulukları etkileyen doğa, teknolojik ve insan kökenli olaylara afet adı verilmektedir. Bu afet türlerinden jeolojik, morfolojik, hidrolojik ve meteorolojik değişimlerinin yol açtığı afetler doğa kökenli afetler olarak adlandırılmaktadır (Ergünay, 2007). Heyelanlar doğa kökenli afetlerden birisidir. Heyelanlar genel olarak, bir yamaçtaki kaya, molozların veya toprak zeminin yamaç aşağı doğru hareket etmesi olarak tanımlanmaktadır (Cruden, 1991). Ana afetlerden birisi olan heyelanlar can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Bunun yanında heyelanlar kentleşmeye zarar vermekte, tarım ve orman alanlarının yok olmasına neden olmaktadır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu 2001) .

Dünya genelinde ölümle sonuçlanan doğal afetler ele alındığında heyelanlar sekizinci büyük doğal afet olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 1.1). Heyelanlardan dolayı 1900 yılından 2018 yılına kadar kayıtlı olan yaklaşık 69773 kişi hayatını kaybetmiş, yaklaşık 14212872 kişi heyelanlardan etkilenmiş ve milyonlarca dolarlık hasar oluşmuştur (http-1).



Şekil 1.1. Dünya genelinde meydana gelen afetlere göre ölüm sayıları (http-3)

Heyelanlar genel olarak jeolojik, jeomorfolojik, fiziksel ve insan etkilerinden dolayı meydana gelmektedir. Tablo 1.1’de genel olarak heyelanların oluşmasına neden olan etkenler detaylı olarak verilmiştir (http-1; http-3).

Tablo 1.1. Heyelanların genel oluş nedenleri (http-1, http-3)

Heyelan Nedenleri	Alt Nedenler
Jeolojik Nedenler	• Zayıf veya hassas malzemeler • Deforme olmuş ve ezilmiş malzemeler • Makaslanmış, eklemli veya çatlak malzemeler • Ters yönlü süreksizlik (tabakaların eğimlenmesi, şistozite, fay, uyumsuzluk, litolojik kontakt vb.) • Malzemelerin geçirgenliğinde ve / veya dayanımındaki farklılık
Jeomorfolojik Nedenler	• Tektonik veya volkanik yükselme • Buzul ribaandı • Eğik burunun veya yanal kenarların dalga, dalga veya buzul erozyonu • Yeraltı erozyonu (çözüm, borulama) • Biriktirme yükleme eğimi veya tepesi • Bitki örtüsünün ortadan kalkması (yangın, kuraklık) • Donma ve çözülme • Büzüşme ve genleşmeye bağlı ayrışma
Fiziksel Nedenler	• Şiddetli ani yağış • Ani kar erimesi • Uzun süreli yağış • Taşkınlar • Depremler • Volkanik aktivite • Donma-çözünme • Şişme
İnsan Nedenleri	• Şev eteklerinin kazılması • Şev üstüne aşırı yük bindirme • Ormansızlaştırma • Sulama • Madencilik faaliyetleri • Yapay Titreşim • Su Sızıntıları

Türkiye, tektonik oluşumu, jeomorfolojik özellikleri, jeolojik yapısı ve iklim koşulları bakımından doğal afet tehlikesinin sıklıkla gözlendiği bir ülkedir. Ülkede meydana gelen doğal olayları can kayıplarına, yaralanmalara ve ekonomik zararlara neden olmasından dolayı afet sonucu doğurmaktadır. Türkiye’de meydana gelen depremler, sel baskınları, heyelanlar, kaya düşmesi, çığ düşmesi, kuraklık ve erozyon başlıca görülen doğal afetleridir. Doğal afeti araştırmaları esas alındığında heyelanlar, afet olay sayısına göre ilk sırada yer alırken, etkilenen afetzede sayısına göre

depremlerden sonra ikinci sırada yer almaktadır (Ergünay, 2007; Gökçe vd., 2008; Çan vd., 2013).

Türkiye’de ölümle sonuçlanan heyelan sayısının son yıllarda artış gösterdiği görülmektedir. Haque vd. (2016) tarafından yapılan ve 1995 –2015 yıllarını kapsayan ve Türkiye dahil 27 Avrupa ülkesini içeren araştırma sonuçlarına göre, bu ülkelerde toplamda 476 ölümcül heyelan meydana gelmiştir. Bu heyelanlar sonucunda 1370 kişi yaşamını yitirmiş ve 784 kişi yaralanmıştır. 335 ölüm sayısı ile Türkiye Avrupa ülkeleri içinde en yüksek ölümcül heyelanlara maruz kalan ülkedir. Yapılan araştırmaya göre birçok ülkede heyelanlar yirmi yıllık periyotta rastgele meydana gelirken, Türkiye ve İtalya’da özellikle son beş yılda meydana geldiği görülmektedir. Oluşan heyelanlar Türkiye açısından konumsal olarak incelendiğinde heyelanların özellikle ılıman iklime sahip dağlık Türkiye’nin kuzey doğusunda meydana geldiği çalışma kapsamında vurgulanmaktadır (Haque vd., 2016).

Türkiye’de başta Karadeniz bölgesi olmak üzere İç ve Doğu Anadolu Bölgelerinde, yoğun olarak heyelanalar meydana gelmektedir (Ergünay, 2007). Yıllık yağış miktarının fazla olması, jeolojik özellikleri, engebeli ve sarp topoğrafyası nedeni ile Karadeniz Bölgesi Türkiye’de en fazla heyelanın meydana geldiği alanlardır (Dağ, 2007). Özellikle Doğu Karadeniz bölgesinde Rize, Trabzon illeri, Orta ve Batı Karadeniz bölgesinde Karabük, Bartın, Zonguldak ve Kastamonu illerinde yoğun heyelan olayları ile karşılaşilmektedir (Gökçe vd., 2008).

Karadeniz Bölgesinde, bölgenin topoğrafik özelliklerinden dolayı yerleşim alanları sınırlıdır. Artan nüfusa paralel olarak, bölgede oluşan yerleşim yerleri ve yapılan mühendislik yapıları (yol, baraj, köprü vb.) bölgenin heyelan riskleri göz önüne alınmadan plansız bir şekilde ilerlemektedir (Dağ, 2007). Bu durum bölgede meydana gelen heyelanlar sonucunda hem can hem de ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Ayrıca heyelanlardan dolayı orman ve tarım alanları ciddi zararlar görmektedir.

Heyelanlardan dolayı meydana gelen zararların azaltılması için, heyelanların yoğun olduğu bölgelerde yapılacak yerleşim planları ve mühendislik projelerinde alanın heyelan duyarlılık ve risk haritalarının üretilmesi gerekmektedir. Bu haritalarının üretilmesi için de bölgeye ait heyelan envanter haritalarının oluşturulması gerekmektedir. Heyelan envanter haritalarının oluşturulmasının ilk aşaması heyelanlarının konumunu ve büyüklüğünü gösteren heyelan haritalarının üretilmesi işlemidir (Lahousse vd., 2011).

Heyelanların haritalanmasına yönelik olarak geçmişten günümüze kadar birçok yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemler bölüm 1.2’de ele alınmıştır.

1.2. Önceki Çalışmaların Genel Değerlendirmesi

Bu bölümde heyelanların haritalanmasında uygulanan yöntemler anlatılmıştır. Yöntemler anlatılırken tez kapsamında uygulanan yönteme yönelik çalışmalar daha detaylı olarak verilmiştir. Heyelan envanteri oluşturmada kullanılan yöntemler aşağıdaki özetlenmiştir.

Heyelan haritalamada öncelikle kullanılan yöntem saha ölçümleri ile haritalamadır. Bu yöntem genellikle küçük tekil heyelanlar veya belirli bir zaman diliminde belirli olayların oluşturduğu küçük heyelan gruplarını içeren haritalamalar için uygulanmaktadır (Cardinali vd., 2006; Santangelo vd., 2010).

Hava fotoğraflarının görsel yorumlanması heyelanların haritalanmasında sıklıkla tercih edilen yöntemlerdendir. Özellikle streoskopik hava fotoğrafları detaylı morfolojik analiz yapmada kullanılmaktadır (Brardinoni vd., 2003; Van Westen ve Getahun 2003; Prokešová vd., 2010; Guzzetti vd., 2012)

Hava fotoğraflarının değerlendirilmesine benzer şekilde tek veya streoskopik uydu görüntülerinin görsel yorumlanması ile heyelanların haritalanması yapılabilmektedir. Uydu görüntülerinin sahip olduğu bantların kombinasyonu veya bantlardan üretilen indekslerle heyelanlara ait birçok bilgi elde edilebilmektedir (Nichol vd., 2006; Marcelino vd., 2009; Guzzetti vd., 2012).

Aktif uzaktan algılama sistemlerinden uçak veya uydu bazlı yapay açıklı RADAR (SAR) ile hava LIDAR sistemlerinden elde edilen veriler kullanılarak yapılan analizler veya görsel yorumlamalar ile heyelan haritalaması gerçekleştirilebilmektedir (McKean ve Roering 2004; Singhroy ve Molch 2004; Schulz, 2007; Razak, 2014).

Optik algılama sistemlerindeki ve görüntü işleme yöntemlerindeki gelişmelere paralel olarak heyelan haritalamada uydu görüntülerinin sınıflandırılması ile yarı otomatik olarak heyelanların haritalanması yapılabilmektedir (Danneels vd., 2007; Mondini vd., 2011).

Uydu görüntülerinin sınıflandırılmasında yaygın olarak kullanılan iki yöntem vardır. Bunlar piksel tabanlı sınıflandırma ve nesne tabanlı sınıflandırmadır. Piksel tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılarak kontrolsüz sınıflandırma yöntemi veya

kontrollü sınıflandırma yöntemleri kullanılarak heyelan haritalanması yapılabilmektedir (Borghuis vd., 2007).

Son yıllarda birçok alanda kullanılmaya başlayan optik uzaktan algılama uydu görüntülerinin konumsal çözünürlükleri artmıştır. Çözünürlüklerinin artması ile birlikte görüntünün içerdiği detay artmış ve buna bağlı olarak görüntülerdeki pikseller heterojen bir yapıya sahip olmaya başlamıştır. Bu görüntülere uygulanan piksel tabanlı sınıflandırma yöntemlerinde tuz – biber (salt – pepper) etkisi denilen anlamsız sınıf pikselleri oluşmaya başlamıştır (Long vd., 2013). Bu durum yeni sınıflandırma yöntemlerinin gelişmesi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu kapsamda nesne tabanlı sınıflandırma yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır. Nesne tabanlı sınıflandırma yönteminde benzer özelliğe sahip pikseller gruplandırılarak görüntü nesneleri oluşturulmakta ve sınıflandırma işlemi görüntü nesneleri üzerinden yapılmaktadır. Ayrıca piksel tabanlı sınıflandırmadan farklı olarak heyelanların çıkarılması işleminde nesne tabanlı sınıflandırma işleminde görüntü nesnelerinin spektral, dokusal, geometrik, morfolojik özellikler ve uzman bilgileri sınıflandırma işlemine dahil edilebilmektedir (Martha, 2011).

Günümüzde heyelanların haritalanması işleminde nesne tabanlı sınıflandırma yoğunlukla tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Sadece yüksek çözünürlüklü değil, orta çözünürlüklü görüntülere, LIDAR verilerinden üretilen sayısal yükseklik modelleri ve türevlerine uygulanarak heyelan çıkarma işlemi gerçekleştirilen çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar Bölüm 1.2.1’de özetlenmiştir.

1.2.1. Nesne tabanlı sınıflandırma ile heyelanların haritalanması

Tez konusu olmasından dolayı nesne tabanlı sınıflandırma ile heyelanların çıkarılmasına yönelik geçmiş dönem çalışmaları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu kapsamda geçmiş dönemde nesne tabanlı sınıflandırma ile heyelanların haritalanmasına yönelik yapılan çalışmalar aşağıdaki gibidir.

Nesne tabanlı sınıflandırma genel olarak iki ana aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalardan birincisi görüntü segmentasyonu diğeri ise sınıflandırmadır. Görüntü segmentasyonu aşamasında benzer özelliklere sahip pikseller kümelenerek görüntü nesneler oluşturulmaktadır. Sınıflandırma aşamasında ise kural tabanlı veya makine öğrenme algoritmaları gibi sınıflandırma yöntemleri uygulanarak görüntü nesneler oluşturulan sınıflara atanmaktadır (Lang, 2008).

Görüntü segmentasyonu işlemi için son yıllarda birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden en çok kullanılan çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemidir (Dey vd., 2010). Nesne tabanlı heyelan haritalama çalışmalarında da en fazla tercih edilen yöntem çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemidir. Tez çalışmasına altlık oluşturan araştırmaların hemen hemen hepsinde çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemi görüntü nesnelerinin üretilmesi için kullanılmıştır (Martha vd., 2010; Lahousse vd., 2011; Lu vd., 2011; Stumpf ve Kerle 2011; Aksoy ve Ercanoglu 2012; Hölbling vd., 2012; Blaschke vd., 2014; Dou vd., 2015; Li vd., 2015; Martha vd., 2016; Chen vd., 2017; Mezaal vd., 2017; Keyport vd., 2018).

Segmentasyon aşaması sonucunda oluşturulan görüntü nesnelerinde heyelanların haritalanması için farklı yöntemler uygulanabilmektedir. Literatürde en çok uygulanan yöntem kural tabanlı sınıflandırma yöntemidir (Martha vd., 2010; Lahousse vd., 2011; Lu vd., 2011; Martha vd., 2011; Rau vd., 2011; Aksoy ve Ercanoglu 2012; Blaschke vd., 2014; Eisank vd., 2014; Martha vd., 2016). Kural tabanlı sınıflandırmanın yanında makine öğrenme algoritmaları kullanılarak sınıflandırma işlemi yapılabilmektedir. Literatürde rastgele orman (Stumpf ve Kerle 2011; Li vd., 2015; Chen vd., 2017), destek vektör makineleri (Li vd., 2015), genetik algoritması (Dou vd., 2015), matematiksel morfoloji (Chen vd., 2017) ve yapay sinir ağları (Mezaal vd., 2017) kullanılarak yapılan çalışmalar mevcuttur.

Nesne tabanlı heyelanların haritalanmasında, segmentasyon işlemi sonucu elde edilen görüntü nesnelerine ait görüntü metrikler kullanılmaktadır. Görüntü metrikleri, bantların spektral değerleri, bant indisleri, objelerin şekilsel özellikleri, dokusal özellikleri ve genellikle yükseklik verilerinden üretilen morfolojik ya da heyelanlara ait içeriksel verilerdir (Jensen, 2005). Yapılan çalışmalarda sınıflandırma çok sayıda görüntü nesnesi metriği kullanıldığı görülmektedir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, çalışmalarda kullanılan verilere, çalışma sahasına ve heyelan özelliklerine göre sınıflandırma metriklerinin değişkenlik gösterdiği görülmektedir. Ancak bazı çalışmalarda bazı görüntü metriğinin ortak olarak kullanılabildiği görülmektedir. Aşağıda bu metrikler özetlenmiştir.

Nesne tabanlı heyelan haritalama çalışmaları incelendiğinde genellikle optik uydu görüntülerinin yoğun olarak kullanıldığı görülmektedir. Uydu görüntülerinin kullanıldığı çalışmalarda spektral bantların ortalama değerleri, bantlardan üretilen bant indisleri

sıklıkla tercih edilmektedir. Özellikle bitki alanlarının heyelanlardan ayrılmasında normalize edilmiş fark bitki indeksi (NDVI) en çok tercih edilen görüntü metrikleri arasında yer almaktadır. Bunun yanında, yakın kızıl ötesi bant, kırmızı bandın ortalama değerleri ve parlaklık değerleri ayırıcı metrikler olarak kullanıldığı görülmektedir (Martha vd., 2010; Lahousse vd., 2011; Martha vd., 2011; Aksoy ve Ercanoglu 2012; Hölbling vd., 2012; Blaschke vd., 2014; Eisank vd., 2014).

Çalışmalar incelendiğinde sadece spektral bantlara ait metrikler heyelanların haritalanmasında her zaman yeterli olmamaktadır. Bundan dolayı optik görüntü verilerine ek olarak çalışma sahasına ait yükseklik modellerinden üretilen, eğim, bakı, eğrisellik, akış yönü gibi heyelanları ayırıcı niteliği olan morfometrik veriler sınıflandırma işlemine dahil edildiği görülmektedir. Bu veriler içinden eğim özelliğinin çok sayıda çalışmada tercih edildiği görülmektedir (Martha vd., 2010; Martha vd., 2011; Rau vd., 2011; Stumpf ve Kerle 2011; Li vd., 2015; Chen vd., 2017).

Nesne tabanlı heyelan haritalama çalışmalarında, görüntü nesnelerinin şekilsel metriklerinden de faydalanılmaktadır. Bu kapsamda görüntü nesnesinin bütünlüğü, asimetrisi, yoğunluğu, alanı, en-boy oranı vb. özellikleri kullanılmaktadır. Bu metrik özelliklerinden en-boy oranı diğerlerine göre daha fazla tercih edilen bir özellik olarak karşımıza çıkmaktadır (Aksoy ve Ercanoglu 2012; Hölbling vd., 2012; Dou vd., 2015).

Heyelanların nesne tabanlı haritalanmasında araştırmacılar tarafından kullanılan metriklerden biriside dokusal metriklerdir. Gerek uydu görüntüleri gerekse sadece yükseklik modelleri ve türevleri kullanılarak yapılan çalışmalarda bu verilerden üretilen dokusal metrikler ayırıcı özellikler olarak kullanılmaktadır. Kullanılan dokusal metrikler genellikle Gri Düzey Eş Oluşum Matrislerine (GLCM) göre üretilmektedir. Bu kapsamda spektral bantların veya yükseklik modellerinin türevlerinden GLCM'ye göre üretilen verilerin benzerlikleri, homojenlikleri, kontrastı, entropisi, korelasyonu vb. dokusal metrikleri çalışmalarda tercih edilmektedir (Martha vd., 2011; Stumpf ve Kerle 2011; Aksoy ve Ercanoglu 2012; Dou vd., 2015; Chen vd., 2017; Mezaal vd., 2017).

Nesne tabanlı heyelan haritalama çalışmalarında girdi veri olarak orta çözünürlüklü uydu görüntüleri (Aksoy ve Ercanoglu 2012), yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri (Stumpf ve Kerle 2011; Blaschke vd., 2014; Dou vd., 2015; Martha vd., 2016; Chen vd., 2017) ve LİDAR verileri (Li vd., 2015; Mezaal vd., 2017) kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalardan optik uydu görüntüleri kullanılanlarda ek veri olarak topoğrafik

haritalardan veya stereo uydu görüntülerinden üretilen sayısal yükseklik modellerinden üretilen veriler heyelanların haritalanmasında kullanılmaktadır.

İnsansız Hava Araçları (İHA) son on yılda uzaktan algılama alanında yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yeryüzüne ait çok önemli bilgiler sunan insansız hava araçları özellikle küçük alanlara yönelik yapılan çalışmalarda önemli bir veri kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. İHA sistemlerine takılan farklı algılayıcı sensörler sayesinde haritacılık uygulamaları, kentsel modelleme, afet yönetimi, heyelanların izlenmesi vb. uygulamalar yapılabilmektedir (Lelong vd., 2008).

Heyelan haritalama çalışmalarında insansız hava araçlarının kullanılmasında çok kısıtlı çalışmalar mevcuttur (Rau vd., 2011; Shi ve Liu 2015). Günümüzün güncel teknolojilerinden birisi olan İHA sistemlerinin farklı bölgelerde heyelanların haritalanmasında kullanılabilirliğinin araştırılması sınırlı olduğu gibi bu sistemlerin avantajları ve kısıtlılıkları konusunda bilgi düzeyi limitlidir. İHA sistemleri tekrarlı ölçüm kapasitesi, çok yüksek çözünürlüklü veri üretimi, uydu ve uçak bazlı sistemlere göre düşük maliyetli olması ve bulutluluktan etkilenmemesi açısından kullanıcılara önemli avantajlar sunmaktadır. Ayrıca İHA sistemleri ile elde edilen hava fotoğraflarından çok yüksek çözünürlüklü ortomozaik görüntü ve sayısal yükseklik modelleri elde edilebilmektedir.

1.3. Problemin Tanımı ve Çalışmanın Amacı

Karadeniz bölgesinde son yıllarda artan büyük heyelan olayları ile karşılaşilmektedir. Bölgenin iklimsel koşulları, sarp topoğrafyası ve yoğun bitki örtüsü bölgede oluşan heyelanların haritalanmasını zorlaştırmaktadır. Bölgede meydana gelen heyelanlar genellikle sığ heyelanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu heyelanlar iklimsel özelliklerden dolayı hızlı yeşillenmekte veya kapanmaktadır. Ayrıca bölge halkı tarafından heyelanların içine yapılar yapılabilmekte veya tarlalar oluşturulabilmektedir.

Heyelan haritalamada kullanılan yöntemler Bölüm 1.2’de verilmiştir. Bölüm 1.2 incelendiğinde saha ölçümleri ile heyelanların haritalanması tekil heyelanlar veya küçük heyelan grupları için kullanılabilecek yöntemler olarak görülmektedir. Karadeniz bölgesinde yoğun yağışlara bağlı olarak ani gelişen heyelan olaylarında yüzlerce heyelan oluşmaktadır. Saha ölçümleri ile bunların haritalanması, hem heyelanların fazla olması hem bölgenin arazi ölçümlerine uygun olmayan özelliklerinden dolayı çok fazla zaman alacaktır.

Hava fotoğraflarının veya uydu görüntülerinin görsel yorumlanmasına bağlı olarak heyelan envanterinin oluşturulması sıklıkla tercih edilen yöntemlerdendir. Ancak görsel yorumlama işlemi çok fazla zaman alan bir işlemdir. Bu işlemin başarısı kullanılan değerlendirme cihazlarının ve değerlendiricinin tecrübe ve deneyimine bağlıdır. Karadeniz Bölgesi koşullarında ani yağışlarla benzer özelliklerdeki alanlarda çok sayıda heyelan oluşmaktadır. Bu çok sayıda heyelanın uzman tarafından haritalanması aylar sürecektir bir işlemdir. Bunlara ek olarak, bölgede olay sonrası hızlı hava fotoğraflarının elde edilmesi zaman ve maliyet açısından kısıtlamalar oluşturmaktadır.

Hava fotoğraflarına benzer olarak heyelan olayı sonrası yeni çekilmiş yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin elde edilmesinde bir takım kısıtlamalar vardır. Bu kısıtlamaların başında bölgenin iklim koşullarından dolayı bulutluluk oranının fazla olması gelmektedir. Diğer bir kısıtlama Karadeniz Bölgesinin yoğun ağaçlarla kaplı bitki örtüsü ve dik yamaçlarından dolayı alandan elde edilen görüntülerde yoğun gölge problemi ile karşılaşılmasıdır. Gölge problemini azaltmak için uyduyu gölgenin az olduğu zamanlarda bölge üzerine yönlendirme ve istenilen zamanda görüntü elde etmek mümkün değildir. Ayrıca yüksek çözünürlüklü yeni çekilmiş uydu görüntüsü temini tamamen görüntü üretici firmanın ticari çıkarlarına bağlı bir durumdur. Firmalar kâr amacı ile daha fazla kâr elde edebilecekleri siparişleri öncelikli tutabilmektedir. Bundan dolayı görüntü elde edilebilmesi bir kaç ayı bulabilmektedir.

Heyelanların haritalanmasında uzaktan algılama bilgi çıkarım yöntemlerinden piksel tabanlı sınıflandırma yaklaşımı literatürde kullanılmıştır. Ancak bu yöntem orta çözünürlükteki görüntülerde başarılı sonuçlar verirken, yüksek çözünürlüklü görüntülerde anlamsız gürültü alanları üretebilmektedir. Bu bakımdan bölgede gelişen alanı büyük heyelanların haritalanmasında orta çözünürlüklü görüntüler kullanılabilirken, küçük heyelanların haritalanmasında yüksek çözünürlüklü verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla piksel tabanlı sınıflandırma yerine yüksek çözünürlüklü görüntülerde başarılı sonuçlar veren nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı kullanılması uygun olacaktır.

Yukarıda belirtilen durumlar analiz edildiğinde Karadeniz bölgesinde büyük heyelan olayları sonrası oluşan heyelanların hızlı ve hassas bir şekilde haritalanabilmesi için yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır. İnsansız hava araçları (İHA) düşük maliyeti, istenilen zamanda ve tekrarlı görüntü çekebilme olanağı sunması, bulutlu

havalarda uçuş yapabilme özelliği ve yüksek çözünürlüklü ortofoto, sayısal yükseklik modelleri sunması açısından Karadeniz Bölgesindeki heyelanların haritalanması için alternatif bir çözüm olarak kullanılabilir.

Bu tez çalışmasının amacı Karadeniz Bölgesinde meydana gelen heyelan olayları sonucu ortaya çıkan çok sayıda heyelanın hızlı ve yüksek doğrulukta haritalanmasını sağlayacak insansız hava aracı destekli hızlı heyelan haritalama yönteminin geliştirilmesidir. Bu kapsamda, tez çalışmasında, ani gelişen heyelan afetleri sonrasında, karar vericilerin kullanabileceği afet durumunu gösteren heyelan haritalarını ortaya koyacak, olay sonrası meydana gelen heyelanlara ait envanter haritaları üretilebilecek nesne tabanlı heyelan haritalama modellerinin geliştirilmesi ve geliştirilen modellerin benzer alanlarda test edilerek başarıların ölçülmesi hedeflenmiştir.

1.4. Araştırma Soruları

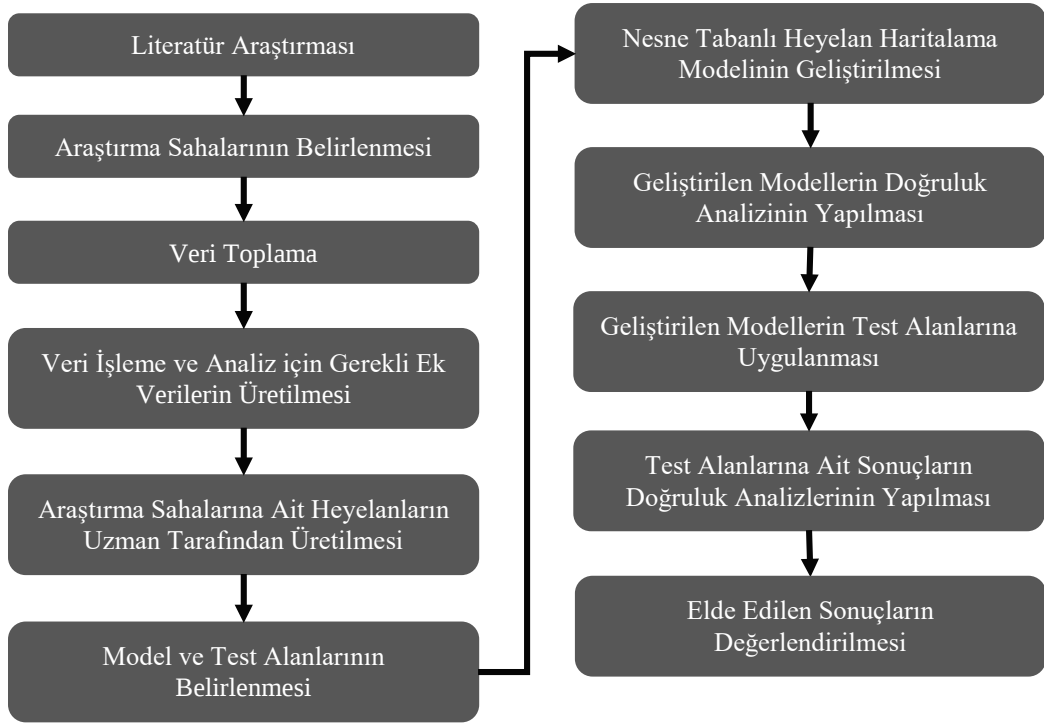
Bu bölümde tez çalışması kapsamında cevap aranan sorular aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

- İnsansız hava araçları ile Karadeniz bölgesinde veri toplama işlemindeki avantajlar ve dezavantajlar nelerdir?
- İnsansız hava araçlarından elde edilen görüntülerden üretilen Sayısal Arazi Modelinin özellikle ağaçlarla kapalı yoğun bitki örtüsü olan alanlardaki kalitesi nedir?
- İHA verilerinden üretilen ortomozaik, SYM, SAM ve bu verilerin türevlerinin segmentasyon işleminde kullanılabilirlikleri nelerdir?
- Segmentasyon işlemi için kullanılan çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemi için uygun parametreler nelerdir?
- Heyelanların, alanda yer diğer nesnelerden (bitki, yol, bina, toprak alan vb.) ayırt edilmesinde İHA verisinden üretilen hangi veri özellikleri kullanılabilir?
- Karadeniz bölgesi için uygulanabilir hızlı heyelan haritalama modeli nasıl olabilir?

1.5. Yöntem

Tez araştırması kapsamında uygulanan iş akışı Şekil 1.2’de verilmiştir. Araştırmanın ilk adımından detaylı literatür araştırması yapılarak, problemin tanımı yapılmış, çözüm aranacak sorular ortaya konulmuş ve çalışma kapsamında uygulanacak

yöntem belirlenmiştir. İkinci aşamada araştırma yapılacak sahalara belirlenmiştir. Saha belirleme çalışmalarında Karadeniz Bölgesinde meydana gelen güncel heyelan olayları takip edilmiş ve uygun bulunan heyelan olayları araştırma sahalara olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda Ağustos 2016 yılında meydana gelen Bartın Kurucaşile heyelan alanları ve Eylül 2017’de meydana gelen Rize Çayeli heyelan alanları araştırma kapsamında uygun alanlar olarak belirlenmiştir. Üçüncü aşamada belirlenen araştırma sahalaraında İHA sistemi ile veri toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Dördüncü aşamada araziden toplanan veriler işlenerek alanlara ait ortomozaik, Sayısal Yüzey Modeli (SYM), Sayısal Arazi Modeli (Mezaal vd.,), 3 boyutlu nokta bulutu ve 3 boyutlu katı model verileri üretilmiştir. Üretilen bu verilerden ise analiz işleminde kullanılacak, bant indisleri ve eğim, eğrisellik gibi ek veriler üretilmiştir. Beşinci aşamada, ortomozaik ve 3 boyutlu verilerden faydalanılarak uzman tarafından araştırma sahalaraında meydana gelen heyelanlar elle sayısallaştırma ile haritalanmıştır. Altıncı aşamada her iki çalışma sahasında model geliştirme sahası ve geliştirilen modelin test edileceği sahalaraın belirlenmesi yapılmıştır. Yedinci aşamada, model geliştirme alanlarında nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı kullanılarak heyelanların haritalanmasına yönelik kullanılacak modeller geliştirilmiştir. Sekizinci aşamada geliştirilen modellerle çıkarılan heyelanların doğrulukları, uzman tarafından üretilen heyelanlarla karşılaştırılmıştır. Dokuzuncu aşamada model alanları için geliştirilen modeller test alanlarına uygulanmıştır. Onuncu aşamada geliştirilen modellerle test alanlarında elde edilen heyelanlar, uzman tarafından üretilen heyelanlarla karşılaştırılmıştır. Son aşamada ise elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Tez çalışması kapsamında uygulanan iş akışı

1.6. Tezin İçeriği

Tez çalışması kapsamında birinci bölümde geçmiş çalışmalar ile ilgili bilgiler verilerek problemin tanımı yapılmış ve tez çalışması kapsamında cevap aranacak sorular özetlenmiştir. İkinci bölümde tez çalışması kapsamında test sahası olarak kullanılan alanlar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışma kapsamında kullanılan nesne tabanlı sınıflandırma ile ilgili hem segmentasyon hem de sınıflandırma aşamalarında kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Dördüncü bölümde çalışma kapsamında kullanılan İHA sistemi ile elde edilen görüntülerin işlenmesi ve üretilen sayısal yükseklik modellerinin kullanılabilirlikleri tartışılmıştır. Beşinci bölümde yoğun orman alanı içeren Kurucaşile araştırma sahasında yapılan kural tabanlı heyelan haritalama yöntemi anlatılmıştır. Altıncı bölümde yerleşim yerini de içeren daha karmaşık bir alan olan Çayeli araştırma sahasına ait elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Yedinci bölümde ise tüm araştırmalar kapsamında elde edilen sonuçlar ve sonuçlar doğrultusunda yapılan önerilere yer verilmiştir.

2. ARAŞTIRMA SAHALARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

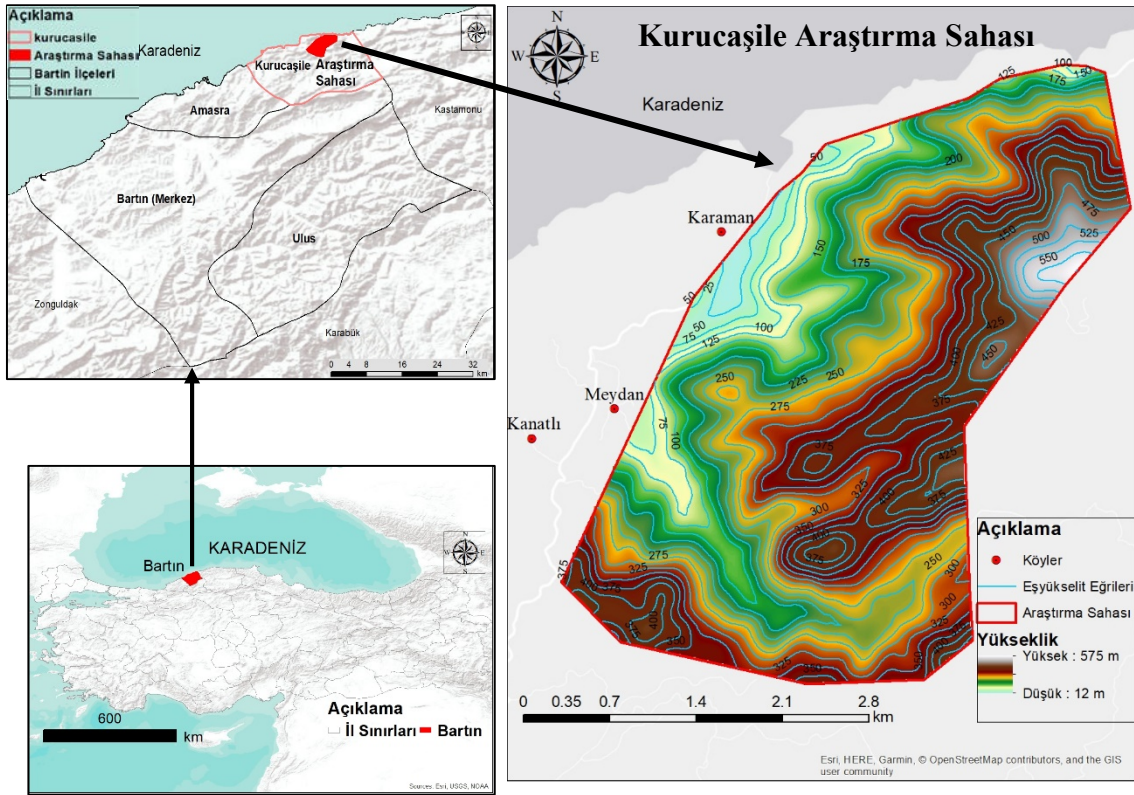
Tez çalışması kapsamında Batı Karadeniz bölgesinde yer alan Bartın Kurucaşile araştırma sahası ve Doğu Karadeniz Bölgesinde yer alan Rize Çayeli araştırma sahasına yönelik araştırmalar yapılmıştır. Araştırma sahalarında heyelanları etkileyen başlıca etkenler arasında jeolojik özellikler, kayaçların ayrışma derecesi, zemin özellikleri, morfolojik durum, yağışlar, bitki örtüsü, kazı ve akarsu oymaları gibi sebepler gelmektedir (Reis vd., 2008). Bu bölümde bu araştırma sahalarının genel özellikleri hakkında bilgiler verilecektir.

2.1. Bartın Kurucaşile Araştırma Sahası

Bu bölümde birinci araştırma sahası olan Bartın-Kurucaşile alanına ait genel bilgilere yer verilmiştir. Bu kapsamda alanın konumu, jeolojik, morfolojik, iklim ve bitki örtüsü özellikler aşağıda başlıklar halinde anlatılmıştır.

2.1.1. Çalışma sahasının konumu

Kurucaşile ilçesi Batı Karadeniz Bölgesinde Bartın iline 52 km uzaklıkta yer almaktadır. İlçenin kuzeyinde Karadeniz, güneyinde Bartın, doğusunda Cide ve batısında Amasra ilçeleri yer almaktadır. Çalışma kapsamında incelenen saha Kurucaşile ilçe merkezinin yaklaşık 7 km batısında yer alan ve genellikle ormanlık bölgeden oluşan alandır. Çalışma sahasına yakın yerleşim yerleri Karaman, Kanatlı ve Meydan köyleridir. Araştırma sahası yaklaşık 10 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kurucaşile araştırma sahasının genel görünümü

2.1.2. Jeolojik özellikleri

Çalışma alanının genel jeolojik özellikleri Özer'in 2009 yılında yapmış olduğu doktora tez çalışmasından özetlenmiştir (Özer, 2009). Araştırma sahasında en yaşlı birimler karasal çökellerden oluşan Permo-Triyas yaşlı Çakraz formasyonudur. Bu formasyonda konglomera, kumtaşı, kilitaşı birimleri ardalanmaktadır. Çakraz formasyonunu uyumlu olarak Çakrazboz formasyonu üzerlemektedir. Çakrazboz formasyonu Triyas yaşlı bir formasyon olup marn, kilitaşı, killi kireçtaşı ve siltyaşı birimlerinde oluşmaktadır. Bu formasyonun üzerine uyumsuzlukla Liyas –Dogger yaşlı kıyı ile sığ denizel ortamları temsil eden Himmetpaşa formasyonu gelmektedir. Himmetpaşa formasyonu Kumtaşı, kilitaşı, siltaşı ardalanması ve Türbidik gri yeşil renkli marn birimlerinden meydana gelmektedir. Bu formasyon sığ denizel kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşlarından oluşan ve yaşlı Geç Oksfordiyen – Berriaziye olan İnaltı formasyonu tarafından açılı veya paralel uyumsuz ve transgerif olarak üzerlenir. İnaltı formasyonu Albien – Senomaniyen'de Çukurköy formasyonu ile açısız uyumsuz olarak örtülür. Bu

formasyonun etkin birimleri kumtaşı, çakıltası, çamurtaşı, silttaşı, kireçtaşı ve marndır. İnaltı formasyonu Yemişliçay üst grubuna ait Kurucaşile ve Amasra grubu formasyonları ile örtülmektedir. Genelde volkanik etkinliğinde katıldığı karbonatlı veya ince taneli kırıntılardan meydana gelen Kurucaşile grubu, Senomaniyen yaşlı kayaçları uyumlu veya uyumsuz olarak örten kırıntılardan oluşan Kalabaklar formasyonu ile volkanik birimler, volkanoklastik kumtaşı, mikroçakıltası, kiltası ve silttaşı aralanmasından ve yer yer pelajik mikritik kireçtaşı, karbonatlı çamurtaşı, tuf ve aglomera arakatkıları içeren Göldere formasyonu, alt seviyeleri kumtaşı ve silttaşı ara seviyeli marn-kiltası aralanımından oluşan Meydan formasyonundan oluşmaktadır. Amasra grubu, alttaki birimler üzerine trangresif olarak gelen yeni bir çökel istif ile başlar. Geç Santoniyen-Kampaniyen dönemini kapsayan bu zamanda pelajik kireçtaşları, sonrasında ise volkanik ve piroklastikler gelişmiştir. Yemişliçay Üst grubu üzerine Akveren formasyonu gelmektedir. Bu formasyonda Marn, silttaşı, kiltası ve killi kireçtaşı aralanmaktadır. Yemişliçay formasyonu karbonatlı çamurtaşlarından oluşan Atbaşı formasyonu ve Eosen yaşlı silisiklastik türbiditlerden oluşan Kusuri formasyonu kesintisiz bir çökel oluşturmaktadır (Özer, 2009).

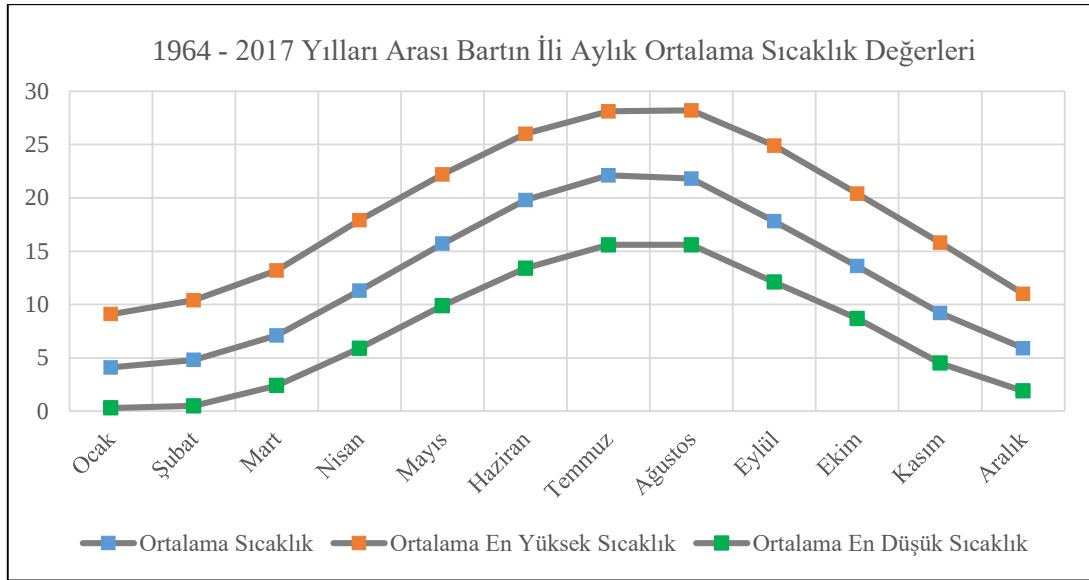
2.1.3. Morfolojik özellikler

Çalışma sahası tipik Karadeniz Bölgesinin morfolojik özelliklerini göstermektedir. Denize paralel uzanan dağ silsileri ile bunların arasında yer alan dar vadiler bölgenin genel morfolojisini oluşturmaktadır. Çalışma sahası Küre dağlarının batıya devamı olan uzantısında yer almaktadır. Yükselti tepe – dere – tepe şeklinde kırıklar halinde devam etmesinden dolayı engebeli bir yapıya sahiptir. Araştırma sahasının ortalama yüksekliği 500 m civarındadır. Bölgede topoğrafik yüksekliğin kısa mesafede ani değişmesinden dolayı topoğrafik eğim güneye doğru artmaktadır. Alandaki eğimin fazla olması ve akarsulardan dolayı yüksek kotlarda derin, aşağıya doğru genişleyen çok sayıda vadiler meydana gelmiştir. Çalışma sahası eğim ve yağışlara bağlı olarak Bartın ilinin diğer ilçelerinde olduğu gibi alanın büyük bir kısmı sel ve heyelan olaylarından dolayı erozyona maruz kalmaktadır. Ayrıca bölgedeki jeolojik birimlerin aşırı tektonizmaya maruz kalması erozyona yatkın bir morfoloji oluşturmuştur. Yağış etkisiyle yamaçlardan koparılan malzeme dere ve ırmaklara taşınmakta, ırmaklarda bu malzemeleri Karadeniz’e

depolamaktadır. Özellikle Kurucasıle ilçesinin Güney Batı kesimleri şiddetli erozyona maruz kalmaktadır (Emir, 2002; Sarı, 2007; Ekici, 2012).

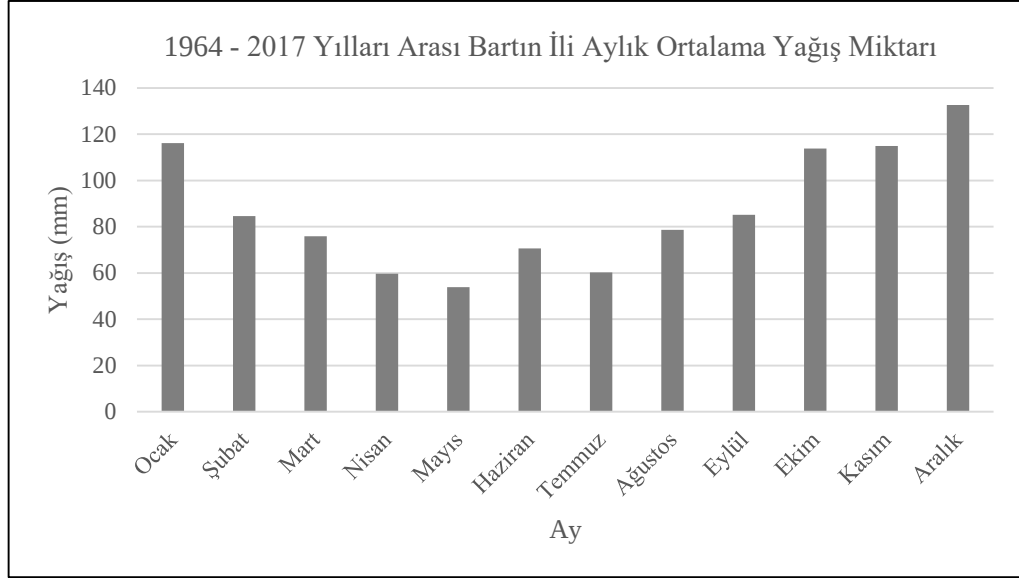
2.1.4. İklim ve bitki örtüsü

Araştırma sahası her mevsim yağış alabilen, yazları serin, kışları ılık Karadeniz bölgesi ikliminin genel özelliklerini taşımaktadır. Bartın ilinin 1964 – 2017 yılları arasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden (MGM) alınan sıcaklık verileri incelendiğinde, ilin aylık ortalama sıcaklık değeri 12,8 °C olduğu görülmektedir. Bu tarihlerde ortalama en düşük sıcaklık değeri Ocak ayı için 0,3 °C, ortalama en yüksek sıcaklık değeri Ağustos ayı için 28,2 °C olarak gözlemlenmektedir (Şekil 2.2) ([http-4](#)).



Şekil 2.2. 1964 – 2017 yılları arası Bartın ilinin aylara göre aylık ortalama sıcaklık, ortalama en düşük ve ortalama en yüksek sıcaklık değerleri ([http-4](#))

1964 – 2017 yılı yağış verilerine göre Bartın iline ait yıllık ortalama yağış miktarı 1064,20 mm olarak elde edilmiştir. Bu tarihlerde yıl içinde Bartın ilinin en yağışlı olduğu aylar, Ocak, Ekim, Kasım ve Aralık ayları olarak gözlemlenmektedir (Şekil 2.3) ([http-4](#)).



Şekil 2.3. 1964 – 2017 yıllarında Bartın ili aylara göre ortalama yağış değerleri (<http-4>)

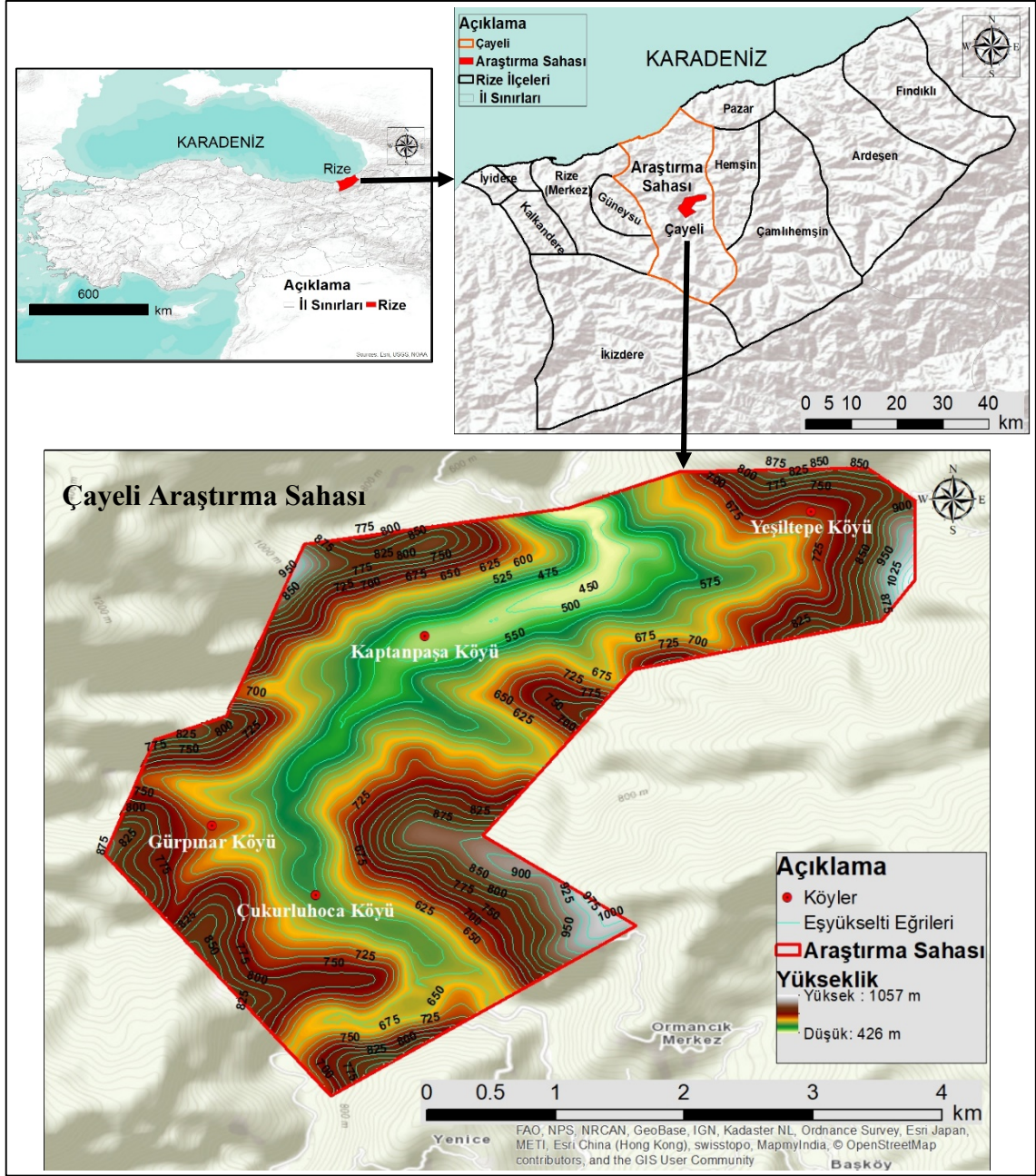
Kurucaşile ilçesi ve yakın çevresinin topoğrafya, iklim, jeoloji ve jeomorfolojik özellikleri farklılık göstermesi bitki çeşitliliğini artırmaktadır. Araştırma sahası orman varlığı açısından oldukça zengin bir yapıya sahiptir. Alanda geniş yapraklılık kayın, gürgen, karagürgan, kestane ve ıhlamur ağaç türleri gözlemlenirken, iğne yapraklı olarak kızılçam, karaçam, sarıçam, köknar ağaç türleri mevcuttur (Ekici, 2012). Ayrıca çalışma sahası içinde yer yer fındık ağaçları bölgede yer almaktadır.

2.2. Rize Çayeli Araştırma Sahası

Çalışma kapsamında ikinci araştırma sahası olarak Rize-Çayeli alanı seçilmiştir. Bu bölümde bu alana ait konumsal, jeolojik, morfolojik, iklim ve bitki örtüsü özellikleri anlatılmıştır.

2.2.1. Çalışma sahasının konumu

Çayeli ilçesi Doğu Karadeniz Bölgesinde Rize il merkezinin 18 km doğusunda yer almaktadır. Tez çalışması kapsamında incelenen alanlar ise Çayeli ilçesinin Şenöz vadisi üzerinde yer alan Kaptanpaşa köyü, Yeşiltepe köyü, Çukurluhoca köyü ve Gürpınar köyleridir. Bu köylerin il merkezine uzaklıkları yaklaşık 38 km, ilçe merkezine uzaklıkları 19 km'dir. Araştırma sahası yaklaşık 10 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Çayeli araştırma sahasının genel görünümü

2.2.2. Jeolojik özellikleri

Çalışma sahası pontid tektonik birliğinin doğu bölgesinde yer almaktadır. Doğu pontidler iç (güney) ve dış (kuzey) olmak üzere iki alt kısma ayrılmaktadır. Dış Doğu Pontidler içerisinde çoğunlukla Senoniyen ve Orta Eosen volkanik ve volkanoklastik kayalar izlenirken, Senoniyen öncesi kayalar genel olarak İç Doğu Pontidler içerisinde bulunmaktadır. Dış Doğu Pontidleri (kuzey) magmatik aktivitesinin en yoğun

izlendiği bölge olarak ifade edilmekte, buna karşılık, magmatizmanın etki alanı dışında kalan tortul havza çökellerinin yüzeylendiği bölge ise İç Doğu Pontidler (güney) olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda kaptanpaşa veya şenöz vadisi dış doğu pontidler içerisinde yer almaktadır. Çalışma sahasındaki stratigrafik istifler sırasıyla çatak formasyonu, kızılıkaya formasyonu, çağlayan formasyonu, kaçkar granitoyidi, kabaköy formasyonu ve alüvyondur.

Çatak formasyonu bazik karakterli volkanoklastik bir formasyondur. Formasyon başlıca bazalt, andezit, lav ve piroklastları ile kumtaşı, silttaşı, marn, şeyl ve kırmızı – bordo renkli killi kireçtaşı tabakalarında oluşmaktadır. Çatak formasyonunu uyumlu olarak üzerleyen asidik karakterli lav piroklastlar Kızılıkaya formasyonu olarak tanımlanır. Bu formasyon çoğunlukla riyodasitik ve dasitik lav ile piroklastlardan oluşmaktadır. Kızılıkaya formasyonu bazik karakterli volkanit, volkanoklastik ve çökel kaya aralanmasından oluşan volkano-tortul istifi olan çağlayan formasyonu tarafından üzerlenir. Formasyon genel olarak bazalt, andezit lav ve piroklastları kaya türlerinden oluşmaktadır. Formasyonun ara seviyelerinde ise kumtaşı, marn ve kırmızı – bordo renkli killi kireçtaşı birim içinde yer almaktadır. Üst Kretase yaşlı birimlerin içerisine sokulan ve granitten gabroya kadar geniş bir yelpaze içerisinde değişim gösteren intrüzif kompleks yaşına bakılmaksızın kaçkar granitoyidleri olarak tanımlanır. Üst Kretase yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ile açısal uyumsuz olarak gelen, genellikle kırıntılı çökellerle başlayan ve üst kesimlerinde volkano – tortul seviyeleri barındıran formasyon Kabaköy formasyonu olarak tanımlanır. Formasyon kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara tabakalarını içeren masif veya kalın tabakalı bol ojit ve hornblendli andezit – bazalt lav ve piroklastlarının oluşturduğu volkano – tortul bir istiften oluşur (Nefeslioğlu 2006). Stratigrafik istifteki daha yaşlı birimlerden türeyen değişik boyuttaki volkanik kökenli kum ve çakıllardan oluşmuş, kötü boylanmış, akarsu vadilerinin genişlediği ve hızlarının azaldığı denize yakın düzlük alanlarda birikmiş güncel akarsu çökelleri alüvyon olarak tanımlanmaktadır.

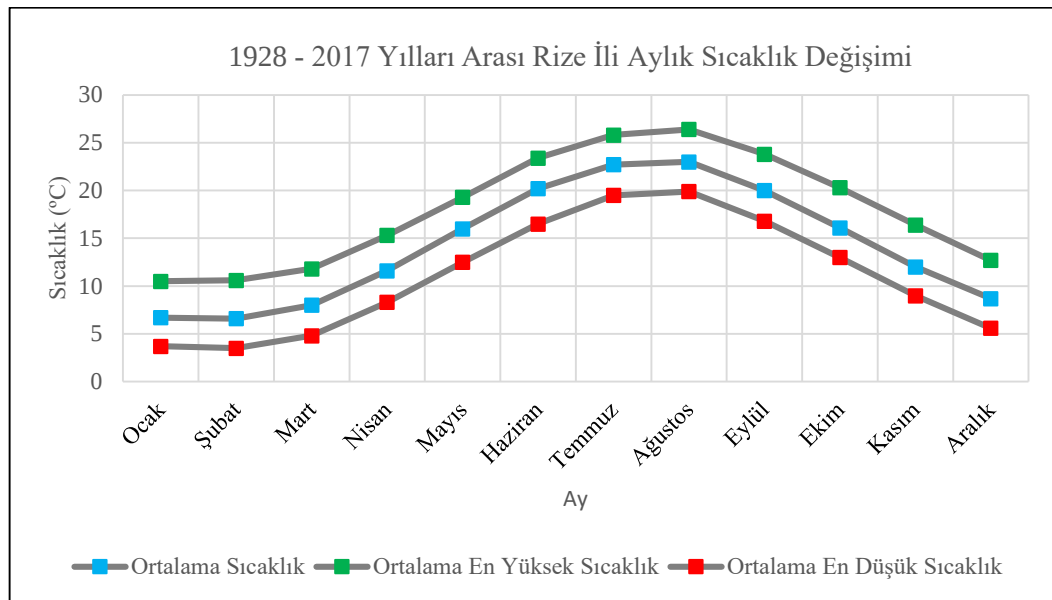
2.2.3. Morfolojik özellikler

Genel olarak Doğu Karadeniz bölgesinin morfolojik yapısı 3 grupta toplamak mümkündür. Bu gruplardan birincisini deniz ve akarsuların şekillendirdiği kıyı kesimi oluşturur. İkinci grupta doğu ve batı doğrultusunda uzanan ve yükseklikleri yer yer 3000 metreyi aşan dağlık bölgelerdir. Üçüncü grup ise yarı dağlık morfolojik özelliklere sahip

plato ve tepe alanlarıdır. Çalışma sahası ikinci grupta yer alan morfolojik özelliklere sahiptir. Çalışma sahasında yüksek rölyef özellikleri izlenmekte olup, kısa mesafede değişen topoğrafik yükseklik ve buna bağlı olarak artan topoğrafik eğimler gözlenmektedir. Kısa mesafede değişen eğim değerleri çalışma sahası içindeki drenaj özelliklerini de etkilemektedir. Yüksek eğim değerinden dolayı derelerdeki akış hızlı fazladır. Bu durum akarsular ile birlikte daha fazla malzemenin taşınmasına ve dereler boyunca yamaç topuklarının aşınmasına neden olmaktadır. Ayrıca yüksek enerjili akarsu sistemleri jeomorfolojik olarak, enine profilleri “V” şekilli vadiler meydana getirmişlerdir. Akarsuların mansap bölümünün 3 – 5 km’lik bölümlerinde eğimler az ve vadiler nispeten geniştir. Eğimli ve dar boyunca akan derelerin taşıdıkları malzemeler bu alanlarda birikmektedir. Sel olaylarında bu alanlar daha fazla etkilenmektedir.

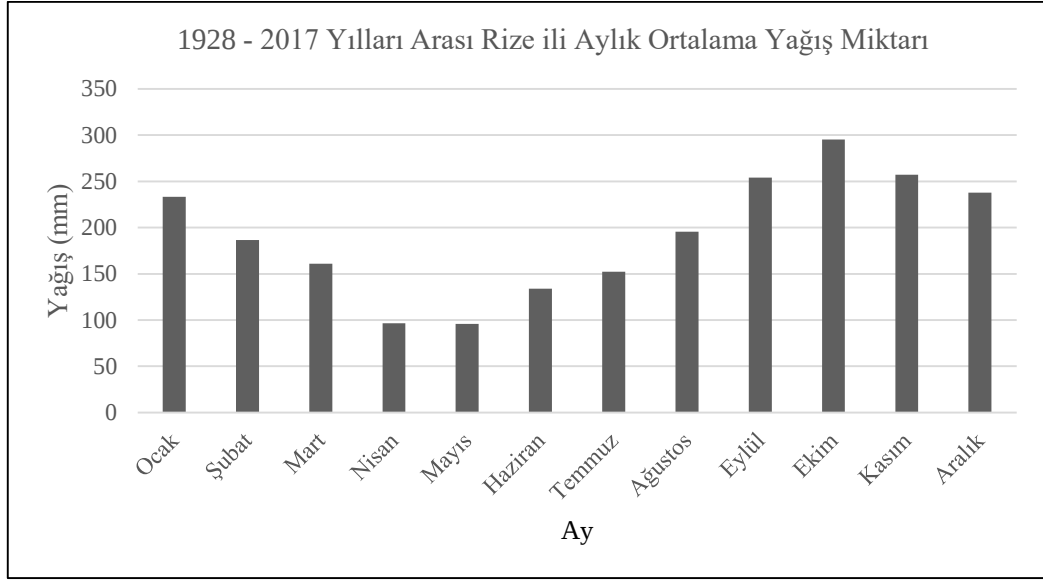
2.2.4. İklim ve bitki örtüsü

Çalışma sahasında Doğu Karadeniz Bölümüne özgü yazları serin, kışları ılık olmak üzere her mevsim bol yağışlı olan iklim koşulları hüküm sürmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün (MGM) 1928 – 2017 yılları arasındaki ölçüm değerlerine göre Rize ili geneli için aylık ortalama sıcaklık 14,3 °C olarak hesaplanmıştır. Bu tarihlerde ortalama en düşük sıcaklık değeri şubat ayı için 3,5 °C, ortalama en yüksek sıcaklık değeri Ağustos ayı için 26,4 °C olarak gözlemlenmektedir (Şekil 2.5) (http-5).



Şekil 2.5. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nce yayımlanan 1928–2017 yılları arasında Rize ili aylık ortalama en düşük, ortalama ve ortalama en yüksek sıcaklık değerleri (°C) (http-5)

Çalışma sahasının da içinde bulunduğu Rize ile Türkiye'nin en çok yağış alan bölgesidir. 1928 – 2017 verileri incelendiğinde alanın yıllık ortalama yağış miktarı 2268,6 mm'dir. Yıl içerisinde en fazla yağış Eylül, Ekim ve Kasım aylarında gözlemlenmektedir (Şekil 2.6) (<http-5>).



Şekil 2.6. Rize ili 1928 – 2017 yılları arası aylara göre ortalama yağış değerleri (mm) (<http-5>)

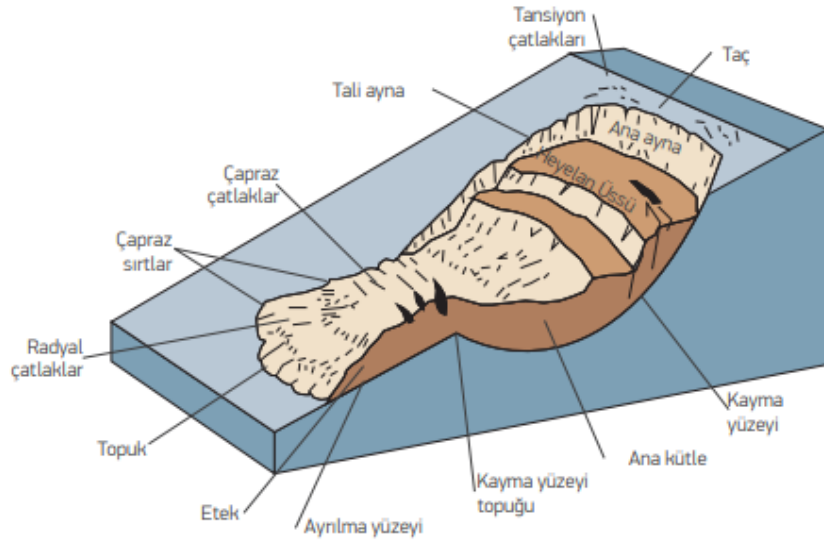
Hemen hemen her mevsim bol yağışlı bir iklimin hüküm sürmesi, yörede bitki örtüsünün gür ve çeşitli olmasına neden olmuştur. İklimle bağlı olarak gelişmiş olan bitki örtüsü topoğrafik yüksekliklere göre değişim göstermektedir. Sahil şeridinden içeri doğru 0-750 m yükseklikleri arasında daha çok tarım alanları, çaylıklar ve kızılâğaç, kayın, kestane, ıhlamur, çınar, gürgen gibi geniş yapraklı ağaçlardan oluşan sık bir bitki topluluğu görülmektedir. Güneye doğru gidildikçe 750-1500 m yükseklikleri arasında geniş yapraklı ağaçların arasına iğne yapraklı ağaçlar karışmaktadır. Daha güneyde 1500-2100 m yükseklikleri arasında iğne yapraklı ağaçlar mevcut olup, orman sınırının üzerindeki alanlarda ise çayırlar yer almaktadır (Dağ, 2007).

3. TEMEL KAVRAMLAR VE YÖNTEM

Bu bölümde heyelanlara ait temel kavramlar, çalışma kapsamında uygulanan nesne tabanlı sınıflandırma yönteminin temelleri ve çalışma kapsamında uygulanan doğruluk analizleri hakkında bilgiler verilmiştir.

3.1. Heyelanlara Ait Temel Kavramlar

Heyelanlar deprem, sel, yangın gibi doğal afetlerden birisidir. Heyelanlar, genel anlamı ile kütle hareketleri, jeolojik, jeomorfolojik, klimatoloji, meteorolojik etken ve süreçler ile insanların çeşitli etkinliklerine bağlı olarak, yamaç dengesinin (stabilitesinin) bozulmasıyla ortaya çıkmaktadır (Öztürk, 2002) . Genel olarak bir heyelan taş bölgesi, ana ayna, tali ayna, kayma yüzeyi, ana kütle, kayma yüzeyi topuğu, ayrılma yüzeyi, etek, topuk, tansiyon çatlakları, çapraz çatlaklar, radyal çatlaklar ve çapraz sırtlar bölümünden oluşmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Genel bir heyelana ait unsurlar (http-2)

Heyelanlar doğada farklı türlerde ve mekanizmalarda meydana gelmektedir. Doğada meydana gelen heyelan türlerini düşme, devrilme, kayma, yanal yayılma ve akma olarak tanımlamak mümkündür. Bu türlerin özellikleri aşağıda verilmiştir (http-2).

Düşme: Düşme, toprak ya da kaya bloklarının, dik bir yamaç boyunca herhangi bir makaslama yenilmesi olmaksızın ana kütlede ayrılmalarıdır. Bu duraysızlık sırasında, bloklar serbest düşme, sıçrama ve yuvarlanma şeklinde hareket ederler (http-2).

Devrilme: Toprak ya da kaya kütlelerinin ağırlık merkezinin üzerindeki bir nokta veya eksen boyunca şevden ileri doğru rotasyonel (dönel) hareketidir (http-2).

Kayma: Toprak ve kaya kütlelerinin bir veya birden çok yüzey üzerinde makaslama deformasyonu sonucu meydana gelen hareketidir (http-2).

Yanal Yayılma: Kohezyonlu topraklar veya kaya kütlelerinin altında bulunan daha yumuşak bir zemin üzerinde genişlemesidir. Yenilme yüzeyi en büyük makaslama gerilmesinin geliştiği yüzey olmayıp, sıvılaşma veya yumuşak zeminlerin akması sonucunda gerçekleşebilir (http-2).

Akma: Birden fazla sayıda makaslama yüzeyi boyunca gelişen ve çoğunlukla serbest yüzeyler boyunca yer değiştirerek yayılan kütle hareketidir. Hareket eden kütlede hızın dağılımı, viskoz bir sıvıdaki dağılıma benzemektedir (http-2).

3.1.1. Heyelanların sınıflandırılması

Heyelanların sınıflandırılması işleminde, literatürde farklı amaçlar doğrultusunda, farklı araştırmacılar ve organizasyonlar tarafından farklı sınıflandırma şekilleri tanımlanmıştır. Birçok çalışmada genel kabul görmüş heyelan sınıflandırması Cruden ve Varnes (1996) tarafından yapılan heyelan sınıflandırmasıdır (Cruden ve Varnes 1996) (Tablo 3.1). Bu sınıflandırmada heyelanlar malzeme türü ve hareket türlerine göre sınıflandırılmaktadır.

Tablo 3.1. Cruden ve Varnes (1996)'ya göre heyelanların sınıflandırılması

Hareket Türü	Malzeme Türü		
	Kaya	Toprak	
		İri Taneli	İnce Taneli
Düşme	Kaya Düşmesi	Moloz düşmesi	Toprak Düşmesi
Devrilme	Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Devrilmesi
Kayma	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Toprak Kayması
Yayılma	Kaya yayılması	Moloz Yayılması	Toprak Yayılması
Akma	Kaya Akması	Moloz Akması	Toprak Akması

Heyelanların bir başka sınıflandırma şekli heyelan alanlarına göre yapılan sınıflandırma işlemidir. Bu sınıflandırma işleminde heyelanlar alanlarına göre farklı boyutlarla adlandırılmaktadır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Heyelanların alan bazlı olarak sınıflandırılması

Açıklama	Alan (m ²)
Çok küçük	< 200
Küçük	200-2000
Orta	2000-20000
Büyük	20000-200000
Çok büyük	200000-2000000
Olağanüstü büyük	> 2000000

Heyelanların bir başka sınıflandırılması heyelan derinliklerine göre yapılmaktadır. Bu sınıflandırma türünde heyelanlar yüzeysel kaymalar, sığ kaymalar, derin kaymalar ve çok derin kaymalar olarak sınıflandırılmaktadır (Zaruba ve Mencl 2014) (Tablo3.3).

Tablo 3.3. Heyelanların derinliklerine göre sınıflandırılması

Hareketin Tipi	Hareketin maksimum derinliği
Çok sığ (yüzeysel) kaymalar	1,5 m'den küçük
Sığ (derin olmayan) kaymalar	1,5-5 m
Derin kaymalar	5-20 m
Çok derin kaymalar	20 m'den büyük

3.1.2. Heyelan envanter haritaları

Heyelanlar envanter haritası, heyelanların konumunu, boyutlarını, oluş tarihini, hareket tipini ve bir alanda bıraktığı etkileri kayıt altına alınması için hazırlanmaktadır. Heyelan envanter haritalarının oluşturulması küçük havza seviyesinden, büyük havzalara, bölgelere, ulusal ve uluslararası seviyelere kadar heyelan olaylarının belgelenmesi açısından önemlidir. Bu haritalar heyelan duyarlılık, tehlike ve risklerinin belirlenmesinde hazırlanması gereken ilk haritalardır (Guzzetti vd., 2012). Heyelan envanter haritalarının ilk adımı ise, heyelanların konum ve boyutlarını gösteren heyelanların haritalanması işlemidir.

Heyelan envanter haritalarının oluşturulması için literatürde farklı veri kaynaklarının kullanıldığı görülmektedir (http-2 ; Guzzetti vd., 2000; Cardinali vd., 2001; Brardinoni vd., 2003; Van Westen ve Getahun 2003; Galli vd., 2008; Marcelino vd., 2009; Guzzetti vd., 2012). Genel olarak heyelan envanter haritalarının üretilmesinde kullanılan veri seti ve yaklaşımlar aşağıdaki özetlenmiştir.

- Topoğrafik haritalar ve Sayısal Yükseklik Modellerinin analizi

- Hava fotoğraflarının yorumlanması
- Saha çalışmaları ve yerinde jeomorfolojik analizler
- Basılı veya sayısal harita arşivleri üzerinden yapılan analizler
- LİDAR (Light Detection and Ranging) verilerinden üretilen Sayısal Arazi Modelleri analizleri
- Uydu görüntüleri üzerinden yapılan analizler

Heyelan envanter haritalarının üretilmesinde yukarıda görüldüğü gibi heyelanlar saha çalışmaları, basılı haritalar, hava fotoğrafları, sayısal yüzey modelleri ve uydu görüntüleri kullanılarak haritalanmaktadır. Bahsedilen yöntemlerden saha çalışmaları haricindeki yöntemlerde heyelanlar elle sayısallaştırma ile elde edilmektedir. Bu aşamada heyelanların doğru olarak belirlenmesi için uydu görüntüleri veya hava fotoğrafların sunduğu dokusal özellikler ve stereo özellikler kullanılarak görsel yorumlama ile heyelanlar çizilebilmektedir. LİDAR gibi aktif sistemlerden elde edilen sayısal yüzey modelleri ile yapılan haritalamada ise heyelanlara ait jeomorfometrik parametrelerden faydalanılmaktadır. Bu yöntemler ile heyelan envanter haritalarının oluşturulmasındaki başarı aşağıdaki koşullara bağlı olarak değişmektedir (http-2).

- Kullanılan hava fotoğrafı ve/veya uydu görüntülerinin ölçeği, zamanı ve kalitesi,
- Altlık olarak kullanılacak ve heyelanlar hakkında bilgi edinilecek haritanın ölçeği ve kalitesi,
- Yorumlamalarda kullanılacak aletsel ekipman (stereoskop veya 3B görsel ekipman) kalitesi ve yetenekleri,
- Yorumlamayı yapan kişinin bilgi ve tecrübesi, olarak sınıflandırılabilir

Son yıllarda uydu görüntüleri, hava fotoğrafları, LİDAR verileri ve RADAR verileri kullanılarak yarı otomatik olarak heyelanların haritalanması çalışmaları yapılmaktadır (Hölbling vd., 2012; Martha vd., 2012; Blaschke vd., 2014; Razak, 2014; Li vd., 2015).

3.2. Nesne Tabanlı Sınıflandırma Yöntemi

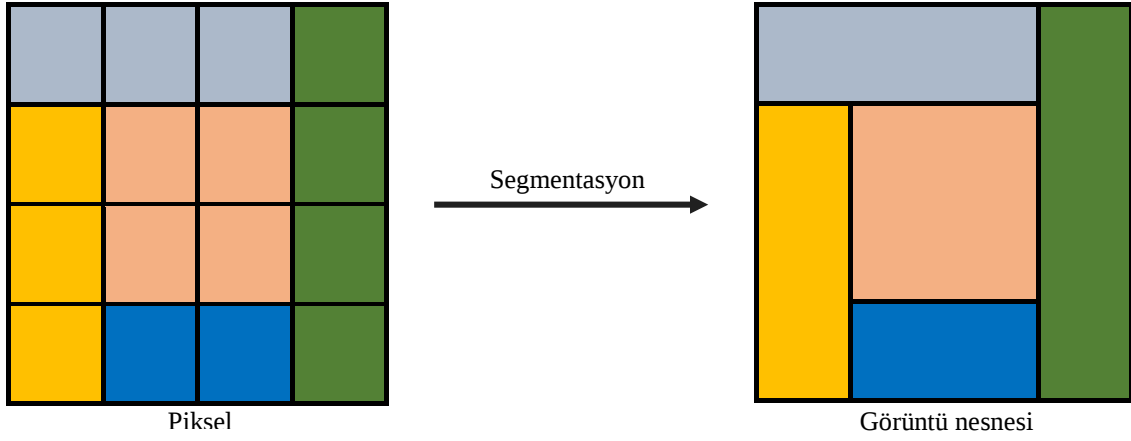
Uzaktan algılamanın temel amacı uydu görüntülerinden yeryüzüne ait bilgilerin çıkarılmasıdır. Bilgi çıkarmada en yaygın kullanılan yöntem sınıflandırma yöntemleridir. Uzaktan algılamada sınıflandırma yöntemlerini genel olarak piksel tabanlı sınıflandırma ve nesne tabanlı sınıflandırma olmak üzere iki grup halinde tanımlamak mümkündür. Piksel tabanlı sınıflandırma yöntemlerinde piksellerin spektral bilgileri kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Uzaktan algılama sensörlerinin konumsal çözünürlüklerinin her geçen gün artması, bu sensörlerden elde edilen görüntülerden yeryüzüne ait bilgilerin çıkarılmasında sadece piksellerin spektral değerlerinin kullanılması yetersiz kalmaya başlamıştır. Bunun en temel nedeni yüksek çözünürlüklü görüntüler artan çözünürlüğe bağlı olarak piksellerin heterojen bir yapıya dönüşmesidir. Örneğin, kentsel alan kullanımının spektral kompleks yapısı insan yapımı objeler olan yollar, çatılar gibi objelerin ve doğal objeler olan su, bitki, toprak gibi objelerin sadece piksel tabanlı analizlerle birbirinden ayırıştırmasını zor hale getirmiştir. Bu nedenlerden dolayı özellikle yüksek çözünürlüklü görüntülerden bilgi çıkarmada nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı tercih edilmeye başlanmıştır (Jensen, 2005).

Piksel tabanlı sınıflandırma yönteminde piksellerin spektral değerleri kullanılarak sınıflandırma yapılırken, nesne tabanlı sınıflandırma yönteminde spektral değerler, şekilsel, dokusal ve içeriksel özellikler kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmektedir (Jensen, 2005; Martha vd., 2010; Sertel ve Alganci 2016). Nesne tabanlı sınıflandırma yönteminde sınıflandırma işlemi homojen piksellerin oluşturduğu görüntü nesneleri üzerinden gerçekleştirilmektedir. Nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi genel olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar görüntü segmentasyonu (görüntü nesnesi oluşturma) ve Sınıflandırma aşamalarıdır (Lang, 2008).

3.2.1. Görüntü segmentasyonu (görüntü nesnesi oluşturma)

Segmentasyon işlemi nesne tabanlı sınıflandırmanın ilk ve en önemli aşamasını oluşturmaktadır. Bu aşamada görüntüyü oluşturan pikseller konumsal ve spektral özelliklerine göre gruplandırılarak görüntü nesneleri oluşturulmaktadır (Şekil 3.2). Oluşturulan bu görüntü nesneleri birbirinden bağımsız alanları tanımlayan şekilsel ve spektral homojenliğe sahip segmentler olarak tanımlanır (Benz ve Schreier 2001; Jensen, 2005). Sınıflandırma işlemi için dikkatli ve başarılı bir şekilde oluşturulan görüntü

nesneleri yüksek çözünürlüklü görüntülerde yeryüzüne ait birçok özelliğin daha doğru bir şekilde elde edilmesini sağlamaktadır (Jensen, 2005).



Şekil 3.2. Görüntünün segmentasyon işlemi ile piksel seviyesinden görüntü nesnesi seviyesine dönüştürülmesi

Görüntü nesnelerini oluşturmak için genellikle görüntünün spektral bantları kullanılır. Ancak spektral bantların yanında aynı alanı kaplayan mekânsal dağılımlı veri setleri de (eğim, yükseklik, bakı vb.) görüntü nesnelerinin oluşturulmasında kullanılabilmektedir (Jensen, 2005; Rau vd., 2011; Stumpf ve Kerle 2011; Chen vd., 2014).

Literatürde görüntü segmentasyonu işlemi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemleri farklı şekillerde gruplandırmak mümkündür. İlk yapılan araştırmalarda segmentasyon yöntemleri, nokta/piksel tabanlı segmentasyon, kenar tabanlı segmentasyon, bölge tabanlı segmentasyon ve hibrit yaklaşımlar olarak kategorize edilmektedir (Guo vd., 2005). Görüntü analizi yaklaşımına dayanan ve görüntü segmentasyonu alanının ötesinde de uygulanabilir olan daha genel bir sınıflandırma yöntemi, modele dayalı segmentasyon ve görüntüye dayalı segmentasyon yaklaşımlarıdır. Görüntüye dayalı segmentasyon yöntemlerinde, pikselden türetilen görüntünün istatistiksel özelliklerine dayanarak görüntü nesneleri oluşturulmaktadır. Bu yöntem, daha çok kenar tabanlı segmentasyon tekniklerini içermektedir. Kenar tabanlı tekniklerde öncelikle kenarlar tespit edilir ve daha sonra alanlar kontur üreten algoritmalar kullanılarak kapatılır. Modele dayalı segmentasyon yaklaşımları, bir görüntüdeki nesnelerin belirli bir modelde mevcut olduğunu varsayar. Bu yaklaşımda

kullanılan modelleri a) Nesne Arkaplanı / Eşik Modeli b) Nöral Model, c) Markov Rasgele Alan Modeli, d) Bulanık Model e) Fraktal Model, f) Çoklu Çözünürlüklü ve g) Dönüşüm Modeli: Havza modeli ve Dalgacık modeli olarak saymak mümkündür (Dey vd., 2010).

Hangi segmentasyon yöntemi kullanılırsa kullanılsın nesne tabanlı sınıflandırma yönteminin segmentasyon aşamasında belirli bir homojenlik kriterini sağlayan benzer ve komşu piksellerin gruplandırılması yapılmaktadır (Uça Avcı, 2017). Uzaktan algılama uygulamalarında her ne kadar birçok segmentasyon yöntemi uygulanıyor olsa da bu yöntemlerden en çok kullanılan segmentasyon yöntemi çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemidir. Bu yöntem özellikle nesne tabanlı sınıflandırma yöntemi ile heyelanların haritalanmasında tercih edilen bir yöntemdir (Martha vd., 2010; Lahousse vd., 2011; Aksoy ve Ercanoglu 2012; Hölbling vd., 2012; Dou vd., 2015). Bu tez çalışmasının segmentasyon aşamasında çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemi kullanıldığı için yöntem detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

Çoklu çözünürlük segmentasyon yöntemi

Çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemi (Baatz ve Schape 2001), oluşturulan görüntü nesnelerinin ortalama heterojenliğini en aza indiren, yerel optimizasyonun iteratif bir işlemidir. Algoritmada kullanılan heterojenlik ölçüsü, bir konumsal bileşene ve bir spektral bileşene sahiptir. Spektral heterojenite, bir görüntü nesnesini oluşturan piksellerin spektral özellik değerleri üzerine tanımlanmaktadır. Bu ölçü, her bir bant için ağırlıklı ortalama standart sapma ile orantılıdır (Baatz ve Schape 2001; Happ vd., 2010).

Konumsal heterojenlik, bütünlük ve yoğunluk olmak üzere iki şekil kriterine dayanmaktadır. Yoğunluk derecesi görüntü nesnesinin çevresi ile alanının (içerdiği piksel sayısı) karekökü arasındaki oran olarak tanımlanır. Bütünlük, görüntü nesnesinin çevresi ile minimum sınır dikdörtgeninin çevresi arasındaki oran olarak tanımlanır (Baatz ve Schape 2001; Happ vd., 2010).

Yöntemin uygulanmasında, öncelikle görüntüdeki her bir piksel bir görüntü nesnesi olarak kabul edilir ve tüm pikseller bir görüntü nesnesi ile ilişkilendirilir. Görüntü nesneleri, komşularıyla birleştikleri ölçüde büyürler ve heterojenlikteki en küçük artış, bir görüntü nesnesinin ekleneceği komşunun seçilmesi için bir kriter olarak kullanılır.

Paralel büyümeyi oluşturmak için, her görüntü nesnesi her bir iterasyon için sadece bir kez seçilir (Baatz ve Schape 2001; Happ vd., 2010).

Birleştirme faktörü (f), iki görüntü nesnesinin birleşmesinden kaynaklanan heterojenlik artışını ifade eder. Birleşim işleminden önce, seçilen görüntü nesnesinin komşuları için birleştirme faktörü hesaplanır. Birleştirme için minimum birleştirme faktörüne sahip komşu görüntü nesnesi seçilir. Ancak birleşme işlemi yalnızca birleştirme faktörünün, ölçek parametresinin (e) karesi olarak tanımlanan belirli eşğin altında olması durumunda gerçekleşir. Bu işlem, görüntü nesnesi oluşturmak için birleşme mümkün olmayana kadar devam eder (Happ vd., 2010).

Birleştirme faktörünün formülü Eşitlik (3.1)'de tanımlanmıştır. Bu eşitliğe göre birleştirme faktörü, spektral heterojenlik (h_{renk}) ve konumsal heterojenlik ($h_{şekil}$) parametreleri ile kontrol edilmektedir. Ayrıca bu parametrelerin bağıl önemleri renk ağırlığı (w_{renk}) ile temsil edilmektedir (Happ vd., 2010).

$$f = w_{renk} * h_{renk} + (1 - w_{renk}) * h_{şekil} \quad (3.1)$$

Eşitlik (3.2), spektral heterojenliğin (h_{renk}) formülünü göstermektedir. $obj1$ seçilen görüntü nesnesini, $obj2$ analiz edilen komşu görüntü nesnesini, $obj3$, $obj1$ ile $obj2$ 'nin birleşimi sonucu elde edilen görüntü nesnesini temsil etmektedir. Bu eşitlikte c segmentasyona giren katmanın (bandın) numarasını, w_c c katmanı için belirlenmiş ağırlık değerini göstermektedir. σ , görüntü nesnesi $obji$ 'ye ait olan tüm pikselleri dikkate alan c katmanındaki piksellerin standart sapmasıdır. n , $obji$ içinde kalan piksel sayısını temsil etmektedir (Happ vd., 2010).

$$h_{renk} = \sum_i w_c (n_{obj3} * \sigma_c^{obj3} (n_{obj1} * \sigma_c^{obj1} - n_{obj2} * \sigma_c^{obj2})) \quad (3.2)$$

Konumsal heterojenlik görüntü nesnesinin bütünlük derecesi ve kenarların yoğunluğuna göre hesaplanmaktadır. Eşitlik (3.3)'de konumsal heterojenlik parametresinin formülü verilmiştir. Bu formülde h_{cmpt} değeri bütünlüğü temsil ederken,

h_{smooth} yumuşatma değerini göstermektedir. Bu iki bileşenin bağıl önemi sıkıştırma parametresi (w_{cmpct}) temsil etmektedir (Happ vd., 2010).

$$h_{\text{şekil}} = w_{cmpct} * h_{cmpct} + (1 - w_{cmpct}) * h_{smooth} \quad (3.3)$$

Eşitlik (3.4) ve (3.5) bütünlük ve yumuşatma bileşenlerinin formüllerini göstermektedir. Bu eşitliklerde l , obj_i görüntü nesnesinin çevresini gösterirken, b değeri $i = 1, 2, 3 \dots$ için ilişkili görüntü nesnelerinin minimum sınırlayıcı alanını göstermektedir (Happ vd., 2010).

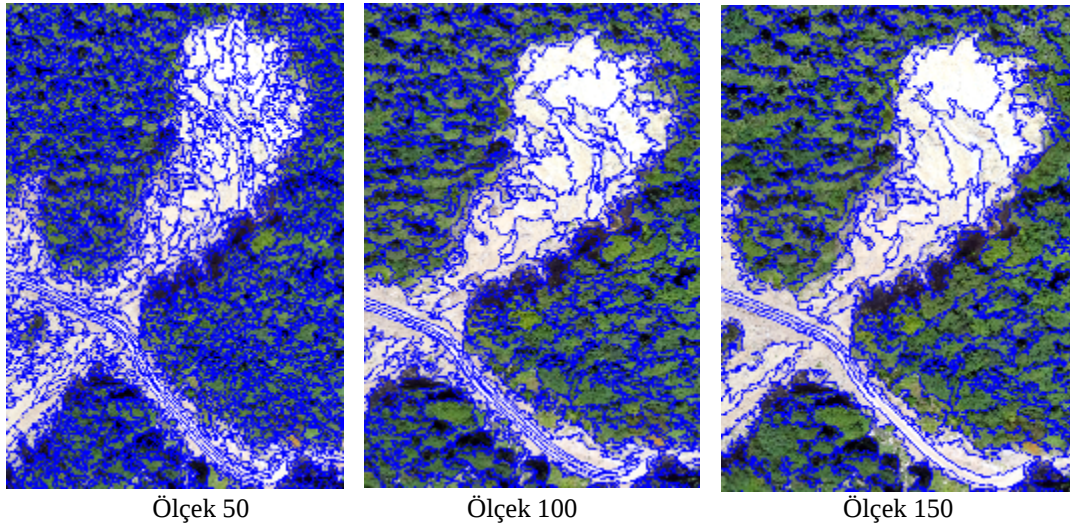
$$h_{cmpct} = n_{obj3} * \frac{l_{obj3}}{\sqrt{n_{obj3}}} - \left(n_{obj1} * \frac{l_{obj1}}{\sqrt{n_{obj1}}} + n_{obj2} * \frac{l_{obj2}}{\sqrt{n_{obj2}}} \right) \quad (3.4)$$

$$h_{smooth} = n_{obj3} * \frac{l_{obj3}}{\sqrt{b_{obj3}}} - \left(n_{obj1} * \frac{l_{obj1}}{\sqrt{b_{obj1}}} + n_{obj2} * \frac{l_{obj2}}{\sqrt{b_{obj2}}} \right) \quad (3.5)$$

Segmentasyon aşamasında oluşturulan görüntü nesnelerinin büyüklük ve küçüklük değerleri ayarlanabilir bir özelliktir. Bu ayar, ölçek parametresi (e), katmanların ağırlıkları (w_c), renk ağırlık faktörü (w_{renk}) ve bütünlük faktörü (w_{cmpct}) seçilerek yapılabilir. Bahsi geçen bu parametreler segmentasyon işleminde kullanıcı tarafından tanımlanması gerekmektedir. Eşitlik (3.1)'de görüldüğü gibi renk ağırlık faktörü (w_{renk}) spektral ve konumsal heterojenliği kontrol etmektedir. Benzer şekilde bütünlük faktörü (w_{cmpct}) bütünlük ve yumuşatma arasındaki dengeyi kontrol etmektedir. Ticari yazılımlarda w_{renk} değeri $w_{\text{şekil}}$ olarak ifade edilebilmektedir. Örneğin tez çalışması kapsamında kullanılan eCognition Developer vers. 9.0 yazılımında bu değer şekil parametresi olarak girilmesi istenilmektedir. Gerek renk ağırlığı gerekse şekil ağırlığı hangisi girilirse girilsin, girilen değer birden çıkartılarak diğer değer hesaplanmaktadır.

Kullanıcı tarafından belirlenen ölçek parametresi (e) birleştirme faktörünü doğrudan etkileyen bir parametredir. Segmentasyon aşamasında kullanıcı tarafından girilen katman ağırlıkları, bütünlük ve şekil ağırlık parametreleri kullanılarak birleştirme faktörü hesaplanır. En iyi uyuma karşılıklı olduğunda hesaplanan birleştirme faktörü ölçek faktörü ile karşılaştırılır. Eğer birleştirme faktörü ölçek faktörünün karesinden

küçükse, iki nesne birleştirilir. En iyi uyum karşılıklı değilse, en iyi aday nesne yeni tohum objesi olarak kabul edilir ve en iyi komşusu bulunur. Bu işlem, birleştirme imkânı yok olana kadar devam eder (Happ vd., 2010). Kullanıcı tarafından girilen büyük ölçek parametresi büyük görüntü nesnelerinin oluşmasına, küçük girilen görüntü nesnesi küçük görüntü nesnelerinin oluşmasını sağlar. Şekil 3.3’de Kırmızı, Yeşil ve Mavi bantlardan oluşan bir ortofoto görüntüye aynı şekil ve bütünlük parametresine göre farklı ölçek parametresi uygulandığında elde edilen görüntü nesneleri örnekleri gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde ölçek parametresi büyüdüğünde görüntü nesnelerinin boyutlarının da büyüdüğü görülmektedir. Ayrıca görüntü nesnelerinin boyutu büyüdüğünde segmentasyon sonucu elde edilen toplam görüntü nesnesi sayıları azalmaktadır.



Şekil 3.3. Mavi, kırmızı ve yeşil bantlardan oluşan ortofoto görüntüye farklı ölçek parametreleri uygulandığında elde edilen görüntü nesnelerinin boyutları

3.2.2 Görüntü nesnesi metrikleri

Nesne tabanlı sınıflandırma yönteminde segmentasyon işleminden sonra sınıflandırma aşamasına geçilmektedir. Sınıflandırma işleminin yapılabilmesi için sınıflandırmada kullanılacak görüntü nesnesi metriklerinin hesaplanması gerekmektedir (Jensen, 2005). Hesaplanan bu metrikleri 3 grupta toplamak mümkündür. Bunlar katmansal metrikler, şekilsel metrikler ve dokusal metriklerdir.

Katmansal metrikler

Bir nesneye ait katmansal metrikler, o görüntü nesnesini oluşturan piksellerin, bir katmandaki sahip olduğu değerler kullanılarak hesaplanır (Uça Avcı, 2017). Burada

katman kavramı ile anlatılmak istenen, uydu görüntülerinin spektral bantları, bu bantlardan üretilmiş bant indisleri, yükseklik verisi, yükseklik verisinden üretilen eğim, bakı, eğrisellik vb. girdi verilerdir.

Bir görüntü nesnesine ait hesaplanabilecek çok sayıda katman özelliği bulunmasına rağmen aşağıda en temel metrik değerleri verilmiştir (Uça Avcı, 2017).

Ortalama değer: Nesneyi oluşturan piksellerin katman değerlerinin ortalaması olarak ifade edilir.

Standart sapma: Görüntü nesnesini oluşturan piksel katman değerleri dağılımı ile ilişkili olarak türetilen standart sapma değeridir.

Minimum ve maksimum: Görüntü nesnesini oluşturan piksellerin sahip olduğu minimum ve maksimum katman değeridir.

Dağılım: Genel anlamda görüntü nesnesinin istatistiksel sıklığını ifade eder. Örneğin, Segmentasyon işleminde aşırı bir ölçek değeri kullanıldığında genelleştirilmiş görüntü nesneleri oluşacaktır. Bu durumda medyan değeri ortalamaya göre daha doğru sonuç verecektir. Çünkü genelleştirilmiş görüntü nesnesinde sınıflandırılmak istenen objeye ait olmayan piksellerde ortalama değer hesaplanmasında dahil edilecektir. Bu durumda dağılım metriğinin kullanılması doğruluğu arttıracaktır.

Parlaklık: Görüntü nesnesini oluşturan piksellerinin spektral bantlardaki değerlerinin toplamının spektral bant sayısına bölünmesi ile elde edilen görüntü nesnesi metriğidir.

Maksimum fark: Değerlendirmeye alınan bantlar arasındaki farkı ifade eder.

Görüntü ile ilişki: Her bir nesneye ait piksel değerlerinin ortalaması ile görüntüdeki tüm piksellerin ortalaması arasındaki farkı ifade eder.

Bant indisleri: Bant indisleri görüntü bantları arasındaki aritmetiksel işlemler sonucu elde edilen indisleri ifade etmektedir. Örneğin bitkilere yönelik yapılan uygulamalarda en yaygın kullanılan bant indisi normalize edilmiş fark bitki indisidir.

Şekilsel metrikler

Nesne tabanlı sınıflandırma yönteminde piksel tabanlı sınıflandırmadan farklı olarak oluşturulan nesnelerin şekilsel özellikleri kullanılabilir. Sınıflandırma

işleminde yaygın kullanılan şekilsel metrikler aşağıda kısaca tanımlanmıştır (Uça Avcı, 2017).

Alan: Bir görüntü nesnesi içinde yer alan piksellerin toplam sayısı olarak ifade edilmektedir.

Uzunluk ve genişlik: Görüntü nesnesinin iskeletine bağlı olarak tanımlanan bir parametredir. Nesne iskeleti, görüntü nesnesinin içyapısını tanımlamada kullanılan bir unsurdur. Nesne iskeleti içerisindeki iskelet ana çizgisi, nesnenin uzunluğunu belirtir, genişlik ise iskelet ana çizgisinin kenar piksel uzunluklarının ortalamasının iki katı olarak hesaplanabilir.

Çevre: Görüntü nesnesi çevresindeki toplam piksel sayısını ifade eder.

Asimetri: Görüntü nesnesinin ana aksı boyunca simetrisinin hesaplanmasına bağlı olarak elde edilen parametre değeridir.

Yoğunluk: Görüntü nesnesinin uzunluk ve genişliğinin, nesneyi oluşturan piksel sayısına oranıdır.

Şekil indeksi: Görüntü nesnesinin çevre uzunluğunun, nesneyi oluşturan piksel sayısına oranıdır.

En/boy oranı: Görüntü nesnesinin genişlik ve uzunluğunun bir birine olan oranıdır.

Dokusal metrikler

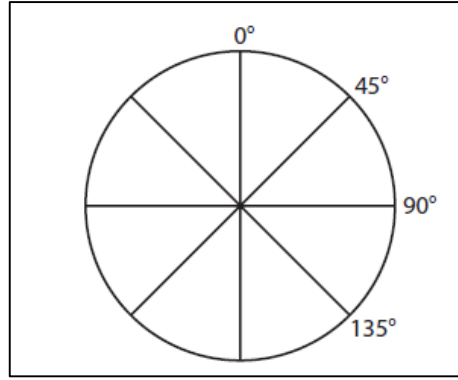
Görüntü dokusu, uzaktan algılanmış görüntülerin önemli bir bileşenidir. Doku, görüntüyü oluşturan piksellerin spektral parlaklık değerlerindeki değişkenliğin ve dizilişin ölçülmesi şeklinde tanımlanabilir. Doku, düzenli bir frekansta tekrar eden desen ve/veya desen kombinasyonu olarak da tanımlanmaktadır. Doku analizinde bir bölge içerisindeki dizilişin sayısal olarak hesaplanması için istatistiksel yaklaşımlar kullanılır (Haralick, 1979).

Doku analizinin yapılabilmesi için ilk önce görüntüden Eş Oluşum Matrisinin üretilmesi, daha sonra bu matris üzerinde istatistik bazı hesaplamaların yapılması gerekir. Haralick (1979) tarafından geliştirilen Gri Düzey Eş Oluşum Matrisleri (GLCM: Grey Level Cooccurrence Matrix), ikinci derece istatistikler olarak en yaygın kullanılan doku ölçütüdür. GLCM ölçütleri, piksel kombinasyonlarının meydana gelme sıklığının ölçüsünü tanımlamada kullanılan Eş Oluşum matrislerini baz alarak, insan beyni

tarafından kolaylıkla algılanabilen doku özelliklerinin çıkartılmasında ve matematiksel olarak ölçülmesinde kullanılırlar (Haralick, 1979; Uça Avcı, 2017).

Bir Eş Oluşum matrisi, i parlaklık değerine sahip olan pikseller ile j parlaklık değerine sahip piksellerin belirli bir mesafe ve yönde kaç kez tekrarlandığı bilgisini içermektedir, diğer bir ifade ile birbiriyle komşu piksellerin ilişkisi, istatistiksel olarak tanımlanmaktadır (Uça Avcı, 2017).

Uygulamada referans pikseli belirlendikten sonra, hesaplamalarda hangi yöndeki komşu pikselin kullanılacağını da belirlenmesi gerekir. Bir başka deyişle GLCM doku ölçütleri, farklı açılarda uygulanabilmektedir (Uça Avcı, 2017) (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Doku hesaplamalarında kullanılan farklı açılar için piksel komşulukları (Uça Avcı, 2017)

Eş Oluşum Matrislerinden birçok doku bilgisi hesaplanabilir. Haralick (1973) tarafından 14 adet doku bilgisi bu matristen üretilmiştir. Zaman içerisinde farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen hesaplamalarla bu sayı artmıştır. Ancak birçoğunun benzer nitelikte olduğu görülmektedir. Doku ölçütlerinin büyük bir kısmı GLCM'den doğrudan doğruya hesaplanabilirken, bazı doku ölçütleri (örneğin, GLDV: Gri Düzey Fark Vektörü (Gray-Level Difference Vector) ölçütleri), GLCM'den türetilen gri seviyesi fark vektöründen elde edilmektedir (Haralick, 1979). Şekil 3.5'de en yaygın kullanılan dokusal metrikler verilmiştir (Uça Avcı, 2017).

Doku ölçütü	Matematiksel Eşitlik
GLCM Homojenlik: Görüntü Nesnesinin Kendi içerisindeki homojenlik ölçüsüdür.	$\sum_{x,y=0}^{N-1} \frac{P_{x,y}}{1 + (x - y)^2}$
GLCM Kontrast: Homojenliğin tersi olarak tanımlanır. Görüntü nesnesi içerisindeki piksel değerlerinin birbirlerinden farklılık miktarının ölçüsüdür.	$\sum_{x,y=0}^{N-1} P_{x,y}(x - y)^2$
GLCM Farklılık: Kontrasta benzer, komşu pikseller arası farklılığın bir başka eşitlik ile ölçümüdür. Yüksek kontrastı olan yerlerde farklılık da yüksektir.	$\sum_{x,y=0}^{N-1} P_{x,y} x - y $
GLCM Entropi: GLCM doku değerlerinin dağılımı ile ilgili olup, entropinin yüksek olması eşit dağılımlı değerler, entropinin düşük olması 0 veya 1'e yakın dağılımlı değerler olduğunu gösterir.	$\sum_{x,y=0}^{N-1} P_{x,y}(-\ln P_{x,y})$
GLCM Açısal 2. Moment: Lokal homojenite ile ilgili bir doku ölçütüdür.	$\sum_{x,y=0}^{N-1} (P_{x,y})^2$
GLCM Ortalama Değer: Bir pikselin belli bir değere sahip bir pikselle birlikte bulunmasının (komşu olma sıklığı) ölçüsüdür.	$\mu_{x,y} = \frac{\sum_{x,y=0}^{N-1} P_{x,y}}{N^2}$
GLCM Varyans: GLCM değerlerinin ortalama değerden ne kadar farklı olduğunu ölçüsüdür.	$\sigma_{x,y}^2 = \sum_{x,y=0}^{N-1} P_{x,y}(x \cdot y - \mu_{x,y})$
GLCM Korelasyon: Karşılıklı ilişki olarak da adlandırılır. Komşu piksellerin, gri renk seviyesine olan lineer bağımlılığının ölçüsüdür.	$\sum_{x,y=0}^{N-1} P_{x,y} \left[\frac{(x - \mu_x)(y - \mu_y)}{\sqrt{(\sigma_x^2)(\sigma_y^2)}} \right]$

Şekil 3.5. En yaygın kullanılan dokusal metrikler x : satır sayısı; y : sütun sayısı; $P_{x,y}$: matrisin x,y koordinatlarında yer alan pikselin normalize değeri; N : satır veya sütun sayısı; μ : GLCM ortalama değeri; σ : GLCM standart sapması (Uça Avcı, 2017)

3.2.3. Sınıflandırma yöntemleri

Piksel tabanlı sınıflandırmada, her pikselin içerdiği spektral bilgi ayrı olarak değerlendiriliyorken, nesne tabanlı sınıflandırmada, görüntü nesnelere ait türetilen bütünleşik şekilsel, spektral, dokusal metrikler kullanılmaktadır. Böylelikle sınıflandırma işleminde daha fazla istatistiksel parametre kullanılmaktadır (Uça Avcı, 2017).

Nesneler genelde görüntünün karakteristik özelliklerine göre segmentasyon işlemi ile belirlenir ve daha sonra spesifik sınıflara atanır. Sınıf tanımları, bir veya birden fazla ölçüt için, o sınıfın alabileceği değer aralıkları belirlenerek yapılır. Tanımlanan nesne aralığı dışında kalan görüntü nesneleri, farklı bir sınıfa atanabilir ya da sınıflandırmadan çıkartılabilir (Uça Avcı, 2017).

Nesne tabanlı yaklaşımda, bir görüntü nesnesi yani bir piksel grubu ele alındığından, kullanılan ölçütler, bir piksel grubuna uygulanır. Diğer bir ifade ile bir görüntü nesnesi için, her ölçütün gerektirdiği hesaplamalar yapılarak, görüntü nesnesinin kullanılan tüm ölçütler için aldığı değerler elde edilir. Piksel tabanlı sınıflandırmada ağırlıklı olarak piksel yansıtım değerinin kullanıldığı dikkate alındığında, nesne tabanlı yaklaşımda çok sayıdaki ölçütün kriter olarak kullanılabilmesi, sınıflandırma doğruluğunu arttıran en güçlü etkidir (Uça Avcı, 2017).

Sınıf tanımlarında kullanılan ölçütler için belirlenen değer aralıkları, kontrollü veya kontrolsüz sınıflandırma (kural tabanlı sınıflandırma) olarak adlandırılan iki farklı yöntemle belirlenmektedir. Kullanılacak olan yöntemin seçiminde, sınıflandırmanın amacı, görüntü özellikleri, bölgeye ait yer gerçeği verilerinin varlığı ve kullanıcının tecrübesi göz önüne alınmalıdır (Uça Avcı, 2017).

Kontrollü sınıflandırma

Kontrollü sınıflandırma işleminde ilk adım olarak kullanıcı tarafından sınıflar belirlenir. Daha sonra her sınıf için, o sınıfı temsil eden eğitim nesneleri seçilir. Böylece her sınıf, kendini temsil eden eğitim nesnelerinin ölçüt değerleri baz alınarak belirlenen değer aralıkları ile tanımlanır (Uça Avcı, 2017). Sınıflandırma işleminde yaygın olarak rastgele orman, karar ağaçları, destek vektör makineleri, K- En yakın komşuluk gibi makine öğrenme algoritmaları kullanılmaktadır.

Kontrolsüz sınıflandırma (kural tabanlı sınıflandırma)

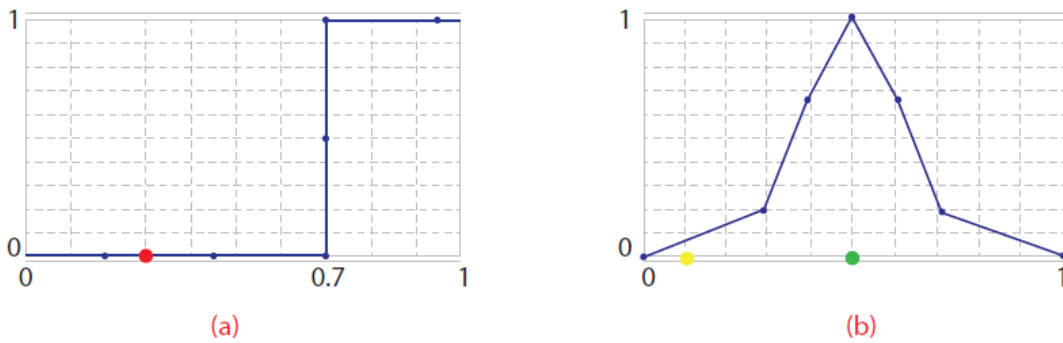
Kontrollü sınıflandırma işlemine benzer şekilde ilk adım olarak kullanıcı tarafından sınıflar belirlenir. Daha sonra her sınıf için o sınıfı en iyi temsil eden ölçütler ile kullanıcının o ölçütler için belirleyeceği değer aralıkları tanımlanır. Kullanıcı müdahalesi daha fazla olmasına rağmen, ölçütlerin değer aralıkları hiçbir eğitim sınıfı kullanılmadan belirlendiği için, bu yöntem kontrolsüz sınıflandırma kategorisinde yer almaktadır. ‘Üyelik Fonksiyonları’ yöntemi, kontrolsüz nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımına örnek verilebilir (Uça Avcı, 2017).

Üyelik fonksiyonları: Bu yöntemde her bir sınıf, karakteristik özellikleri ve özellik bilgilerinin dağılımıyla tanımlanır. Görüntü analizinde ilk olarak, her nesnenin tanımlanan özellikler için aldığı değerler hesaplanır (Nussbaum vd., 2006) ve bu özellikler referans alınarak, nesnenin her bir sınıfa ait üyelik değeri bulunur. Bir başka

deyişle sınıf tanımlarında kullanılan özellikler için eşik değerlerinin ya da dağılımlarının belirlenmesinin ardından, her nesnenin her bir sınıfa ait üyelik değerinin hesaplanması mümkün olmaktadır (Uça Avcı, 2017).

Her iki sınıflandırma yönteminde de yukarıda detaylı olarak tanımlanan metrikler ve/veya ölçüt değerleri mantık operatörleri ile birleştirilerek, birden fazla ölçüt ile sınıf tanımı yapılabilir. Eşik belirlemede operatör olarak, ‘büyüktür veya eşittir ($\geq$)’, ‘büyüktür ($>$)’, ‘eşittir ($=$)’, ‘küçüktür ($<$)’, ‘küçüktür veya eşittir ($\leq$)’ kullanılmaktadır. Birden fazla özellik ile tanımlanan sınıflar için yapılan tanımlamalar ise VE, VEYA vb. mantık operatörleri ile birleştirilir (Uça Avcı, 2017).

Bir sınıfı tanımlamak için kullanılan ölçüt için kriter, bir eşik değer ile verilebileceği gibi bir değer aralığı içerisinde tanımlı bir dağılım fonksiyonu ile de verilebilir. Her iki kriter, şematik olarak Şekil 3.6’da gösterilmektedir. Grafiklerde x eksenini o ölçüt için nesnenin alabileceği değerleri, y eksenini ise 0 ile 1 arasında değişen üyelik katsayısı değerini gösterir (Uça Avcı, 2017).



Şekil 3.6. Ölçüt kriterlerinin tanımlanması. (a) Eşik değeri ile tanımlanması. (b) Dağılım fonksiyonu ile tanımlanması (Uça Avcı, 2017)

3.2.4. Doğruluk analizi

Nesne tabanlı görüntü analizlerinde doğruluk analizi için genellikle kullanılan beş yöntem vardır. Bunlar nesne eşleştirme, alan tabanlı doğruluk ölçümü, nesne benzerlik tabanlı doğruluk ölçümü, çıkarılan nesne sayısı tabanlı doğruluk ölçümü ve mesafe tabanlı doğruluk ölçümleridir (Cai vd., 2018). Nesne tabanlı heyelan çıkarma çalışmalarında genellikle çıkarılan heyelan sayısına tabanlı doğruluk ölçümleri yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında alan tabanlı doğruluk ölçümü ve çıkarılan heyelan

sayısı tabanlı doğruluk ölçümleri kullanılmıştır. Bundan dolayı bu bölümde bu doğruluk değerlendirme yöntemleri anlatılacaktır.

Çıkarılan nesne sayısı tabanlı doğruluk ölçümü

Nesne sayısı tabanlı doğruluk ölçümünde nesne tabanlı görüntü analizi performansını test etmek için üç doğruluk ölçütü (doğru, yanlış, kayıp oran) kullanılır. Bu ölçütlerden Doğru oran (P_C), Yanlış oran (P_F) ve kayıp orana (P_M) ait eşitlikler aşağıda verilmiştir (Cai vd., 2018).

$$P_C = \frac{N_C}{N_C + N_F} \quad 0 \leq P_C \leq 1 \quad (3.6)$$

$$P_F = \frac{N_F}{N_C + N_F} \quad 0 \leq P_F \leq 1 \quad (3.7)$$

$$P_M = \frac{N_M}{N_C + N_M} \quad 0 \leq P_M \leq 1 \quad (3.8)$$

Burada, N_C , N_F ve N_M değerleri sırası ile doğru çıkarılan, yanlış çıkarılan ve çıkarılamayan kayıp nesneleri temsil etmektedir. Doğruluk analizinde kullanılan tüm nesneler doğru ise $P_C = 1$ ve $P_F = 0$ olarak elde edilir. Eğer doğruluk analizinde kullanılan tüm nesneler yanlış ise $P_C = 0$ ve $P_F = 1$ olarak elde edilir. Eğer değerlendirilen tüm nesnelerin her birisinin doğru değerlendirme objesi var ve referans veride çıkarılamayan hiçbir nesne yok ise $P_M = 0$ olarak elde edilir. Tersisi durumda eğer referans verideki hiçbir obje nesne tabanlı görüntü analizi ile çıkarılamamışsa $P_M = 1$ olarak hesaplanır (Cai vd., 2018).

(3.6) – (3.8)’de verilen eşitlikler nesnelerin doğru veya yanlış olarak çıkarıldığını analiz etmektedir. Eğer bir nesne için doğru olarak çıkarılan piksellerin oranı verilen bir eşik değerinden düşük ise nesne doğru çıkarılmış olarak kabul edilmektedir. Eğer eşik değerinden yüksek ise yanlış olarak çıkarılmış kabul edilir (Cai vd., 2018).

Alan tabanlı doğruluk ölçümü

Nesne tabanlı görüntü analizinin alan tabanlı doğruluk ölçümü işleminde üç adet doğruluk ölçütü kullanılmaktadır. Bunlar doğruluk, tamlık ve kalitedir. Alan tabanlı doğruluk ölçümün amacı kararlı doğruluk analizi elde etmektedir (Cai vd., 2018).

Doğruluk ölçütü P_{AC} nesne tabanlı görüntü analizi ile doğru olarak çıkarılan alanların, toplam çıkarılan alana oranı olarak tanımlanmaktadır (Eşitlik (3.9)).

$$P_{AC} = \frac{A_C}{A_{DC}} \quad 0 \leq P_{AC} \leq 1 \quad (3.9)$$

Burada A_{DC} analiz ile çıkarılan tüm nesnelerin alanını, A_C ise A_{DC} alanının doğru olarak çıkarılan alanını temsil etmektedir. Doğruluk ölçütü aralığın 0 ile 1 arasında değişmektedir. Eğer tüm değerlendirilen nesneler referans verideki tüm veriler ile örtüşüyor ve boşta alan kalmıyor ise $P_{AC} = 1$ olarak elde edilir. Eğer analiz sonucu çıkarılan nesneler referans verideki hiçbir alan ile örtüşmüyor ise $P_{AC} = 0$ olarak hesaplanır (Cai vd., 2018).

Analiz sonucu doğru bir şekilde çıkarılan nesne alanları A_C 'nin referans veri alanı A_{RC} 'ye oranı tamlık (P_{RD}) olarak ifade edilir (Eşitlik (3.10)).

$$P_{RD} = \frac{A_C}{A_{RC}} \quad 0 \leq P_{RD} \leq 1 \quad (3.10)$$

Tamlık değeri 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Eğer analiz sonucu çıkarılan nesnelerin alanları referans verinin alanlarına eşit ise $P_{RD} = 1$ olarak hesaplanır. Eğer analiz sonucu elde edilen nesne alanlarının hiçbirisi referans veri alanları ile çakışmıyorsa $P_{RD} = 0$ olarak elde edilir (Cai vd., 2018).

Eşitlik (3.9) ve (3.10) doğruluk ve tamlık arasındaki etkileşimi göstermektedir. Örneğin büyük A_{DC} değeri düşük doğruluk sonuçlarına neden olurken, küçük A_{RC} değeri yüksek tamlık değerine neden olmaktadır. Bu durumu iyileştirmek için, doğruluk ve tamlık değerlerinin dengeleyen kalite (P_{AL}) değeri kullanılmaktadır (Eşitlik (3.11)).

$$P_{AL} = \frac{A_C}{A_{DC} + A_{RC} - A_C} \quad 0 \leq P_{AL} \leq 1 \quad (3.11)$$

Kalite değeri 0 ile 1 arasında değer almaktadır. Analiz sonucu çıkarılan verilerin alanları referans veri alanları ile tamamen aynı ise $P_{AL} = 1$ olarak hesaplanır. Analiz ile çıkarılan veri ile referans veri arasında herhangi bir kesişen alan yoksa $P_{AL} = 0$ olarak elde edilir (Cai vd., 2018).

4. İNSANSIZ HAVA ARACI GÖRÜNTÜLERİNDEN ELDE EDİLEN ÜRÜNLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde tez çalışması kapsamında kullanılan insansız hava aracının özellikleri ve veri toplama, veri işleme, heyelan çıkarımı işleminde kullanılacak verilerin üretimi ve üretilen verilerin değerlendirilmesi ile ilgili konular anlatılmıştır.

4.1. Tez Çalışması Kapsamında Kullanılan İnsansız Hava Aracı

Çalışma kapsamında Sensefly firması tarafından geliştirilen eBee Plus kanatlı İnsansız Hava Aracı (İHA) kullanılmıştır (Şekil 4.1). Bu insansız hava aracı herhangi bir alandan elle fırlatılıp gövde üzerine otomatik iniş yapabilen, tamamen otomatik uçuş özelliğine sahip bir cihazdır. Sistemin kontrolü Emotion-3 yazılımı ile kontrol edilmektedir. Bu yazılım aracılığı ile uçuş planı hazırlama, uçuş işleminin kontrolü ve verilerin işlenmesi için gerekli ön işlemler yapılabilmektedir.



Şekil 4.1. Sensefly eBee insansız hava aracının görünümü

Sisteme ait donanımsal, operasyonel ve sonuç ürün özellikleri Tablo 4.1’de verilmiştir. İHA sistemi fotogrametrik haritalama için geliştirilmiş Sensefly S.O.D.A kamera sistemi ile çalışmaktadır. Bu kamera sistemine ek olarak Red-Edge, Parrot Sequoia, thermoMAP, NIRGB gibi farklı kamera sistemleri de sistemle entegre çalışabilmektedir. eBee Plus İHA sistemi RTK/PPK sistemi ile entegre çalışabilmektedir. Bu sistem aktif hale getirildiğinde, sabit bir GNSS istasyonuna bağlanılarak X, Y, Z değerlerinde 3 – 5 cm doğrulukta ürün (ortomozaik ve SYM) üretilebilmektedir. Ayrıca RTK/PPK sistemi aktif olmadığında yer kontrol noktası kullanılarak aynı doğruluğa sahip ürünler üretilebilmektedir. Bu doğruluk değerleri üretici firma tarafından sunulan doğruluk değerleridir.

Tablo 4.1. *Sensefly eBee insansız hava aracının teknik özellikleri*

Donanımsal Özellikler	Kanat genişliği	110 cm
	Ağırlık (kamera ve batarya dahil)	1,1 kg
	Radyo link kapasitesi	3 km
	Kamera	Sensefly S.O.D.A
	Kamera (diğer)	Red-Edge, Parrot Sequoia, thermoMAP, NIRGB
Operasyonel Özellikler	Uçuş Hızı	40 – 110 km/sa
	Maksimum Rüzgar Dayanım hızı	45 km/sa
	Maksimu Uçuş zamanı	59 dakika
	Maksimum uçuş mesafesi	45 km
Sonuç Ürün Özellikleri	Yer örnekleme aralığı	En az 1 cm
	Mutlak X,Y,Z doğruluğu (RTK/PPK aktif)	3 – 5 cm
	Mutlak yatay/düşey doğruluk (Yer kontrol noktalı)	3 – 5 cm
	Mutlak yatay/düşey doğruluk (Yer kontrol noktasız)	1 – 5 m
	120 metre yükseklikten nominal alan kapatma	220 ha
	Maksimum alan kapatma (2000 metre yükseklik)	40 km ²

4.2. İHA Sistemi ile Veri Toplama İşlemleri

Bu bölümde Bartın Kurucası ile ve Rize Çayeli araştırma sahalarına ait veri toplama aşamaları anlatılmıştır. Çalışmada kullanılan İHA sistemi ile veri toplama işlemi klasik fotogrametrik iş süreçlerine benzer bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Veri toplama işlem adımları:

- Alana ait altlık verilerin elde edilmesi
- Uçuş planlaması
- Yer kontrol noktası yerleştirme ve ölçümü
- Uçuş işleminin gerçekleştirilmesi

Şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Alana ait altlık verilerin elde edilmesi

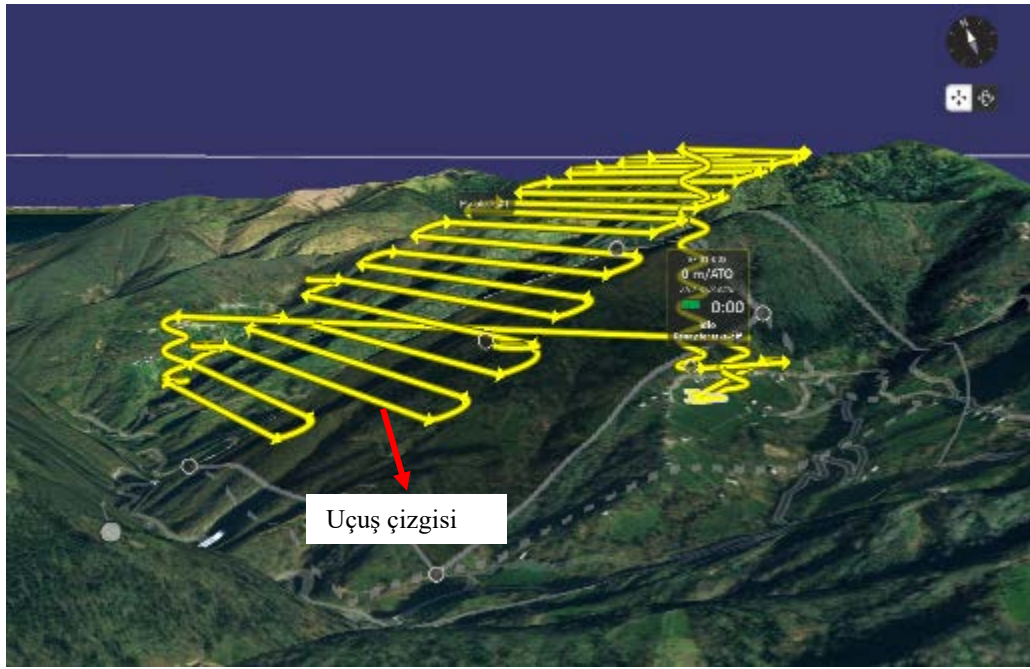
Çalışma kapsamında kullanılan İHA sisteminin uçuş planlaması Emotion -3 yazılımı aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Emotion – 3 yazılımı içerisinde birçok altlık olarak kullanılabilecek yüksek çözünürlüklü görüntü sunan altlık haritalar yer almaktadır. Tez çalışması kapsamında uçuş planlaması için yazılımın sunduğu Mikrosoft hibrit haritalar altlık olarak kullanılmıştır. Bundan dolayı alana ait farklı altlık haritalara ihtiyaç duyulmamıştır.

Uçuş planlaması

Çalışma sahasına ait fotoğrafların elde edilmesinden önce, Emotion-3 yazılımı ile alana ait bir uçuş planı hazırlanmaktadır. Bu uçuş planı hazırlama sürecinde enine bindirme, boyuna bindirme, uçuş yüksekliği ve ortalama yer örneklem aralığı gibi parametreler belirlenmektedir.

Tez çalışması kapsamında araştırma sahası olarak seçilen alanların her ikisi de engebeli topoğrafya sahip alanlardır. Bu alanlarda İHA sistemi ile elde edilecek fotoğraflarda standart bir yer örneklem aralığını yakalamak mümkün değildir. Çünkü İHA sistemleri genellikle fırlatıldıkları yerden itibaren belirlenen bir yükseklikten uçmaktadır. Uçuş yapılan alandaki tepe-vadi girinti çıkıntılarında, vadi içine düşen alanlarda çözünürlük düşerken tepelik alanlarda çözünürlük artmaktadır. eBee İHA sisteminde bu problemin önüne geçmek için eMotion-3 yazılımında SRTM (Shuttle RADAR Topographic Mission) verisinden üretilen arazi modeline göre uçuş planlaması yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu arazi modeline göre yapılan uçuş planlamalarında, İHA sistemi uçuş doğrultusu altında kalan yükseklik değerine göre yüksekliğini ayarlayıp uçuş işlemini gerçekleştirmektedir. Bu sayede vadi – tepe gibi nedenlerden dolayı ortalama yer örneklem aralığı yaklaşık aynı tutulmaya çalışılmaktadır. Şekil 4.2’de örnek bir uçuş planı gösterilmiştir. Bu uçuş planından da anlaşılacağı üzere arazi yüksekliğine bağlı olarak İHA yüksekliğini artırmakta ve uçacak alan üzerinden sabit bir yükseklik ile uçmaktadır. Tez çalışması kapsamında Kurucaşile ve Çayeli alanlarında yapılan uçuşlar S.O.D.A kamera sistemine göre yer örneklem aralığı 5 cm olacak şekilde planlanmıştır. Bu örneklem aralığına göre görüntülerin çekileceği yükseklik yerden 212 metredir. Seçilen bu 212 metrelik yükseklik Emotion-3 yazılımında İHA’nın uçacağı uçuş çizgisi altında kalan arazinin en yüksek noktasına göre belirlenmekte ve o uçuş çizgisinde, uçuş belirlenen yükseklikten yapılmaktadır. Bu işlem her bir uçuş çizgisi için yapılmaktadır. Uçuş planlaması aşamasında belirlenen yer örneklem aralığı genellikle teoride belirlenen bir değer olup, uçuş işlemi sonucunda elde edilen fotoğraflarda bu yer örneklem değeri daha düşük çözünürlüklerde (örn. 6-7 cm gibi) karşımıza çıkmaktadır. Bu değer fotoğraf çekilen alanın tamamen düz olduğu varsayımı üzerine belirlenen bir değerdir. Ancak Karadeniz bölgesinde K-D veya G-B yönlü uçuşlar yapılsın uçuşlarda elde edilen görüntülerin ortalama görüntü çözünürlük değerleri planlan çözünürlükten düşük olmaktadır. Bunun nedeni dağlık bölgelerde sürekli bir girinti çıkıntı olmasıdır. Çalışma

kapsamında tüm alanlara yönelik uçuş planlaması 5 cm yer örneklem aralığına göre planlanmıştır. Ancak çekilen fotoğraflardan üretilen ortofoto ve sayısal yüzey modelinin çözünürlükleri daha düşük çözünürlüktedir. Örneğin Kurucaşile tez araştırma sahası için uçuş işlemleri 5 cm çözünürlüğe göre gerçekleştirilmiş, üretilen ürünler 10 cm çözünürlüğe göre üretilmiştir. Çayeli araştırma sahası içinde 10 cm çözünürlüklü ürünler üretilmiştir. Çalışma kapsamında tüm uçuşlar için enine ve boyuna bindirme oranları %75 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2. eMotion -3 yazılımında hazırlanmış uçuş planı örneği

Yer kontrol noktalarının yerleştirilmesi ve ölçülmesi

Çalışmada kullanılan eBee Plus İHA sistemi RTK özelliği olan bir sistemdir. Bu sistem aracılığı ile araziye yer kontrol noktası yerleştirilmeden, yer kontrol noktaları ile yaklaşık aynı hassasiyete sahip veriler üretilebilmektedir. Tez çalışması kapsamında çalışma sahalarına herhangi bir yer kontrol noktası yerleştirilmemiştir. RTK sistemi aracılığı ile ülkemizin kullandığı TUSAGA-Aktif sistemine bağlı olarak bir adet kontrol noktası tesis edilip, bu nokta sayesinde çekilen tüm fotoğrafların orta noktaları hassas bir şekilde elde edilebilmektedir. Ancak arazi çalışmaları kapsamında kullanılan GNSS sistemine ait TUSAGA-Aktif sisteminde yaşanan problemler nedeni ile RTK özelliği etkin olarak kullanılamamıştır. Çalışma sahalarında çok sarp alanlar olduğu için alana yer kontrol noktaları da yerleştirilememiştir. Kısaca özetlemek gerekirse tez çalışması

kapsamında araziye yer kontrol noktası tesis edilmemiş ve RTK sistemi aktif olarak kullanılamamıştır. Bu durumda üretilen veriler ülke koordinat sistemi ile eşleştirildiğinde yatayda yaklaşık 1 metrelik kayıklık, düşeyde yaklaşık 5 metrelik sapma meydana gelecektir. Ancak bu durum tez çalışmasının amacını etkileyen bir durum değildir. Çünkü üretilen veriler kendi içinde tutarlı ve doğrudur. Ülke koordinat sistemine hassas bir şekilde oturan bir veri seti üretilmek istenilirse, alana ya yer kontrol noktası yerleştirilmeli, ya da RTK sistemi aktif bir şekilde hava fotoğrafları elde edilmelidir.

Uçuş işleminin gerçekleştirilmesi

Tez çalışması kapsamında test alanlarını kapsayan toplam 9 adet uçuş gerçekleştirilmiştir. Bunlardan; Bartın Kurucaşile için 3 adet uçuş, Rize Çayeli içinde 6 adet uçuş işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan İHA sistemi kanatlı bir sistemdir. Bu sistemin Karadeniz Bölgesi gibi düz alanların az bulunduğu ve yüksek ağaçların bulunduğu coğrafyalarda kullanılmasında bir takım kısıtlamalarının olduğu yapılan arazi çalışmalarında gözlemlenmiştir. Bu kısıtlamalardan en önemlisi, İHA sisteminin iniş işleminde karşılaşılan düz alan bulma problemidir. İHA sisteminin sağlıklı bir iniş yapabilmesi için yaklaşık 250 metrelik bir iniş güzergâhının yüksekliğinde ani değişimler olmaması ve ineceği güzergâhta yüksek ağaçların bulunmaması gerekmektedir. Ancak bu koşul Karadeniz bölgesi için kolay bulunan bir özellik değildir. Arazi çalışmalarında bu özelliği sağlayan alanlar çok zor bulunmuştur. Bundan dolayı, Karadeniz bölgesi gibi alanlarda insansız hava aracı ile yapılacak haritalama çalışmalarında dikey iniş ve kalkış yapabilen İHA sistemlerinin kullanılmasında fayda olacaktır. Bu özellikler günümüzde, genellikle pervaneli İHA sistemleri ile sağlanabilecek özelliklerdir.

4.3. Veri İşleme

Arazi çalışmaları kapsamında elde edilen veriler Pix4D Mapper Pro vers. 4.2.25 yazılımı aracılığı ile işlenmiştir. Bu yazılım aracılığı ile çalışma alanlarına ait nokta bulutu verisi, ortofoto, sayısal yüzey modeli (SYM), sayısal arazi modeli (Mezaal vd.,), gri seviyeli ortofoto görüntü üretilmesi mümkündür. Pix4D Mapper Pro yazılımı ile veri işleme aşaması 3 ana işlem adımından oluşmaktadır. Bunlar (i) öncül işleme, (ii) yoğun

nokta bulutu ve katı model üretimi, (iii) ortomozaik, sayısal yüzey modeli, sayısal arazi modeli ve indeks üretimi aşamalarıdır.

(i) Öncül işleme

Yazılım aracılığı ile öncelikle girdi olarak kullanılan görüntülerin kalibrasyonları gerçekleştirilmektedir. Daha sonra kalibre edilen görüntülerin eşleştirilmesi ile fotoğraf çiftleri için bağlantı noktaları elde edilmektedir. Pix4D Mapper Pro vers. 4.2.25 yazılımı eşleştirme stratejisi olarak düzenli uçuşlarda hava grid veya koridor yöntemini önermektedir. Tez çalışmasında bağlantı noktalarının elde edilmesi için tüm uçuş verilerinde bu strateji kullanılmıştır. Görüntü çiftlerindeki eşlenik noktalar bulunduğundan sonra otomatik havai üçgenleme ve ışın demetleri ile dengeleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Dış yöneltme parametreleri havai üçgenleme ve ışın demetleri ile dengeleme işlemi sonucunda hesaplanmaktadır. Havai üçgenleme işleminden sonra öncelikle kameranın 3 boyutlu konumu ve yönelimleri hesaplanmaktadır. Ayrıca bu aşamada bağlantı noktalarının 3 boyutlu koordinatları da hesaplanmaktadır. Otomatik havai üçgenleme sonuçları ışın demetleri ile dengeleme için girdi olarak kullanılmaktadır. Dış yöneltme parametreleri ise ışın demetleri ile dengeleme işlemi sonucunda hesaplanmaktadır. Kamera iç yöneltme parametreleri yazılımda daha önceki girilmiş değerler olarak kabul edilir. İHA sisteminde kullanılan küçük kameralar sıcaklık ve titreşim gibi dış etkenlere son derece duyarlıdır. Bu etkenler kamera kalibrasyonlarını etkilemektedir. Bundan dolayı öncül işleme aşamasında başlangıçta projeye tanıtılan kalibrasyon parametreleri ve distorsiyonlar, ışın demetleri dengeleme işlemi sonucunda yeniden optimize edilmektedir. Öncül işleme işlemi sonucunda yöneltme parametrelerinin optimizasyonu ve ışın demetleri ile dengeleme sonucunda bağlantı noktalarından oluşan seyrek nokta bulutu üretilmektedir (Şekil 4.3). Bu nokta bulutu yoğun nokta bulutu üretiminde girdi olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4.3. *Pix4D Mapper Pro vers. 4.2.25 yazılımında öncül işleme sonucu elde edilen bağlantı noktaları örneği*

(ii) Yoğun nokta bulutu ve katı model üretimi

Bu aşamada yoğun nokta bulutu üretimi, üretilen nokta bulutunun sınıflandırılması ve üçgenlenmiş katı model (mesh) üretimi gerçekleştirilmektedir. Yoğun nokta bulutu üretimi, hem ortofoto hem de sayısal yükseklik modelinin hassas üretimi için önemlidir.

Yoğun nokta bulutu üretme işlemi, öncül işleme aşamasından üretilen bağlantı notlarının sıklaştırılması ile elde edilmektedir. Pix4D Mapper Pro yazılımında yoğun nokta bulutu üretimi için tanımlanması gereken birkaç parametre bulunmaktadır. Bunlar görüntü ölçeği, nokta yoğunluğu ve minimum eşleştirilecek görüntüdür.

Görüntü ölçeği yazılımda farklı değerler (1, 1/2, 1/4, 1/8) olarak tanımlanabilmektedir. Bu değerlerden görüntü ölçeği 1 seçildiğinde üretilen nokta sayısı artmaktadır. Ancak genellikle 1/2 ölçekli, yani görüntünün yarı boyutu nokta bulutu üretimi için önerilmektedir. Görüntü ölçeği düştükçe üretilen nokta sayısı azalmakta ve veri işleme hızı artmaktadır.

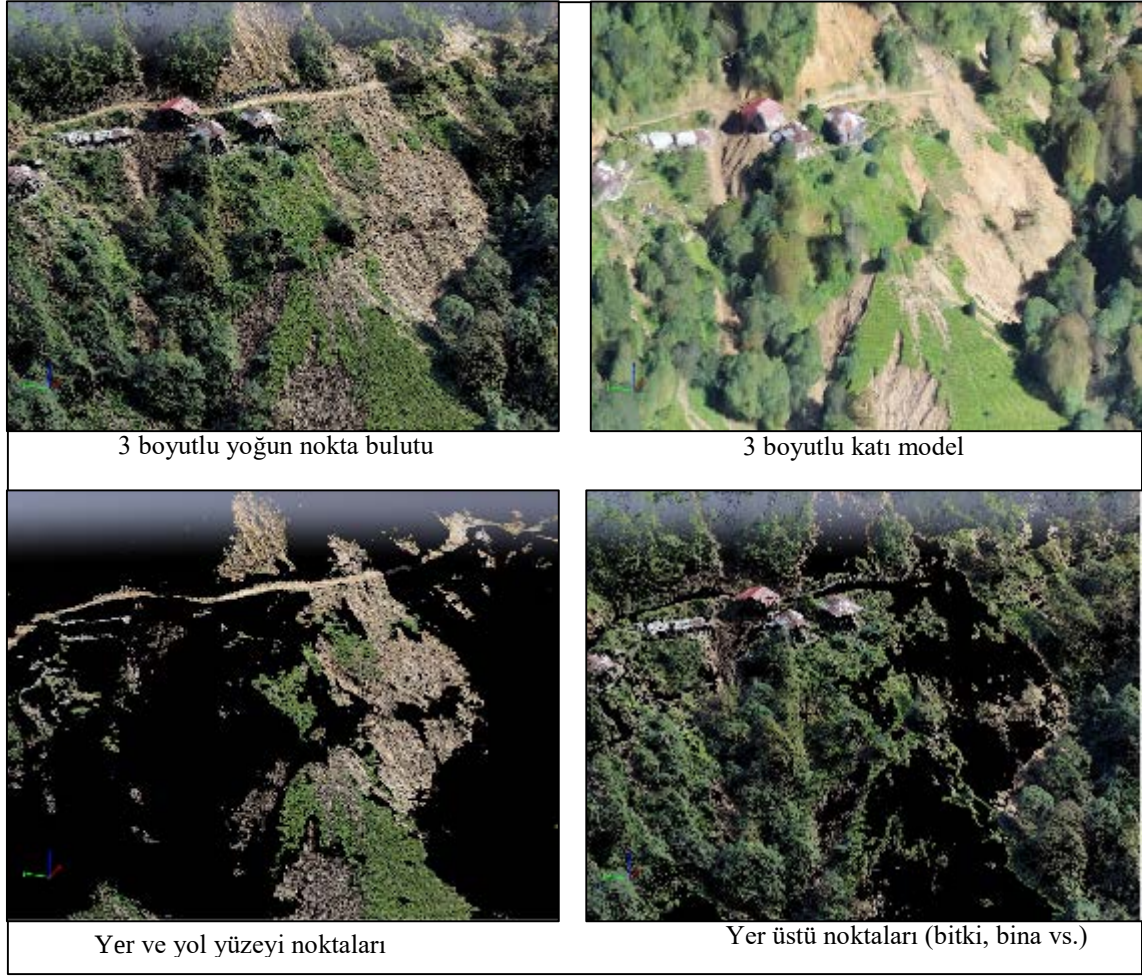
Nokta yoğunluğu üretilecek 3 boyutlu noktanın kaç pikselde bir üretileceği ile ilgili bir parametredir. Yazılımda optimum, yavaş ve hızlı olmak üzere üç farklı seçenek bulunmaktadır. Bu değerlerden optimum hem hız hem de üretilecek nokta bulutu kalitesi için önerilen değerdir. Görüntü ölçeği, 1/2 ve nokta yoğunluğu optimum seçildiğinde orijinal görüntünün her 8 pikselinde bir 3 boyutlu nokta üretilmektedir. Bu değer nokta bulutu yoğunluğu üretimi için yeterli görülmektedir.

Minimum eşleştirilecek görüntü değeri, üretilen 3 boyutlu her bir noktanın en az kaç görüntüde doğru bir şekilde eşleştirildiğini gösteren bir kavramdır. Bu değer yazılımda, 2 ile 6 arasında değişen değerler alabilmektedir. Önerilen değer ise üretilen noktaların minimum 3 görüntüde eşleştirilmesidir.

Tez çalışması kapsamında her bir uçuşa ait verilerin işlenmesi aşamasında nokta bulutu üretim ayarları olarak, görüntü ölçeği 1/2 (orijinal görüntünün yarı boyutu), nokta yoğunluğu optimum ve minimum eşleştirilecek görüntü sayısı 3 seçilerek tüm veriler bu değerlere göre üretilmiştir.

Yoğun nokta bulutu üretimi aşamasında üretilen nokta bulutları sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma işleminde nokta bulutu, yol, yer noktası, bitki, bina, insan yapımı objeler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma işlemi sonucu elde edilen yol ve yer noktaları kullanılarak sayısal arazi modeli üretimi işlemi gerçekleştirilmektedir. Nokta bulutu sınıflandırılması makine öğrenme algoritmaları temeline dayanmaktadır. Sınıflandırma işleminde hem noktaların geometrik dağılımları hem de renk bilgileri kullanılır. Makine öğrenme algoritmalarında eğitim verisi önemli bir bölümü oluşturmaktadır. Bu öğrenme sürecinde tanımlanmış sınıfların özelliklerini taşıyan alanlarda nokta bulutu sınıflandırma işlemi iyi sonuçlar vermektedir (Becker vd., 2017).

Yoğun nokta bulutu üretimi aşamasından sonra oluşturulan verinin 3 boyutlu sunumu ve animasyonu gibi işlemlerde kullanılabilecek 3 boyutlu katı model üretimi işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada belirlenen maksimum üçgen sayısı, en kısa üçgen kenarı gibi parametreler girilerek nokta bulutu içinde yer alan noktaların üçgenlenmesi ile düşük, orta ve yüksek çözünürlükte katı modeller üretilmektedir. Şekil 4.4’de yoğun nokta bulutu ve katı model üretimi aşamasında üretilen yoğun nokta bulutu, katı model, nokta bulutu sınıflandırması sonucu elde edilen yer noktaları ve yer üstü noktaları verilerine örnekler gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Veri işleme aşamasında üretilen yoğun nokta bulutu verisi, 3 boyutlu katı model, nokta bulutunun sınıflandırılması sonucu elde edilen yer ve yol yüzeyi noktaları ile yer üstü noktaları

(iii) Ortomozaik, sayısal yüzey modeli ve sayısal arazi modeli üretimi

Veri işleme aşamasının bu bölümünde çalışma sahasına ait ortomozaik, SYM, SAM ve isteğe bağlı indeks üretimi gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 4.5). Alana ait yoğun nokta bulutu verisinden sayısal yüzey modeli üretiminde yazılım tarafından iki farklı yöntem kullanılabilir. Bunlardan birincisi delunay üçgenleme yöntemi ile sayısal yüzey modeli üretme, ikincisi ise uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yöntemine göre yapılan üçgenleme işlemidir. Genellikle düz alanlarda üretilen sayısal yüzey modellerinde delunay üçgenleme yöntemi önerilirken, binaların ve eğimin fazla olduğu alanlarda uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yöntemi önerilmektedir. Tez çalışması kapsamında çalışma sahalarının eğimi yüksek olduğu için, üretilen tüm yükseklik

modelleri uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma yöntemine göre yapılmıştır. Ortomozaik üretimi işleminde ise üretilen sayısal yüzey modeli kullanılarak görüntülerdeki perspektif bozukluklar giderilir ve tüm alan için doğru ortomozaik görüntü üretilir.

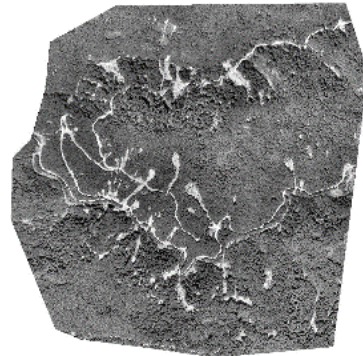
Alana ait SAM üretim işleminde, nokta bulutunun sınıflandırılması ile elde edilen yer noktaları ve yol yüzeyine ait noktalar kullanılır. Pix4D Mapper Pro yazılımı ile üretilen SAM verisinin çözünürlüğü, ortomozaik ve SYM verisinde 5 katı daha düşük konumsal çözünürlükte üretilmektedir. Örneğin SYM verisinin çözünürlüğü 10 cm ise SAM verisi 50 cm çözünürlükte üretilmektedir.

Veri üretim aşamasının son kısmında indeks olarak gri seviyeli görüntü üretilmiştir. Bu verinin üretilmesinde Eşitlik (4.1)'dan faydalanılmıştır. Heyelan çıkarımı kapsamında ortomozaik verisinin kırmızı, yeşil ve mavi bantlarından farklı indisler üretilmiştir. Bu indisleri üretilmesinde heyelan çıkarımında kullanılan eCognition Developer vers. 9.0 yazılımından faydalanılmıştır.

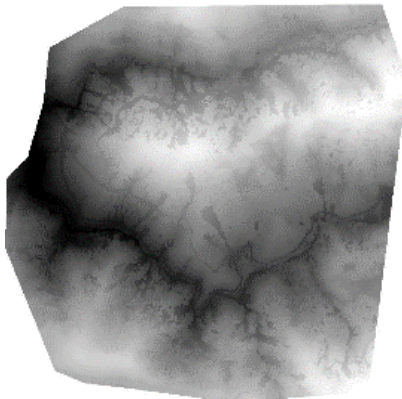
$$Gri\ seviye = 0,2126 * Kırmızı + 0,7152 * Yeşil + 0,0722 * Mavi \quad (4.1)$$



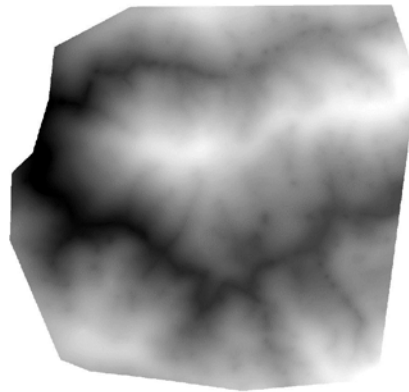
Ortomozaik



Gri seviyeli görüntü



Sayısal Yüzey Modeli (SYM)



Sayısal Arazi Modeli (Mezaal vd.,)

Şekil 4.5. Veri işleme aşaması sonucunda üretilen ortomozaik, gri seviyeli görüntü, sayısal yükseklik modeli ve sayısal arazi modeli örnekleri

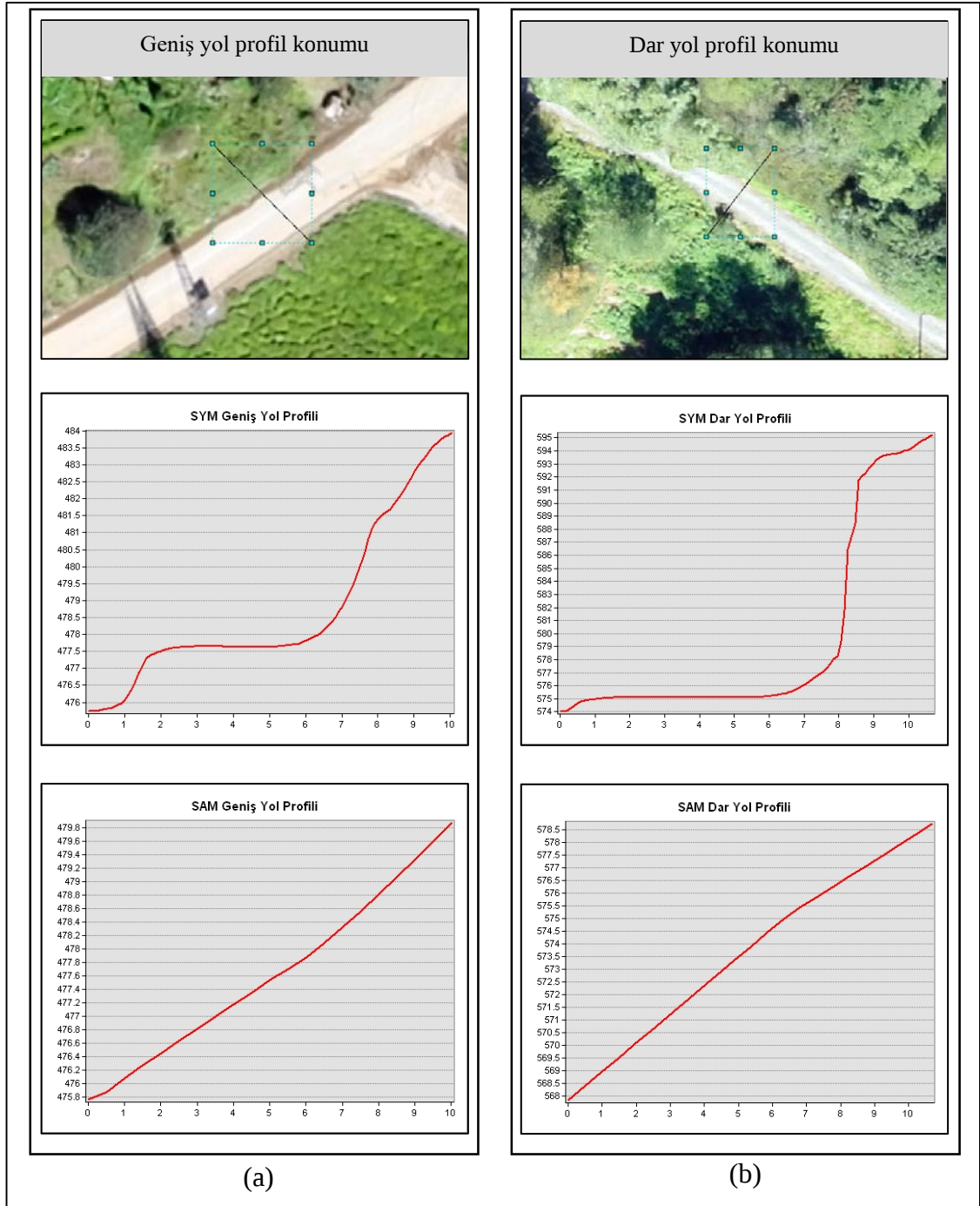
4.4. Üretilen Sayısal Yükseklik Modellerinin Değerlendirilmesi

Uydu görüntüsü tabanlı yapılan heyelan haritalama çalışmalarında heyelanların çıkarılmasında sadece spektral bantlar yeterli olmamaktadır. Bunun yanında eğim, eğrisellik gibi heyelanlara ait morfometrik parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır (Martha vd., 2010). Bu parametrelerin üretilmesi için sayısal yükseklik modelleri kullanılmaktadır. Nesne tabanlı heyelan haritalama çalışmalarında sayısal yüzey modelleri uydu görüntüleri ile beraber kullanılabildikleri gibi LIDAR verisinden üretilen Sayısal Arazi Modelleri tek başına kullanılarak yapılan heyelan haritalama çalışmaları vardır (Van Den Eeckhaut vd., 2012; Li vd., 2015).

İnsansız hava aracı verilerinden sayısal yükseklik modeli olarak Sayısal Arazi Modeli (Mezaal vd.,) ve Sayısal Yüzey Modeli (SYM) üretilmesi mümkündür. Bu bölümde çalışma sahalarına ait üretilen SAM ve SYM verilerinin heyelan haritalama çalışmalarında kullanılabilişlikleri tartışılmıştır.

Çalışma sahaları yoğun olarak bitki ile kaplıdır. Bitki alanları ile heyelanların ayrıştırılması için ortomozaik verinin spektral bantlarından faydalanılması mümkündür. Alanlarda bulunan heyelanların spektral yansımaları yollara benzer şekildedir. Bundan dolayı bu alanların ayrılması için spektral bantların yanında eğim gibi yükseklik modelinden üretilen parametrelere ihtiyaç vardır. Bu kapsamda çalışma alanında yer alan yolların yükseklik profillerinin ve eğimlerinin SAM ve SYM verisi üzerinde nasıl değiştiği incelenmiştir.

Yollar üzerindeki SAM ve SYM verilerinin profillerinin nasıl değiştiğini incelemek için çalışma sahalarında bulunan geniş ve dar yollar üzerinden profiller geçirilmiştir. Çalışma sahaları genel itibarı ile köyler ve ormanlık alanlardan oluştuğu için çok geniş yollar bulunmamaktadır. Yollar genel olarak 7 metre ile 3.5 metre arasında değişmektedir. Bu kapsamda alanda geniş ve dar olarak görülen yollar üzerinden alınan yükseklik profilleri Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.6(a)'da geniş bir yol Şekil 4.6(b)'de dar bir yol üzerinden profiller geçirilmiştir. Yolun başladığı ve bittiği yerleri görmek amacıyla profiller yol genişliğinden daha uzun olarak geçirilmiştir. Geniş ve dar olarak geçirilen profiller incelendiğinde hem geniş yollar hem de dar yollar üzerinde SYM verisinde yükseklik değeri yol genişliğinin başlangıcından sonuna doğru yaklaşık olarak sabit bir olarak devam etmektedir. SAM verisinde ise yol genişliğinin başından sonuna doğru yükseklik değeri doğrusal bir şekilde artmaktadır (Şekil 4.6).

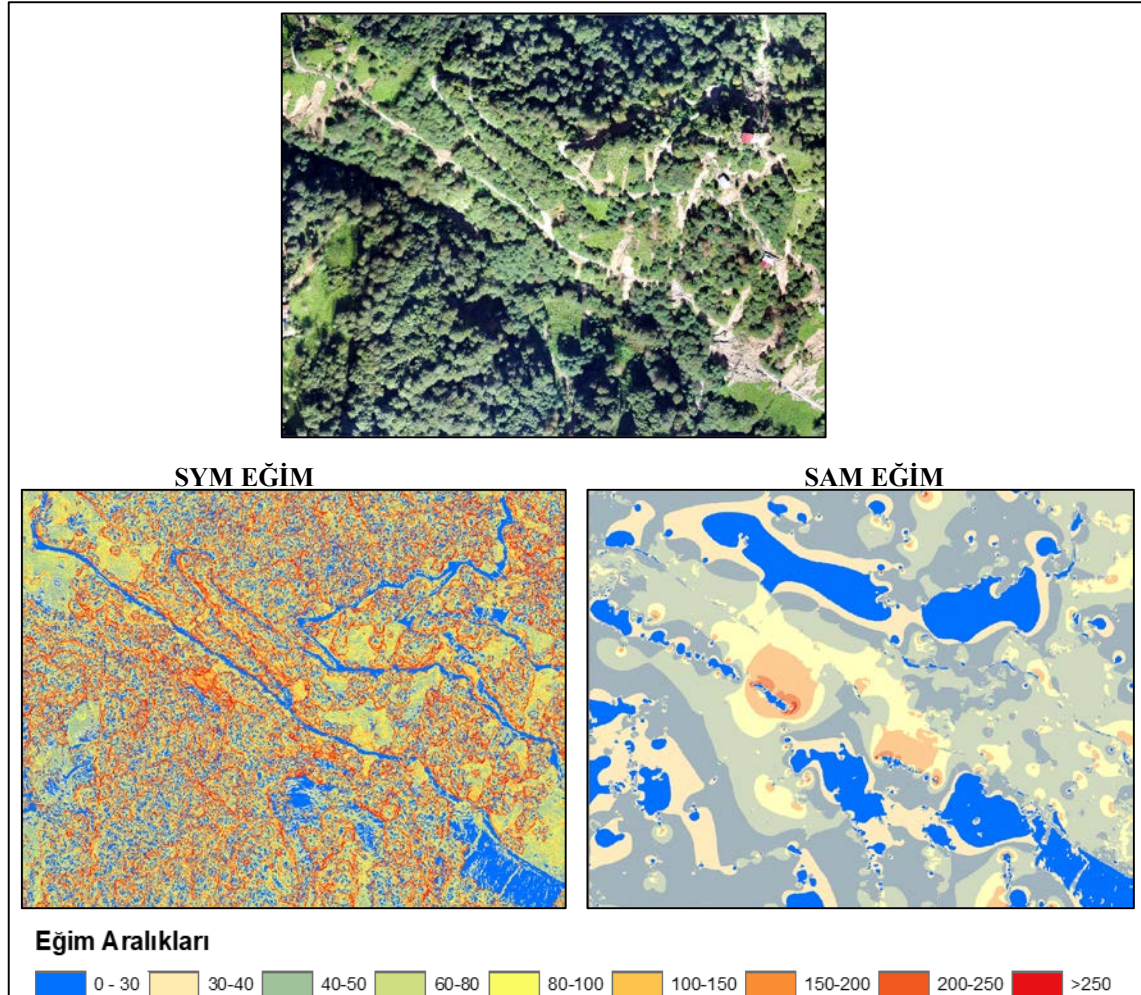


Şekil 4.6. Yol profillerinin SYM ve SAM verileri üzerindeki değişimi: (a): geniş yol üzerindeki değişim; (b): dar yol üzerindeki değişim

Çayeli ve Kurucaşile araştırma sahalarına ait SAM ve SYM verilerinin yollardaki değişimi genel olarak incelendiğinde yol kenarlarında yüksek ağaçlar var ise bu alanlarda SAM verisindeki yollar Şekil 4.6’da gösterildiği gibi değişmektedir. Eğer yol kenarı

ağaçsız ve düşük eğimli ise bu gibi alanlarda SAM verisi üzerinden yollar ayırt edilebilecek özelliktedir. SYM yol profillerinde olduğu gibi ayırt edilebilecek özelliktedir. SYM verisinde ise yollar çok yoğun şekilde ağaçlarla kaplı değil ise, hemen hemen her yerde ayırt edilebilecek özelliktedir.

Çalışma sahalarında yolların eğim verileri üzerinde nasıl değiştiklerini incelemek için SAM ve SYM verisinden eğim haritaları üretilmiştir. Şekil 4.7’de örnek bir alan üzerindeki her iki veri setinden üretilen eğim değerleri gösterilmiştir. Çalışma sahalarındaki yolların eğimleri %30’lara kadar çıkmaktadır. Bundan dolayı eğim değerlerinin alt sınırı %30 olarak verilmiştir. Şekil 4.7 incelendiğinde, SYM verisinden üretilen eğim verisinde yollar net bir şekilde görülürken SAM verisinden bu detay ayırt edilmesi mümkün olmamaktadır.



Şekil 4.7. Yol detaylarının SYM ve SAM verisinden üretilen eğim haritaları üzerindeki ayırt edilebilirliği

İHA sistemi üzerine takılı olan dijital kamera ile optik görüntüler elde edilmektedir. SAM ve SYM üretiminde kullanılan nokta bulutları bu görüntülerden piksel tabanlı olarak üretilmektedir. Optik algılama sistemler ile alanda yer alan orman gibi kapalı alanların altından nokta verisi elde etmek mümkün değildir. Dolayısı ile optik görüntülerden üretilen sayısal arazi modelinin LİDAR gibi aktif bir sistemden üretilen arazi modeli gibi kaliteli bir arazi modeli olması mümkün olmamaktadır. Çalışma kapsamında SAM verisi, makine öğrenme temeline dayanan ve nokta bulutundaki noktaların geometrik özellikleri ve renk bilgilerini kullanarak elde edilen yer noktası ve yollar kullanılarak üretilmiştir. Yer noktası olarak algoritma ile heyelan gibi açık alanlardan veya yol alanlarından noktalar üretebilmektedir. Orman altında kalan yerlerden herhangi bir nokta üretilmemektedir. Bu durum SAM verisinde arazi topoğrafyasının düzgün bir şekilde çıkarılmasına engel oluşturmaktadır. Örneğin ağaçlarla kaplı tepelik bölgeler genellikle düz bir alan olarak SAM verisinden elde edilmektedir.

SYM ve SAM verisine ait yükseklik profilleri ve eğim verilerindeki değişimlerin incelenmesi sonucunda yol detaylarının heyelanlardan ayırt edilmesinde SYM verisinin daha başarılı olacağı görülmektedir.

4.5. Uzman Heyelan Olay Envanter Haritalarının Oluşturulması

Çalışma kapsamında araştırma sahası olarak seçilen Bartın – Kurucaşile ve Rize – Çayeli alanlarına yönelik olarak uzman tarafından heyelanların elle sayısallaştırma ile haritalanması gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan heyelan olay haritaları çalışma kapsamında geliştirilen modellerin doğruluk analizi için kullanılmıştır. Heyelanların haritalanması ortomozaik görüntü üzerinden gerçekleştirilmiş ve haritalama sürecinde, heyelanların başlangıç bitiş yerleri, sürekliliklerin anlaşılması için 3 boyutlu nokta bulutu verisi ve 3 boyutlu katı model verisinden faydalanılmıştır. Araştırma sahalarına ait heyelanlar yaklaşık 10 günlük bir süre içinde uzman tarafından sayısallaştırılmıştır. Uzman tarafından haritalanan heyelan sayıları Tablo 4.2’de gösterilmiştir. Tablo 4.2 incelendiğinde, Kurucaşile alanı için toplam 501 adet, Çayeli alanı için toplam 1057 adet heyelan üretildiği görülmektedir.

Tablo 4.2. Araştırma sahalarına ait uzman tarafından üretilen heyelan sayıları

Alan Adı	Kurucaşile Araştırma Sahası		Çayeli Araştırma Sahası		
	Model Alanı	Test Alanı	Model Alanı	Test Alanı 1	Test Alanı 2
Heyelan Sayısı	236	265	388	332	337

Üretilen heyelanlar alansal olarak değerlendirildiğinde, Kurucaşile araştırma sahasındaki heyelanlardan en küçük alana sahip olan heyelanın alanı 18 m², en büyük alana sahip olan heyelanın alanı ise 14350 m²'dir. Bu alanda yer alan heyelanların 170 tanesi çok küçük heyelan, 292 tanesi küçük heyelan ve 39 tanesi orta büyüklükteki heyelan sınıfına girmektedir. Çayeli alanında haritalanan heyelanlardan en küçük alana sahip olan heyelan 14 m² ve en büyük alana sahip heyelan 4000 m² alana sahiptir. Çayeli araştırma sahasında yer alan heyelanların 588 tanesi çok küçük heyelan, 563 tanesi küçük heyelan, 6 tanesi de orta büyüklükteki heyelan sınıfına girmektedir.

Araştırma sahalarında yer alan heyelanlar derinlerine göre incelendiğinde çalışma sahalarında gelişen heyelanların derinlikleri 5 metreden küçük sığ heyelanlardır. Bu heyelanlar çok sığ heyelanlar ve sığ heyelanlar olarak karşımıza çıkmaktadır.

Haritalanan heyelanların eğimleri incelendiğinde Kurucaşile araştırma sahasında yer alan heyelanların eğimleri % 30'dan büyüktür. Çayeli alanında yer alan heyelanların 15 tanesinin eğimleri %30'un altında, geriye kalan diğer heyelanların eğimleri ise %30'un üstünde yer almaktadır. Çayeli alanında %30 eğimin altında kalan heyelanlar genel olarak yollardan taşan suyun yol altlarında düşük eğimli yerlerde toprağı sürmesi ile oluşturduğu heyelanlardır.

5. YOĞUN ORMAN ALANLARINDAKİ HEYELANLARININ HARİTALANMASI

Bu bölümde yerleşim yapılarının olmadığı yoğun orman örtüsü ile kaplı alanlarda nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile heyelanların haritalanması tartışılmıştır. Bu kapsamda 12-13 ağustos 2016 tarihinde meydana gelen Bartın Kurucaşile heyelanları incelenmiştir. Çalışma kapsamında uygulanan iş akış şeması Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



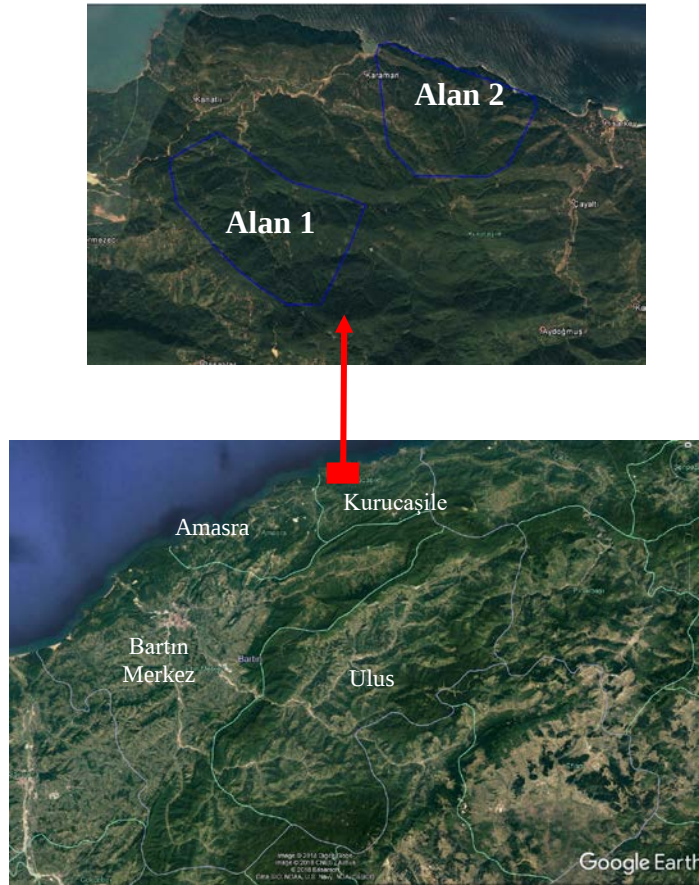
Şekil 5.1. Kurucaşile alanı heyelan haritalaması iş akış şeması

5.1. Bartın Kurucaşile Heyelanları Olay Bilgisi

12-13 Ağustos 2016 tarihinde şiddetli yağışlar nedeni ile Bartın ili Amasra ve Kurucaşile ilçeleri yoğun bir şekilde etkilenmiştir. Bu yağışlar sonucunda bölgede büyük bir sel felaketi yaşanmıştır. Bartın Meteoroloji Müdürlüğü gözlem kayıtlarına göre 12 - 13 Ağustos 2016 tarihlerinde toplam 170,7 mm yağış kayıt edilmiştir. Yağışın 114,5 mm’si 13 Ağustos 2016 tarihinde 04:22 – 16:22 arasında 12 saatlik süre içinde yağmıştır. Bartın ili uzun yıllar (1950-2015) Ağustos ayı aylık yağış ortalaması 76,5 mm’dir. Söz konusu tarihte meydana gelen yağış, Ağustos ayı ortalamasının 2 katından fazladır. Amasra ilçesinde 2 günde toplam 65,4 mm yağış kayıt edilmiştir. Kurucaşile’de 2 günlük yağış miktarı ise RADAR görüntülerinden elde edilen verilere göre yaklaşık 188 mm olduğu tespit edilmiştir (Bulut, 2016).

Bölgede meydana gelen yağışlar nedeni ile çok sayıda heyelan oluşmuştur. Bölgedeki havzalar jeolojisi ve topoğrafyası itibarı ile heyelana çok müsait konumdadır.

Heyelanların birçoğu yamaç akması şeklinde meydana gelmiştir. Yamaç akmasında ana kayanın yamaç eğrisinde doğru tabakalı yapısı en büyük etkenlerden birisi olmuştur. Yamaçlarda oluşan akmalar, ağaçlarla birlikte dere mecralarına intikal etmiş ve bölgede meydana gelen taşkın boyutunu arttırmıştır (Bulut, 2016). Şekil 5.2’de 12 – 13 ağustos tarihlerinde meydana gelen afet olayı sonrası etkilenen havzalar kırmızı sınır çizgisi ile gösterilmiştir. Bu alanlardan heyelanların en yoğun olduğu bölge olan Kurucaşile alanında iki farklı örneklem alan seçilmiştir. Bu bölümde alan 1 üzerinde yapılan heyelan haritalama uygulamasına yer verilmiştir.



Şekil 5.2. Test sahası olarak seçilen alanların Google Earth görüntüsü üzerinden görünüşü

5.2. Çalışma Alanına Ait Verilerin Elde Edilmesi

Bartın Kurucaşile çalışma sahasına ait verilerin elde edilmesi için öncelikle 19-20 Kasım 2016 tarihlerinde araziye gidilmiştir. Ancak bu tarihlerde heyelanların olduğu yamaçlarda gölge miktarı çok fazla olduğu için bu verilerden faydalanılamamıştır. İkinci bir arazi ölçümü için çalışma sahasına olaydan yaklaşık bir yıl sonra 7-8 Eylül 2017

tarihinde gidilmiştir. Bu tarihlerde Şekil 5.2’de Alan 1 ve Alan 2’ye ait alanlarda İHA ile veriler toplanmıştır. Araştırma sahalarında Alan 2’de yer alan heyelanların içinde yeşillenme miktarı fazla olduğu için bu bölümde yeşillenme miktarı daha az olan Alan 1 üzerinde çalışılmıştır (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Kurucaşile alanında seçilen test sahalarında yer alan heyelanların Alan 1 ve Alan 2’de görülen yeşillenme miktarları

Alan 1’e ait verilerin elde edilmesinde Sensefly eBee Plus insansız hava aracı kullanılmıştır. Bu araç ile tüm alana ait görüntülerin çekilmesi için 3 farklı uçuş işlemi gerçekleştirilmiştir. Uçuş işleminde 20 MP çözünürlüklü görünür bölgede algılama yapan S.O.D.A KYM dijital kamera kullanılmıştır. Elde edilen görüntü ve uçuş bilgileri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Bartın Kurucaşile Alan 1 ormanlık alanına yönelik yapılan veri toplama aşamasına ait uçuş bilgileri

Alan Adı	Uçuş	Çekilen Fotoğraf Sayısı	Yer Örneklem Aralığı	Enine Bindirme	Boyuna Bindirme	Uçuş Yüksekliği
Alan 1 (SODA Kamera)	1. Uçuş	410	5 cm	%70	%75	212 m
	2. Uçuş	383	5 cm	%70	%75	212 m
	3. Uçuş	393	5 cm	%70	%75	212 m

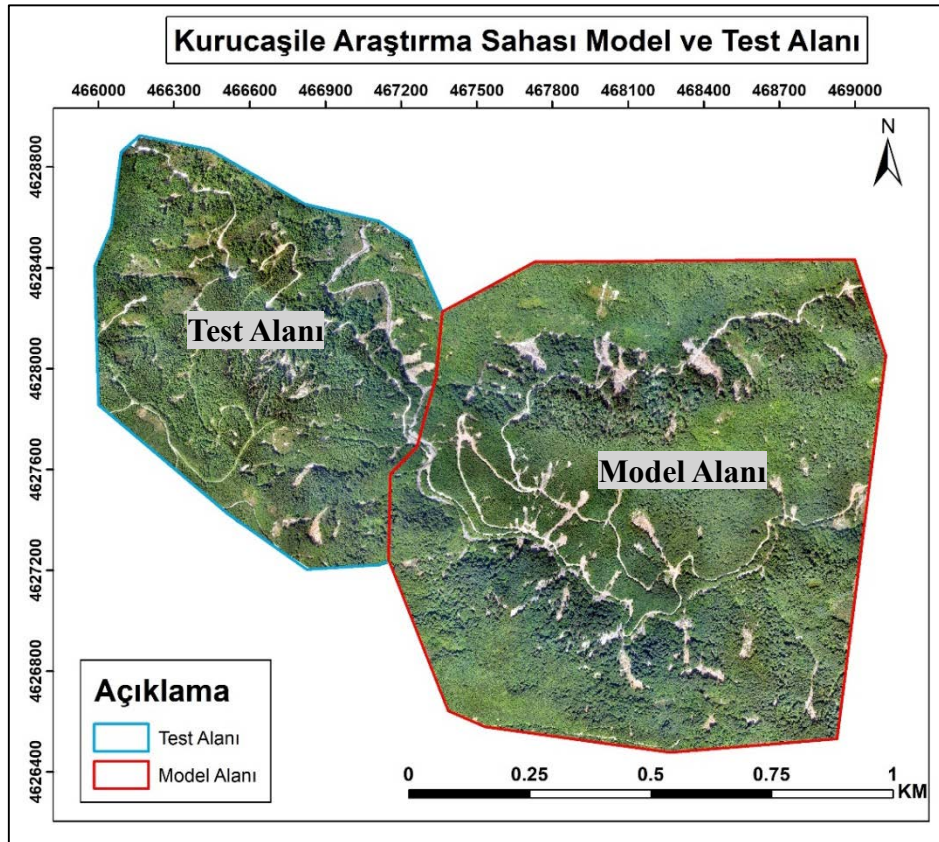
5.3. Verilerin İşlenmesi

Çalışmanın veri işleme adımı Pix4D Mapper Pro vers. 4.2.25 yazılımı kullanılmıştır. Veri işleme adımı sonrasında alana ait sayısal arazi modeli, sayısal yükseklik modeli ve ortomozaik görüntü üretilmiştir. Çalışma sahasına ait verilerin toplanması için uçuş planlaması aşamasında alana ait görüntülerin çekilmesi için 5 cm yer örneklem aralıklı planlamalar yapılmıştır. Ancak çalışma sahası dağlık bir bölge

olduğu için uçuş doğrultusu hangi yönde belirlenirse belirlensin mutlaka girintili çıkıntılı vadiler, çekilen görüntüler içinde yer almaktadır. Bundan dolayı vadi içlerinde yer alana alanlarda çözünürlük değeri düşmektedir. Veri işleme aşamasında planlamada belirlenen çözünürlük değeri uçuş planlaması 5 cm yer örneklem aralığına göre planlanmasına rağmen veri işleme aşamasında 1186 adet fotoğraf kullanılmıştır. Bu fotoğrafların ortalama çözünürlüğü 0,089 cm'dir. Güvenli bölgede kalmak için alana ait verilerden 10 cm çözünürlüklü ortomozaik ve sayısal yüzey modeli ile 50 cm çözünürlüklü sayısal arazi modeli üretilmiştir.

5.4. Heyelanların Haritalanması

Alan 1 üzerinde yapılan heyelan haritalaması çalışmalarında öncelikle Alan 1 ikiye bölünmüştür. Bölünen bu alanlardan birincisi model geliştirme alanı, ikincisi geliştirilen modelin test alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 5.4). Model geliştirme alanında öncelikle heyelanların haritalanması için gerekli segmentasyon, kural seti geliştirme ve sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen modelin başarısı ise test alanı üzerinde denenmiştir.



Şekil 5.4. Bartın – Kurucaşile alanına ait model geliştirme ve test alanları

5.4.1. Görüntü segmentasyonu

Görüntü segmentasyonunun amacı var olan görüntü nesnelerinin veya piksellerin birleştirilmesi ile homojen görüntü nesneleri oluşturma işlemidir. Çalışma kapsamında günümüzde kabul görmüş ve heyelan çıkarımında sıklıkla kullanılan çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemi kullanılmıştır. Görüntü segmentasyonu aşamasında homojen görüntü nesnelerinin üretilmesinde girdi olarak kullanılacak katmanlar homojen nesne üretimini doğrudan etkilemektedir. Kullanılan kamera sistemindeki bant sayısının az olması ve çalışma sahasında benzer spektral özelliğe sahip alanların fazla olmasından dolayı öncelikle segmentasyon aşamasında kullanılacak katmanların belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma sahasına ait üretilen veriler incelendiğinde alanda yer alan yollar, toprak alanlar, heyelanlar benzer spektral yansıtım özelliğine sahiptir. Özellikle güneş yansımada kaynaklı bazı yollar ve heyelanlarda parlama meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca araştırma sahasına ait veriler olaydan bir yıl sonra elde edildiği için heyelanlar içinde yer yer yeşillenmenin olduğu görülmektedir.

Heyelan haritalama işlemi için uygun girdi katmanlarının belirlenmesinde farklı girdi katman kombinasyonları denenmiştir. Bu doğrultuda aşağıda verilen girdi katman kombinasyonları segmentasyon işlemi için uygun girdileri tespit etmek için kullanılmıştır.

- Kırmızı, yeşil ve mavi katman kombinasyonu
- Kırmızı, yeşil, mavi ve eğim katman kombinasyonu
- Kırmızı, yeşil, mavi ve SYM katman kombinasyonu
- SYM ve eğim katman kombinasyonu
- Kırmızı, yeşil, mavi, SYM ve eğim katman kombinasyonu

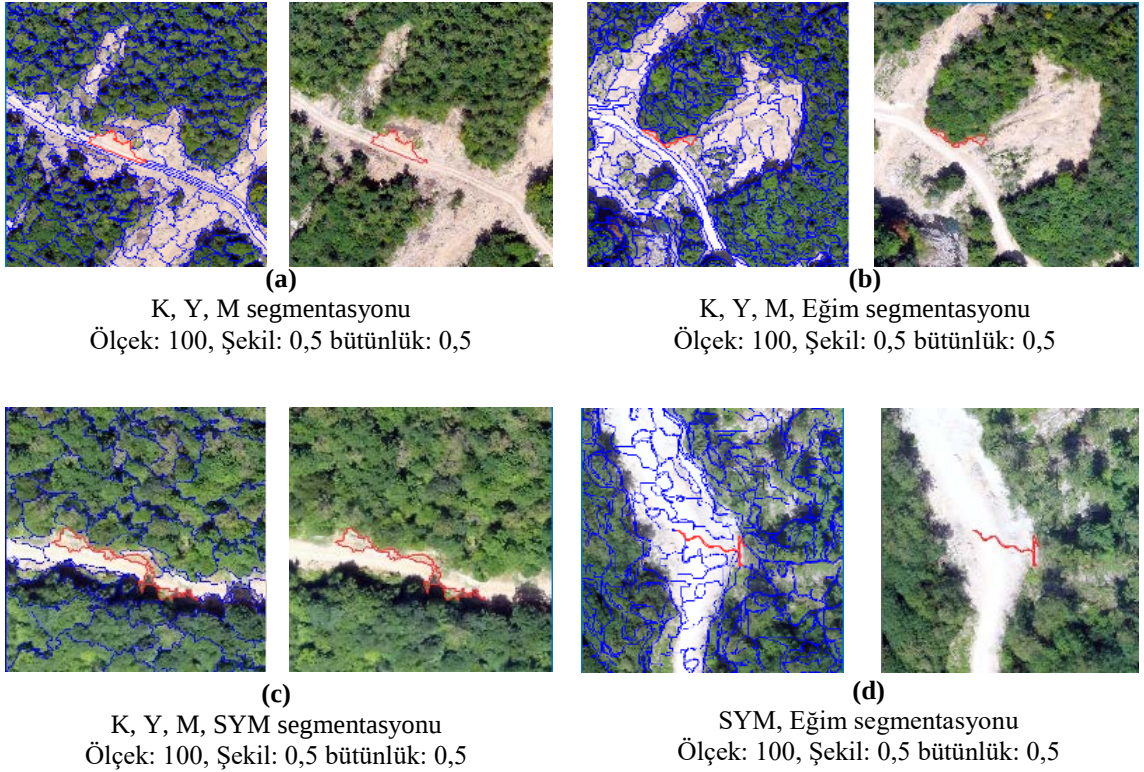
Çoklu çözünürlük segmentasyon işleminde görüntü nesnelerinin boyutlarını etkileyen 5 farklı parametre mevcuttur. Bunlar ölçek, renk, şekil, bütünlük ve yoğunluk parametreleridir. Bu parametrelerin doğru olarak hesaplanabilmesi için eCognition Developer vers. 9.0 yazılımında ölçek, şekil ve bütünlük parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında seçilen katman kombinasyonları için uygun parametreleri bulmak için deneme hata yöntemine göre parametre belirleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Segmentasyon işlemi için katman seçiminde öncelikli olarak kırmızı, yeşil ve mavi spektral bant katmanları kullanılmıştır. Uygun nesne boyutunun bulunması için farklı ölçek parametresi (20, 40, 60, 80, 100, 120, 150, 200) değerleri kullanılarak segmentasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kombinasyon denendiğinde yollar ve heyelanların aynı görüntü nesnesi içinde çıkarıldığı görülmüştür. Özellikle güneşten dolayı parlama yapan alanlarda küçük ölçek parametreleri değerinde bile farklı özellikteki alanların aynı görüntü nesnesi içinde yer aldığı gözlemlenmiştir. Bu durum heyelanların yollardan ayrılması için engel oluşturmaktadır. Şekil 5.5(a)'da K,Y,M bantlarına göre ölçek parametresi 100, Şekil 0,5, bütünlük parametresi 0,5 olan segmentasyon sonuçları verilmiştir.

Kırmızı, yeşil, mavi ve eğim katmanları kullanılarak yapılan segmentasyon işleminde benzer şekilde farklı ölçek parametrelerine göre segmentasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde yol kenarlarına ait alanlar ile heyelan kenarlarına ait benzer eğim ve spektral yansıtım değerine sahip alanların aynı görüntü nesnesi içine düştüğü görülmüştür (Şekil 5.5(b)). Bu durum yol kenarlarının heyelanlardan ayrılmasını zorlaştırmaktadır.

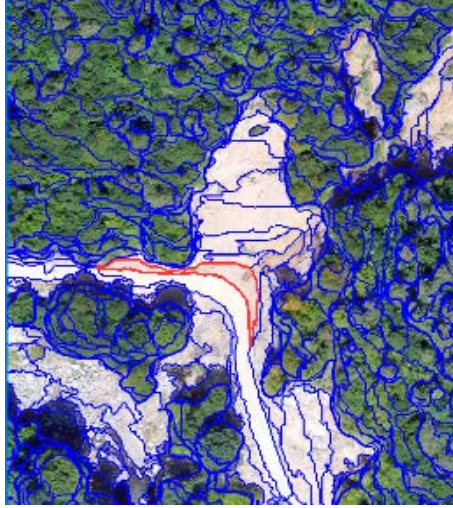
Başka bir kombinasyon olan kırmızı, yeşil, mavi bantlar ve SYM katmanlarına göre yapılan segmentasyon işlemlerinde özellikle dar yol geçişlerinde yol üstünde ve altındaki alanların aynı görüntü nesnesi içinde yer aldığı görülmüştür (Şekil 5.5(c)). Bu katman kombinasyonunda yol üstünde kalan boyu dar olan heyelanlar bazı yerlerde yol altındaki gölgede kalan alanlarla birleşmektedir. Bu durum heyelanla diğer alanların ayrılmasında engeller oluşturmaktadır.

Eğim ve SYM katmanlarına göre yapılan segmentasyon işleminde diğer kombinasyonlar gibi farklı ölçek parametrelerinde denemeler yapılmıştır. Bu kombinasyonda şekilsel olarak gerek heyelan içinde, gerekse yolların ortasında bütünlüğü bozuk birçok görüntü nesnesinin üretildiği gözlemlenmiştir (Şekil 5.5(d)). Yapılan denemelerde küçük ölçek parametresi değerlerinde görüntü nesnesi sayısının çok fazla arttığı, büyük ölçek parametresi değerlerinde ise heyelanlarla heyelan çevresinde bulunan diğer alanların aynı görüntü nesnesi içine girdiği görülmüştür.

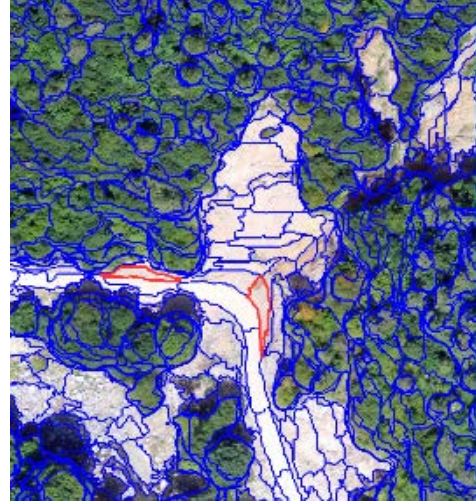


Şekil 5.5. Farklı katman kombinasyonlarına göre yapılan segmentasyon işlemi sonuçları

Deneme yapılan farklı katman kombinasyon işlemleri sonucunda en iyi ve en uygun görüntü nesnelerinin kırmızı, yeşil, mavi, SYM ve eğim katmanlarından oluşan kombinasyondan elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu katman kombinasyonunda farklı ölçek parametreleri, şekil ve bütünlük parametrelerine göre segmentasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Segmentasyon işlemine eğim ve SYM katmanlarının dahil edilmesi şekilsel anlamda dar ve uzun görüntü nesnelerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu durumu minimize etmek için bütünlük parametresi değeri yüksek tutulmuştur (Şekil 5.6). Yapılan denemeler sonucundan en iyi segmentasyon parametreleri ölçek 100, şekil 0,5 ve bütünlük 0,9 olarak belirlenmiştir. Ölçek parametresi 100 değerinin üzerinde tutulduğunda farklı alanların aynı görüntü nesnesi içine düştüğü görülmüştür



Ölçek: 100, Şekil: 0,5, bütünlük: 0,1



Ölçek: 100, Şekil: 0,5, bütünlük: 0,9

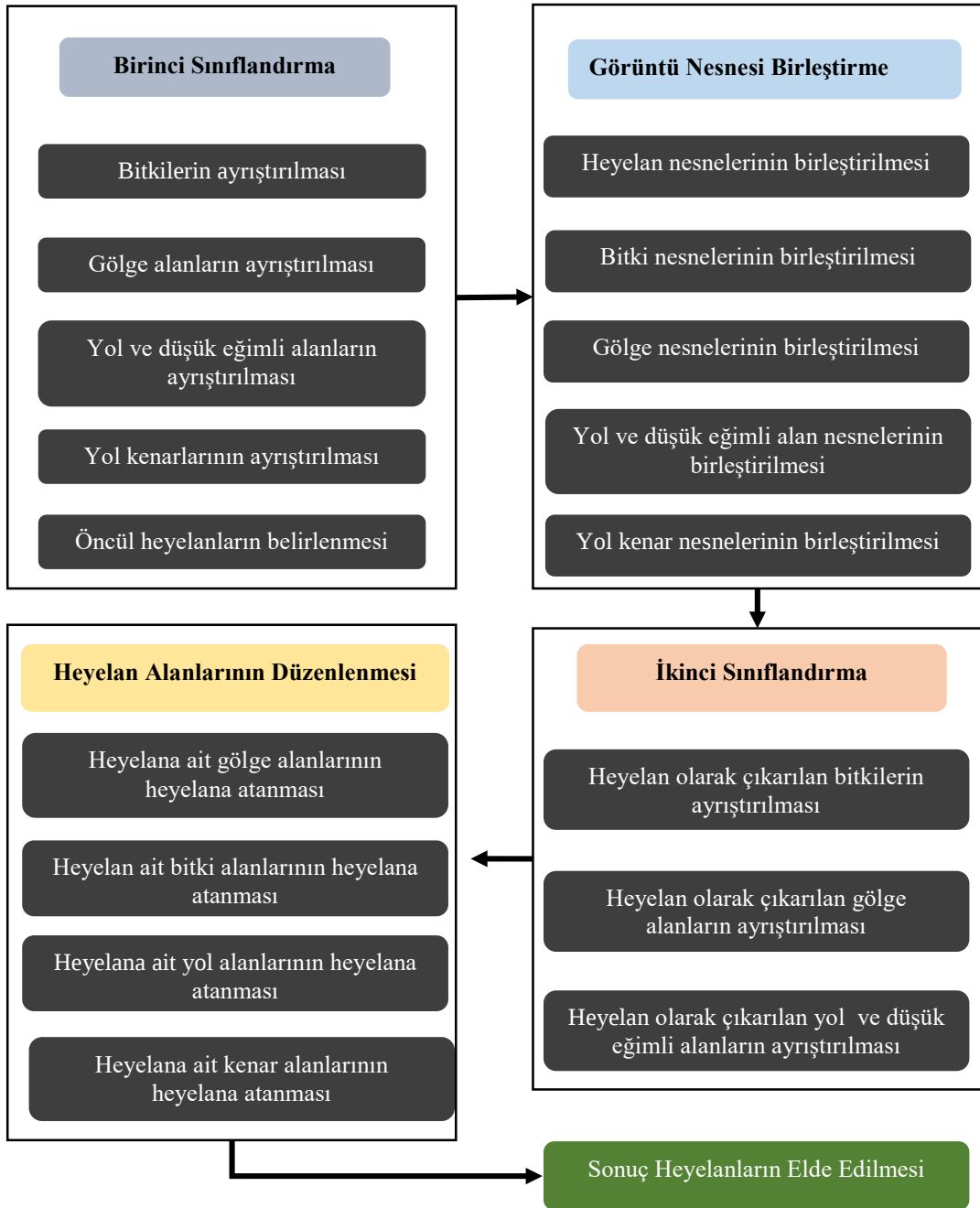
Şekil 5.6. Bütünlük parametresinin görüntü nesnelere etkisi

Nesne tabanlı sınıflandırma ile heyelanların haritalanması çalışmalarında tek ölçek parametresine göre heyelan haritalama çalışmaları olduğu gibi hiyerarşik şekilde çoklu ölçek parametrelerine göre heyelan haritalaması yapılan çalışmalar literatürde mevcuttur. Bu çalışma kapsamında incelenen alanda heyelanların tek bir görüntü nesnesi içinde çıkarılabilmesi için ölçek parametre değerinin çok yüksek verilmesi gerekmektedir. Bu durumda da heyelanların yollar ve yol kenarları ile sıklıkla karıştığı görülmektedir. Bundan dolayı çalışma kapsamında tek bir ölçek parametresine göre heyelanların haritalaması işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle heyelan olmayan alanların heyelanlardan ayrıştırılması işlemi gerçekleştirilmiş. Daha sonraki adımlarda heyelanları oluşturan görüntü nesnelerinin birleştirilmesi ile sonuç heyelanların elde edilmesi işlemi yapılmıştır.

5.4.2. Görüntü nesnelerinin sınıflandırılması

Çalışma kapsamında üretilen görüntü nesnelerinin sınıflandırılması için kural tabanlı sınıflandırma işlemi uygulanmıştır. Sınıflandırma işleminde ortomozaik görüntünün spektral bantlarından, SYM verisinin türevlerinden, geometrik ve şekilsel özelliklerden faydalanılmıştır. Kural tabanlı sınıflandırma işleminde alanda yer alan bitki, yol, yol kenarı, düşük eğimli toprak alanlar ve heyelan gibi detayların çıkarılmasında belirli bir hiyerarşi izlenmiştir. Yapılan heyelanların çıkarılması için geliştirilen kural setlerinin akışı Şekil 5.7’de gösterilmiştir. Heyelanların haritalanması için öncelikli olarak ölçek parametresi 100 değerine göre üretilen görüntü nesnelerine birincil bir

sınıflandırma işlemi uygulanmıştır. Bu kapsamda alandaki bitki, gölge, yol ve düşük eğimli alanlar, yol alanları ve öncül heyelan nesneleri elde edilmiştir. Elde edilen bu sınıflara ait görüntü nesneleri birleştirilerek bütüncül alanlar üretilmiştir. Birleştirilen sınıflar üzerinden ikinci bir sınıflandırma işlemi gerçekleştirilerek heyelan olarak çıkarılan alanların kendi sınıflarına dahil olması sağlanmıştır. Son işlem adımında ise heyelanlara ait olup başka sınıflara atanan görüntü nesnelerinin heyelan alanına dahil edilmesi için alan düzenlenmesi yapılmıştır. Bu şekilde sonuç heyelanlar elde edilmiştir.



Şekil 5.7. Heyelan alanlarının haritalanması için geliştirilen kural seti adımları

Tablo 5. 2. Sınıflandırma işleminde kullanılan parametreler ve eşik değerleri

	Atanan Sınıf	Parametre	Eşik Değeri
Birinci Sınıflandırma	Bitki	YBO	$\geq 0,36$
	Yollar, düşük eğimli alanlar, akarsu yatağı	Eğim	$\leq \%30$
	Gölge	Parlaklık	≤ 70
	Yol kenarı	Merkezi eğrisellik	$\leq -0,3$
		En/boy oranı	$\geq 3,8$
		Yola gerçek komşuluk sınırı	$\geq 0,1$
İkinci Sınıflandırma	Heyelan → Bitki	YBO	$\geq 0,35$
	Heyelan → Gölge	MKBI	$\geq 0,20$
	Heyelan → Yol – düşük eğimli alan	Yola gerçek komşuluk sınırı	$\geq 0,9$
Heyelan Alanlarının Düzenlenmesi	Bitki → Heyelan	Heyelana gerçek komşuluk sınırı	$\geq 0,9$
	Gölge → Heyelan	Heyelana gerçek komşuluk sınırı	$\geq 0,5$
	Yol → heyelan	Heyelana gerçek komşuluk sınırı	$\geq 0,9$
Açıklama	YBO: Yeşil Bant Oranı MKBI: Mavi Kırmızı Fark Bant İndeksi		

Çalışma sahasının büyük bir bölümünü bitkiler oluşturmaktadır. Uydu görüntüleri kullanılarak yapılan çalışmalarda Normalize edilmiş fark bitki indeksi (NDVI) bitki alanlarının ayrıştırılması için etkili bir parametredir. Ancak çalışma kapsamında üretilen ortomozaik görüntüde yakın kızıl ötesi bant olmadığı için ortomozaik verinin bantlarından üretilen farklı indeksler bitki alanlarının ayrıştırılması için kullanılmıştır. Ortomazaik bantlar kullanılarak yeşil bant normalize edilmiş bitki indeksi (GRVI) (Eşitlik (5.1)), yeşil bant oranı (YBO) (Eşitlik (5.2)) ve aşırı yeşillik indeksi (EGI) (Eşitlik (5.3)) gibi yeşil bitkilerin ayırt edilebileceği bant indeksleri üretmek mümkündür. Çalışma kapsamında bu üç indekste yeşil alanların diğer alanlardan ayrıştırılması için denenmiştir. En iyi sonuçlar YBO indeksinden elde edilmiştir. Bundan dolayı çalışma alanındaki bitki alanlarının elimine edilmesi YBO indeksi tercih edilmiştir. YBO değerinin eşik mesafesi birinci sınıflandırma işleminde 0,36 olarak görüntü nesnelerine uygulanmıştır (Tablo 5.2).

$$GRVI = \frac{\text{Yeşil-Kırmızı}}{\text{Yeşil+Kırmızı}} \quad (5.1)$$

$$YBO = \frac{\text{Yeşil}}{\text{Yeşil} + \text{Kırmızı} + \text{Mavi}} \quad (5.2)$$

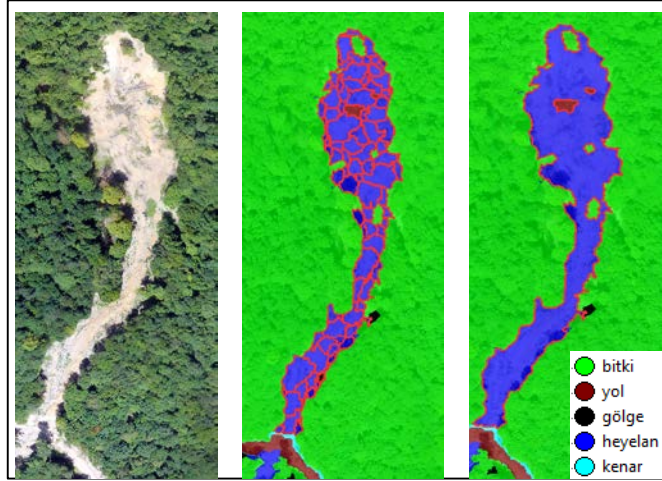
$$GRVI = 2 * \text{yeşil} - \text{kırmızı} - \text{mavi} \quad (5.3)$$

Çalışma sahasında ikinci olarak yollar, düşük eğimli alanlar ve dere yataklarının heyelanlarda ayrıştırılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu alanların ayrıştırılmasında eğim parametresi kullanılmıştır. Alanda yer alan heyelanlar genel olarak %30 üzerinde bir eğime sahiptir. Eğim parametresi değeri %30'a eşit ve daha düşük eğime sahip olan alanlar yol, düşük eğimli alan ve dere yatağı sınıfına atanmıştır (Tablo 5.2).

Çalışma sahasında gerek ağaçlardan gerekse güneşin geliş açısından kaynaklı gölge alanlar bulunmaktadır. Bu alanlar eğim, eğrisellik vb. morfometrik açılardan heyelanlarla benzer özellikler göstermektedir. Bu alanların ayrıştırılması için mavi, yeşil ve kırmızı bantlardan hesaplanan parlaklık değerinden faydalanılmıştır. Bu kapsamda parlaklık değeri 70'e eşit ve küçük olan görüntü nesneleri gölge sınıfına atanmıştır (Tablo 5.2).

Araştırma sahasında yollar ile orman alanı arasında kalan ve spektral yansıma değeri bakımından heyelanlara benzeyen yol kenarı alanları mevcuttur. Bu alanlar dar bir şerit şeklinde ilerleyen görüntü çözünürlüğü nedeniyle ayrı görüntü nesneleri olarak oluşan alanlardır. Bu alanlar eğim ve yükseklik ve eğrisellik bakımından yüksek standart sapma değerine sahip alanlardır. Ayrıca bu alanların en ve boy oranı heyelan alanlarına göre büyük alanlardır. Bundan dolayı bu alanların heyelanlardan ayrıştırılması için merkezi eğrisellik parametresi, en – boy oranı ve yola olan gerçek sınır özelliklerinden faydalanılmıştır. Görüntü segmentasyonu aşamasında eğim ve yükseklik katmanları kullanıldığı için yol kenarlarına benzer olarak, heyelanlar ile orman alanlarının kenarlarında dar, en – boy oranı yüksek görüntü nesneleri oluşmuştur. Bu nesnelerinde kenar olarak çıkarılmasının önüne geçmek için görüntü nesnelerinin komşuluk ilişkisinden faydalanılarak yola olan gerçek sınır değerleri hesaplanmış ve bu değer kenarların çıkarılmasında kullanılmıştır. Bu kapsamda yola komşuluğu 0,1'den büyük olan, en boy oranı 3.8'den büyük olan ve merkezi eğrisellik değeri -0,3'den küçük olan alanlar kenar olarak sınıflandırılmıştır. Yollar orman arasında kalan bazı alanlarda kenarlar iki görüntü nesnesi olarak üretilmiştir. Bu alanlarında kenar olarak sınıflandırılması için görüntü nesnesinin kenar sınıfına olan uzaklığı 0,1'den büyük ve diğer parametre değerleri aynı olacak şekilde ikinci bir kenar sınıfına atama yapılmıştır. Bu kenar sınıfları birleştirilerek tek bir kenar sınıfı oluşturulmuştur Tablo (5.2).

Çalışma alanında yer alan görüntü nesnelerinin birinci sınıflandırılmasından sonra görüntü nesneleri birleştirilerek bütüncül alanlar elde edilmiştir. Şekil 5.8’de heyelanları oluşturan görüntü nesnelerinin birleştirilerek tek bir heyelan haline getirilmesi örneği gösterilmiştir. Şekilde kırmızı sınırlar heyelanı oluşturan görüntü nesnelerini göstermektedir. Bu işlem sınıfları oluşturan tüm görüntü nesneleri için eCognition yazılımında bölgeleri birleştir aracı ile otomatik olarak yapılmıştır.



Şekil 5.8. Görüntü nesnelerinin birleştirilerek bütüncül heyelanların oluşturulması

Çalışma sahasına ait arazi kullanım sınıflarının birleştirilmesi işleminden sonra ikinci bir sınıflandırma işlemi yapılmıştır. Bu aşamada heyelan olarak atanan gölge, bitki, yol ve düşük eğimli alanların tekrardan ilgili sınıflarına atanması işlemi gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanında YBO indeksi ile yeşil alanların ayrılmasındaki eşik değeri 0,35 den büyük olarak gözlemlenmiştir. Çalışma sahasına ait veriler yaklaşık bir yıl sonra elde edildiği için bazı heyelanların içlerinde yer yer yeşillenmeler meydana gelmiştir. Bu alanlarda kayıp yaşamamak için birinci sınıflandırmada YBO 0,36 olarak uygulanmıştır. İkinci sınıflandırma aşamasında heyelan alanlarını oluşturan görüntü nesneleri birleştirildiğinden dolayı heyelan içinde kalan yeşillenme alanlarının YBO değeri 0,35 altına inmiştir. Heyelan alanları dışında YBO değeri 0,35 üzerinde olan ve birinci sınıflandırmada heyelan olarak çıkarılan alanlar heyelan sınıfından bitki sınıfına aktarılmıştır (Tablo 5.2).

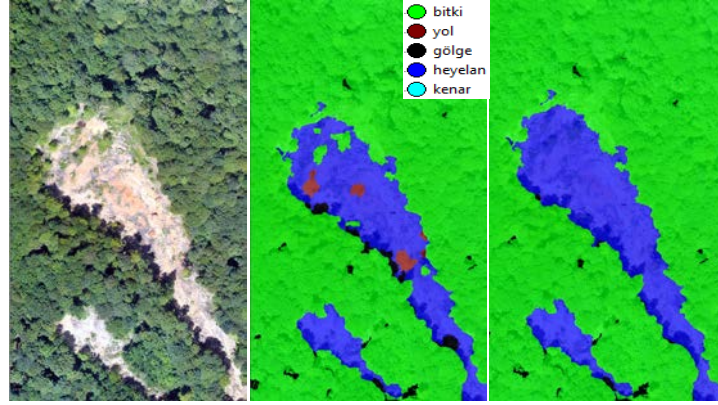
Heyelan kenarlarında ağaçlardan dolayı heyelana ait bazı alanlar gölgede kalmaktadır. Bu alanların ortalama parlaklık değeri 70 ile 100 arasında değişmektedir.

Birinci sınıflandırma aşamasında gölge alanların ayıklanması için parlaklık değeri 70 altında kabul edilerek gölge alanları çıkarılmıştır. Heyelanların birleştirilmesinden sonra heyelan dışında kalan ve parlaklık değeri 70 ile 100 arasında kalan gölge alanların ayıklanması için Mavi Kırmızı Fark Bant İndeksi (MKBI) kullanılmıştır (Eşitlik (5.4)). Gölge alanlar mavi bantta yüksek kırmızı bantta düşük yansıma vermektedir. MKBI değeri 0,20'den büyük olan alanlar heyelan sınıfından gölge sınıfına atanmıştır (Tablo 5.2).

$$MKBI = \frac{Mavi - Kırmızı}{Mavi + Kırmızı} \quad (5.4)$$

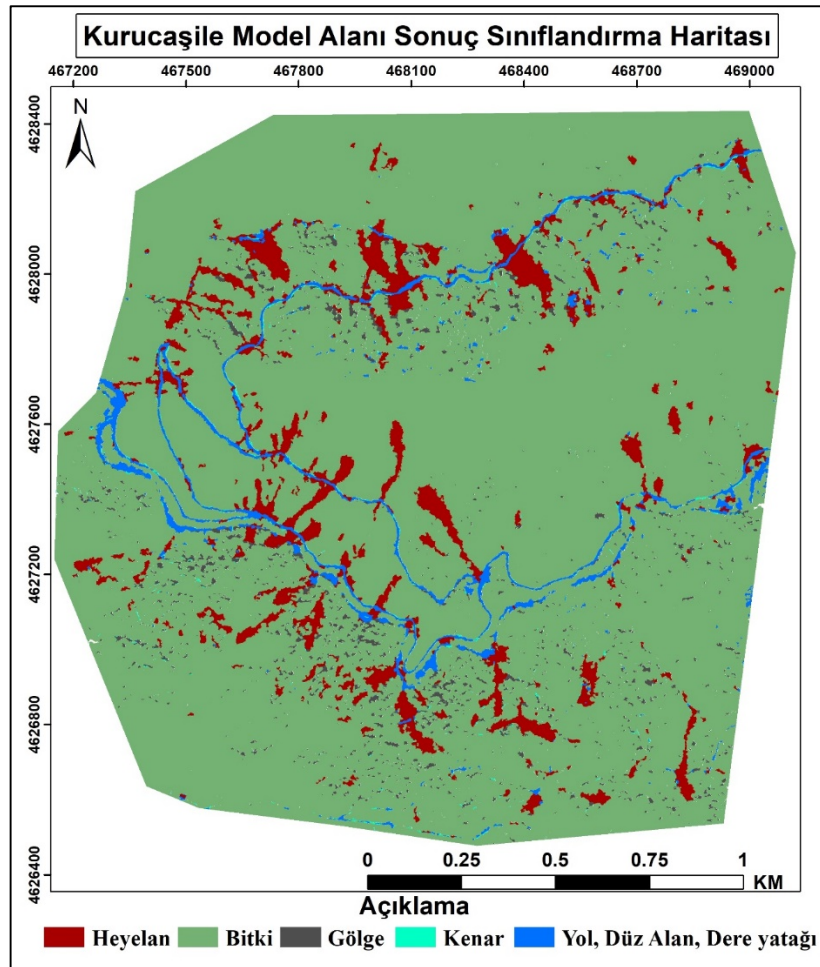
Özellikle dere yatağı kenarlarında eğimi %30'dan büyük bazı alanlar birinci sınıflandırma aşamasında heyelan olarak çıkarılmıştır. Bu alanların heyelan sınıflarından ayıklanması için yol ve düşük eğimli alana olan komşuluk ilişkisinden faydalanılmıştır. Bu kapsamda yol ve düşük eğimli alana gerçek sınır komşuluğu 0,9'dan büyük olan alanlar heyelan sınıfından yol ve düşük eğimli alanlar sınıfına atanmıştır (Tablo 5.2).

İkinci sınıflandırma işleminden sonra heyelan alanlarının düzenlenmesi işlemine geçilmiştir. Bu aşamada heyelan içinde kalan bitki ve yol alanları ile heyelan kenarlarında kalan gölge alanlarının heyelana eklenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında heyelanların çıkarılması için sayısal yüzey modeli kullanıldığı için heyelan içinde bazı alanların eğimi %30'dan düşüktür. Bu alanlar birinci sınıflandırma aşamasında heyelan olarak çıkarılmıştır. Ayrıca heyelan akmasında kopan bazı bitki alanları heyelan içinde kalmıştır. Bu gibi yerlerin heyelan alanına dahil edilmesi için bu alanları oluşturan görüntü nesnelerinin komşuluk ilişkilerinden faydalanılarak, heyelan içine düşen farklı sınıfa ait alanlar heyelan sınıfına dahil edilmiştir. Bu kapsamda yol ve bitki alanlarına ait görüntü nesnelerinin heyelana alanlarına gerçek sınır değeri 0,9'dan büyük olanları heyelana dahil edilmiştir. Gölge alanlar için ise heyelana gerçek sınır komşuluk değeri 0,5'de büyük olan alanlar heyelana dahil edilmiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Heyelan içine düşen farklı sınıflara ait alanların heyelan alanına dahil edilmesi

Son işlem olarak çıkarılan heyelan nesneleri içinde alanı küçük, ancak heyelan olmayan küçük görüntü nesnelerini elemek için görüntü nesnesi alanı 5000 pikselden küçük olan alanlar heyelan sınıfından ayrıştırılmıştır. Bu alanlar genellikle ağaçlardan dolayı az gölgeli ve gölge sınıfına atanmayan alanlardır. Yapılan sınıflandırma işlemi sonucunda elde edilen sonuç sınıflandırma haritası Şekil 5.10’da gösterilmiştir.



Şekil 5.10. Sınıflandırma işlemi sonucunda elde edilen sonuç harita

5.5. Bulgular ve Tartışmalar

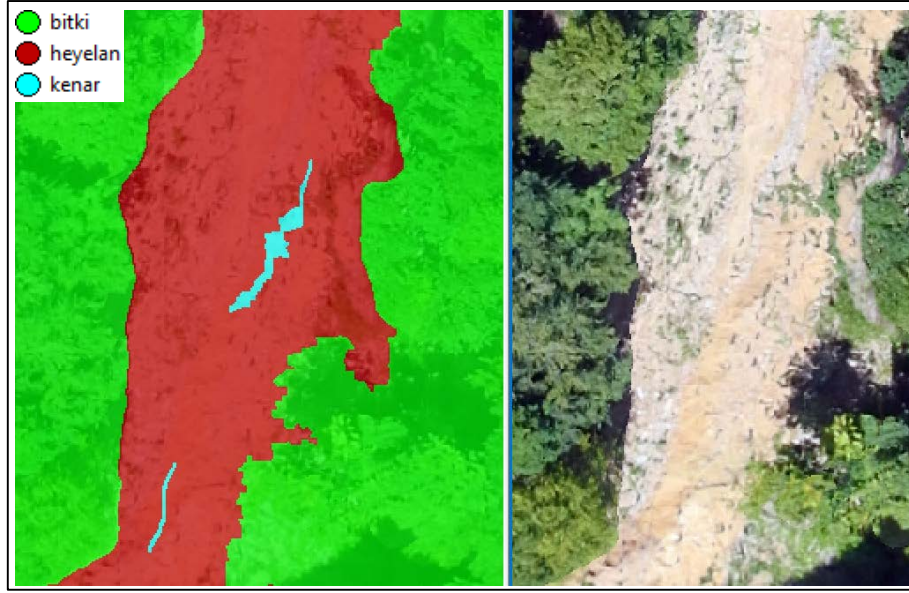
Bu bölümde Kurucaşile alanına ait uygulanan heyelan çıkarma işlemine ait bulgular ve tartışmalar sunulmuştur.

5.5.1. Segmentasyon aşamasına ait sonuçlar

Heyelan haritalamaya yönelik yapılan nesne tabanlı görüntü analizinin segmentasyon aşamasında genellikle spektral bantlar kullanılmaktadır. Ancak spektral bantların yanında eğim gibi katmanları segmentasyon aşamasında dahil eden çalışmalar mevcuttur (Rau vd., 2011). Bu çalışmada uygun görüntü nesnelerinin üretilmesi için öncelikle ortomozaik verinin spektral bantları kullanılarak segmentasyon işlemi yapılmıştır. Ancak bu segmentasyon işleminde yollar ile heyelan alanlarının aynı görüntü nesnesi içine girdiği görülmüştür. Bu problemi aşmak için eğim, SYM gibi katmanlar segmentasyon işlemine dahil edilmiştir. Bu kapsamda heyelanlar ile yolların ayırt edilebilmesi için en iyi sonuç spektral bantlara ek olarak eğim ve SYM katmanlarının segmentasyona dahil edildiği denemelerde alınmıştır.

Segmentasyon aşamasında görüntü nesnesinin boyutlarını belirleyen birleştirme faktörü (f) spektral heterojenlik (h_{renk}) ve konumsal heterojenlik ($h_{şekil}$) değerlerine bağlı olarak hesaplanmaktadır (Eşitlik (3.1)). h_{renk} segmentasyona giren her bir katman için görüntü nesnesinin oluşturan pikseller ve bu piksellerin standart sapmasına bağlı olarak hesaplanıp toplanmaktadır (Eşitlik (3.2)). Spektral bantların ait h_{renk} değeri yol ve heyelan ayırımında düşük olurken, eğim ve yükseklik katmanlarında yüksek olmaktadır. Bu durumda heyelan, yol ve yol kenarı gibi alanlarının farklı görüntü nesnelerinde üretilmesini sağlamıştır.

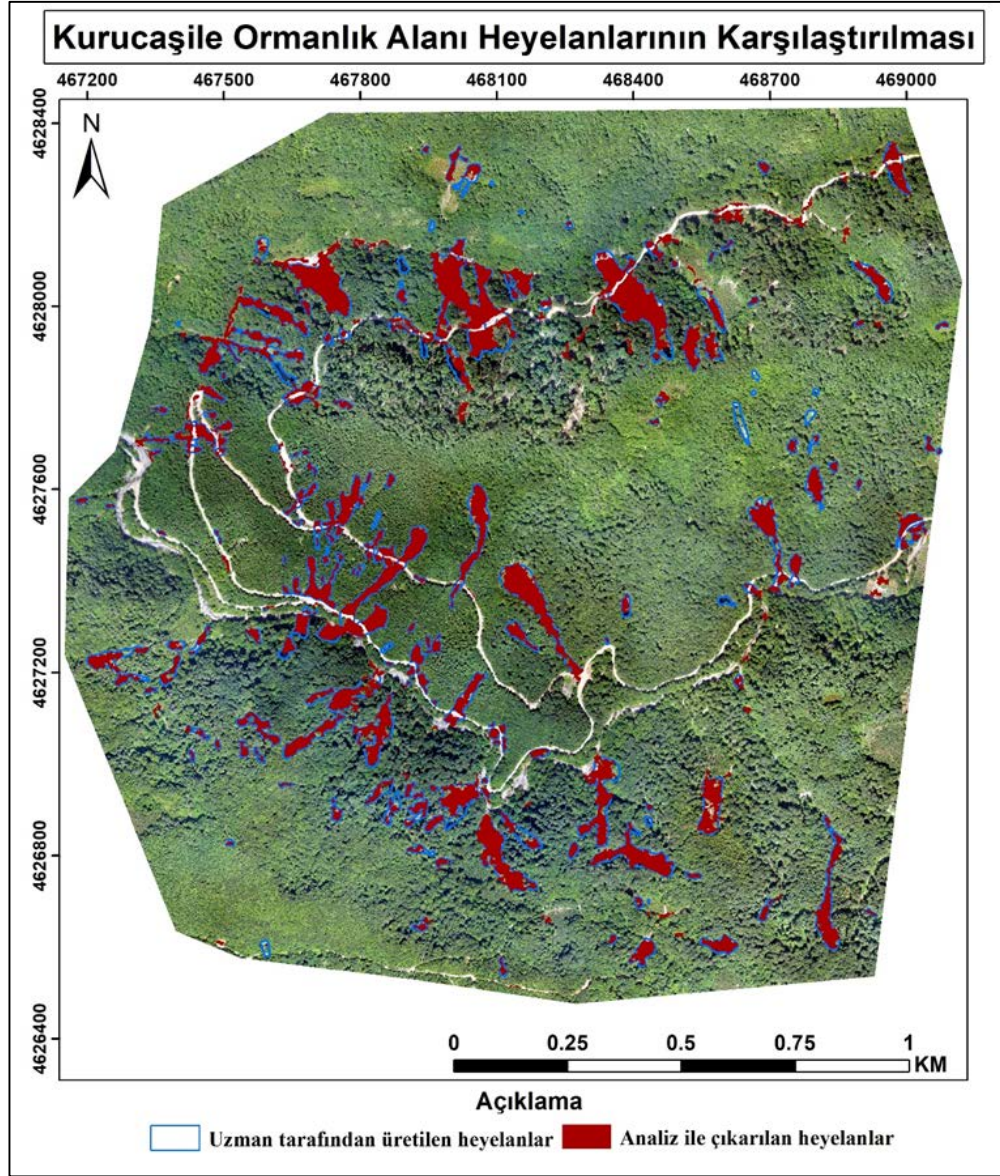
Segmentasyon aşamasında eğim ve SYM katmanlarının kullanımı, farklı özellikteki alanların ayırt edilmesinde kolaylık sağlarken, bazı heyelan içlerinde, heyelan kenarlarında ve yol kenarlarında en/boy oranı büyük, yüksek eğime sahip görüntü nesnelerinin oluşmasına neden olmuştur (Şekil 5.11). Bu durum görüntü nesnelerinin görünümü açısından sorun gibi görünse de sınıflandırma aşamasında bu alanlar için çözüm üretilmiştir. Şekil 5.11’de gösterilen heyelanın yaklaşık eğimi %70’ken, mavi renkli kenar sınıfına atanmış görüntü nesnelerinin eğimi %200’lerdedir. Bu alanlar sınıflandırma aşamasında kenar sınıfı için tanımlanan kurallara göre kenar sınıfına atanmış ve heyelanların düzenlenmesi aşamasında heyelan içinde kalan alanların, sınır komşuluğu ilişkilerine bağlı olarak tekrardan heyelan sınıfına dahil edilmiştir.



Şekil 5.11. Segmentasyon aşamasında eğim ve SYM verilerinin kullanılması sonucu heyelan içinde oluşan görüntü nesneleri

5.5.2. Sınıflandırma aşamasına ait sonuçlar

Nesne tabanlı görüntü analizi ile elde edilen heyelan alanlarının değerlendirilmesi için uzman tarafından sayısallaştırma ile ortomozaik üzerinden üretilen heyelanların karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil 5.12). Doğruluk analizi alan tabanlı ve çıkarılan heyelan sayılarının karşılaştırılması şeklinde gerçekleştirilmiştir.



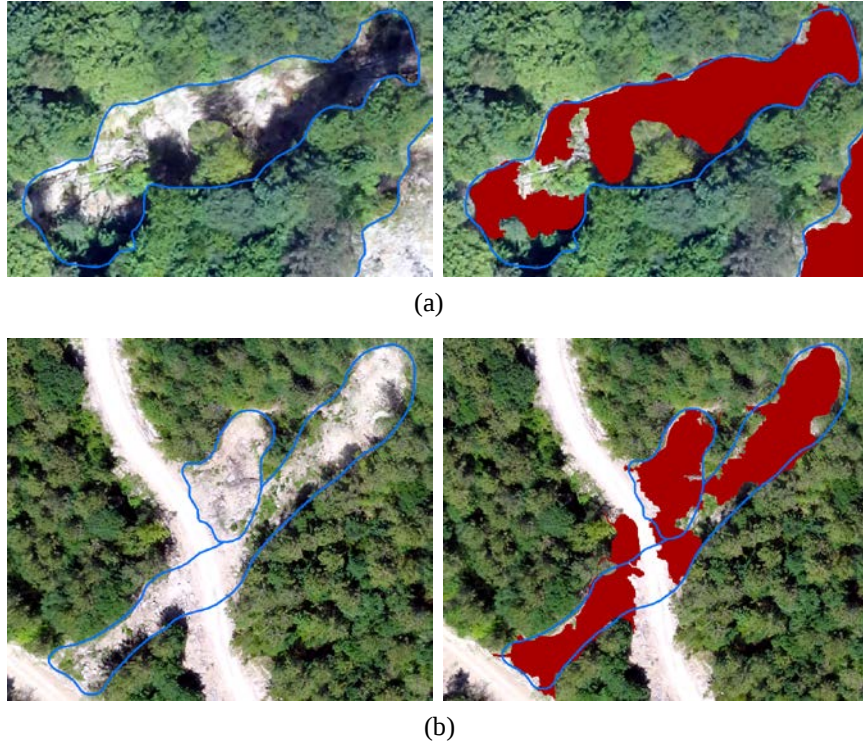
Şekil 5.12. Uzman tarafından üretilen heyelanlar ile nesne tabanlı görüntü analizi ile çıkarılan heyelanların karşılaştırılması

Çıkarılan heyelan sayısına bağlı doğruluk analizi

Çıkarılan heyelan sayılarının karşılaştırılması işleminde heyelanların doğru kabul edilmesi ile ilgili belirli kriterler kullanılmıştır. Uygulanan yöntem ile çıkarılan heyelanın doğru kabul edilme kriterleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- Çalışma sahası ormanlık bir alandır. Bu alanda heyelanların bazı bölümleri ağaç altında kalmaktadır. Kullanılan İHA sisteminde optik bir algılayıcı kullanıldığı için ağaç altından bilgi almak mümkün olmamaktadır. Dolayısıyla heyelanın görünen bölgesinin çıkarılması doğru olarak kabul edilmiştir (Şekil 5.13a).

- Çalışma sahasında birçok heyelan yollar tarafından kesilmektedir. Görüntüler olaydan yaklaşık bir yıl sonra çekildiği için yollar açılmış ve aktif olarak kullanılmaktadır. Bundan dolayı yolların kestiği heyelanlar birden fazla görüntü nesnesi olarak çıkarılmıştır. Bu görüntü nesneleri tek bir heyelana ait olduğu için tek bir nesne olarak dikkate alınıp doğru kabul edilmiştir (Şekil 5.13b).



Şekil 5.13. Heyelan sayısına göre yapılan doğruluk analizinde doğru olarak kabul edilen heyelanlar (a): ağaçlardan dolayı çıkarılamayan heyelan parçaları, (b): yoldan dolayı çıkarılamayan heyelan parçaları

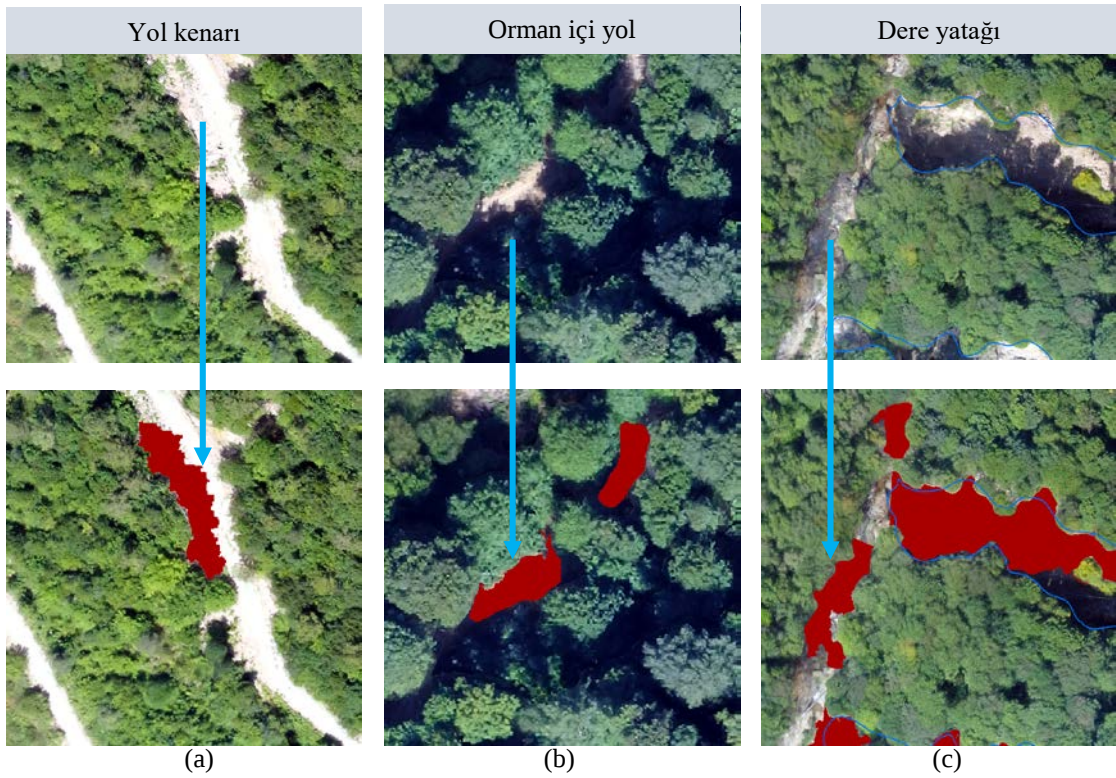
Nesne tabanlı görüntü analizi ile tam çıkarılan ve yukarıdaki koşulları sağlayan heyelanlar doğru kabul edilmiştir. Uzman tarafından çizilip analiz sonucu üretilemeyen heyelanlar kayıp heyelanlar, analiz sonucu çıkarılan ancak gerçekte olmayan heyelanlar ise yanlış olarak değerlendirilmiştir. Buna göre elde edilen sonuçlar Tablo 5.3’de verilmiştir. Tablo 5.3’de verilen sonuçlar Eşitlik (3.6) – (3.8)’de verilen formüllere göre elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar yüzde biriminde verilmiştir.

Tablo 5. 3. Kurucaşile model alanına ait heyelan sayısı tabanlı doğruluk analizi

Referans Heyelan sayısı	Doğru çıkarılan heyelan sayısı	Yanlış çıkarılan heyelan sayısı	Kayıp heyelan sayısı	Doğru Oran (%)	Yanlış Oran (%)	Kayıp Oran (%)
236	198	45	38	81,5	18,5	16,0

Çıkarılan heyelan sayısına göre yapılan karşılaştırma işleminde alanda yer alan 236 heyelanın 198 tane uygulanan yöntem ile çıkarılmıştır. Bunun yanında yanlış olarak 45 adet heyelan olmayan alan heyelan olarak çıkarılmıştır. Bu sonuçlara göre doğru oran (P_c) %81,5 yanlış oran (P_F) %18,5 olarak elde edilmiştir (Tablo 5.3).

Uygulanan yöntem ile yanlış çıkarılan heyelanlar genellikle yol kenarlarındaki yolun altında kalan toprak atıkları (Şekil 5.14(a)), orman içinde kalan rengi heyelana benzeyen ancak dar olması nedeni ile eğimi yüksek olan yollardır (Şekil 5.14(b)). Bunun yanında bazı dar, çevresi ağaçlarla kaplı dere yatakları da heyelan olarak çıkarılmıştır (Şekil 5.14(c)). Bu alanların heyelanlar ayrıştırılması için SYM verisinden üretilen farklı eğrisellik türleri denenmiştir. Ancak bu alanları bazı heyelanlarla benzer özellikler taşıdığı görülmüştür. Özellikle çevresi orman ile kaplı heyelanlarda eğrisellik değerleri bu alanlara benzemektedir.



Şekil 5.14. Analizi sonucu yanlış çıkarılan heyelan örnekleri: (a): yolların alt kenarında yer alan toprak atıkları; (b): orman içinde kalan dar yollar; (c): dar çevreli dere yatağı

Çalışma sahasında yer alan 236 heyelandan 38 tanesi uygulanan yöntem ile çıkarılamamıştır. Buna göre yapılan doğruluk analizde kayıp oran değeri % 16 olarak elde edilmiştir (Tablo 5.3). Çıkarılamayan heyelanlar genel olarak gölge altında kalan

heyelanlar, yoğun bitki örtüsü ile kaplı olan heyelanlar ve alansal olarak küçük olan heyelanlardır (Şekil 5.15). Uygulanan yöntem ile küçük heyelan alanları ve üstü ağaçlarla kaplı heyelanların açık bölümlerine ait görüntü nesneleri çıkarılabilmektedir. Heyelan alanlarının düzenlenmesi aşamasında oluşturulan kural setleri ile ayrıştırılamayan farklı özellikte küçük, gürültü olarak tanımlayabileceğimiz görüntü nesnelerinin ayıklanması için oluşturulan 50 m²'den (5000 piksel) küçük görüntü nesnelerini heyelanlardan ayırma kuralı ile bu alanlara ait görüntü nesnelerinin de heyelanlardan ayrılmasına neden olmuştur.



Şekil 5.15. Analiz sonucu çıkarılamayan heyelan alanlarına ait örnekler

Alan bazlı Doğruluk Analizi

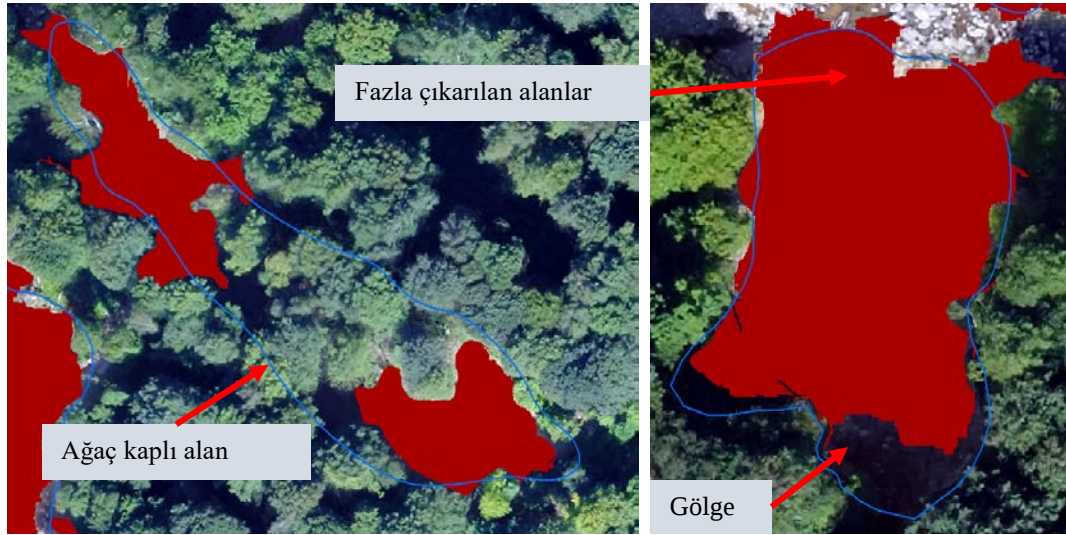
Yapılan analiz sonucu çıkarılan heyelan alanları uzman tarafından üretilen heyelanların alanları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 5.4’de gösterilmiştir. Tablo 5.4’deki referans heyelan alanları, analiz ile çıkarılan heyelan alanları ve doğru çıkarılan heyelan alanları m² biriminde verilmiştir. Doğruluk değerlerinin hesaplanmasında ise (3.9) – (3.11) eşitliklerin faydalanılmıştır.

Tablo 5.4. *Kurucaşile model alanında çıkarılan heyelanların alan bazlı doğruluk değerleri*

Referans Heyelan Alanı (m ²)	Analiz ile çıkarılan heyelan alanı (m ²)	Doğru Çıkarılan heyelan alanı (m ²)	Doğruluk (%)	Tamlık (%)	Kalite (%)
225149,71	202715,34	171055,88	84,3	76,0	66,6

Yapılan alan bazlı doğruluk analizi sonucunda, analiz ile 202715,34 m²'lik bir heyelan alanı çıkarılmıştır. Bu alanın referans veride yer alan heyelanlar örtüşen alanı ise 171055,88 m² olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre yapılan heyelan haritalama analizinin doğruluk oranı %84,3 olarak elde edilmiştir. Uzman tarafından oluşturulan heyelanların alanı 225149,71 m²'dir. Buna alan değerine göre elde edilen tamlık oranı %76'dır. Elde edilen alan bazlı karşılaştırmanın kalite oranı ise %66,6 olarak elde edilmiştir (Tablo 5.4).

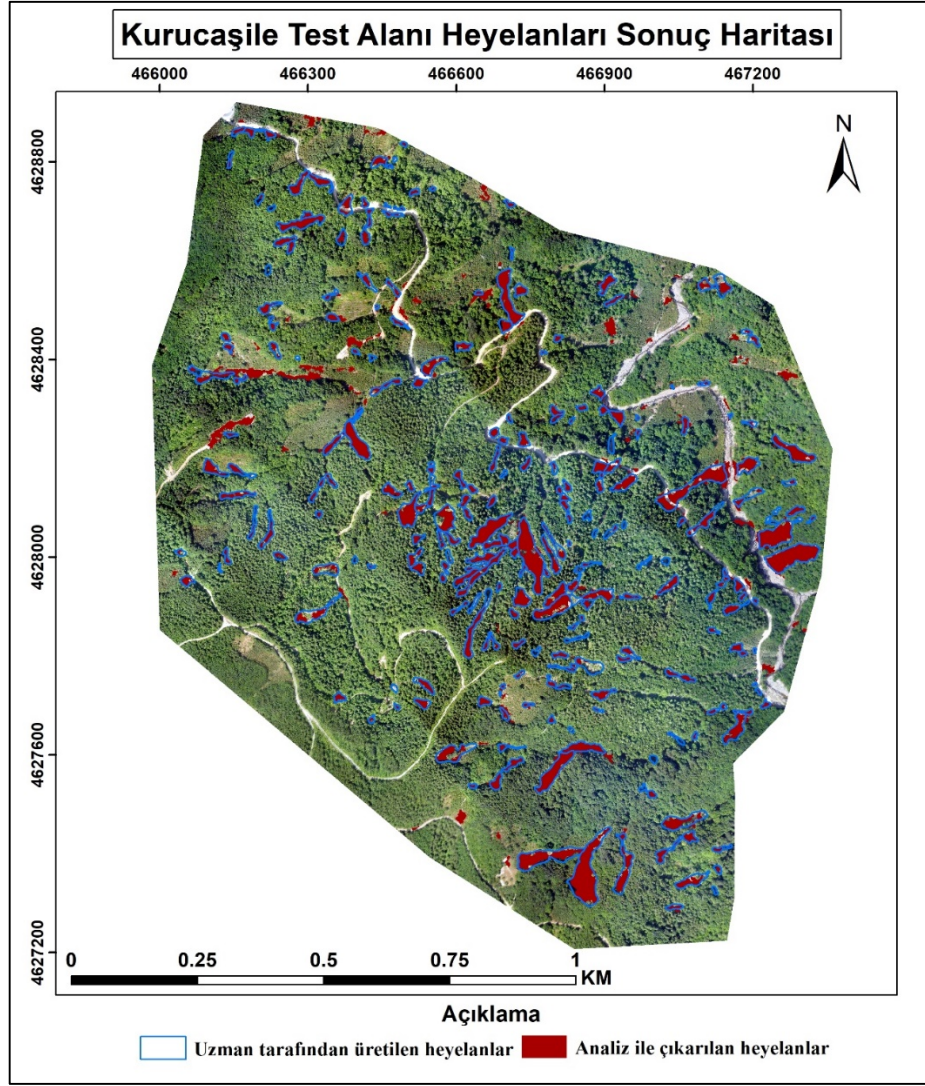
Yapılan analiz sonucunda kalite oranını etkileyen en önemli faktörler çıkarılamayan heyelanlar ve yanlış olarak çıkarılan heyelan alanlarıdır. Bunun yanında belirli kısımları ağaçla kaplı ve kenarlarında gölge olan heyelan alanlarında alan kayıpları mevcuttur. Ayrıca analizle çıkarılan bazı heyelanların çizim ile elde edilen heyelan sınırları dışına taşması elde edilen sonuçların kalitesini etkilemiştir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Alan bazlı doğruluk analizinde sonuçların kalitesini etkileyen örnek alanlar

Geliştirilen Modelin Test Alanına Uygulanması

Heyelanların çıkarılması için model alanına uygulanan işlem adımları test alanı olarak seçilen ve Şekil 5.4'de belirtilen alan üzerine uygulanmıştır. Bu işlemin amacı benzer alanlarda geliştirilen modelin başarısını test etmektir. Yapılan uygulama sonucunda test alanı üzerinden çıkarılan heyelanlar Şekil 5.17'de gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Kurucuşile test alanına ait çıkarılan heyelanların sonuç haritası

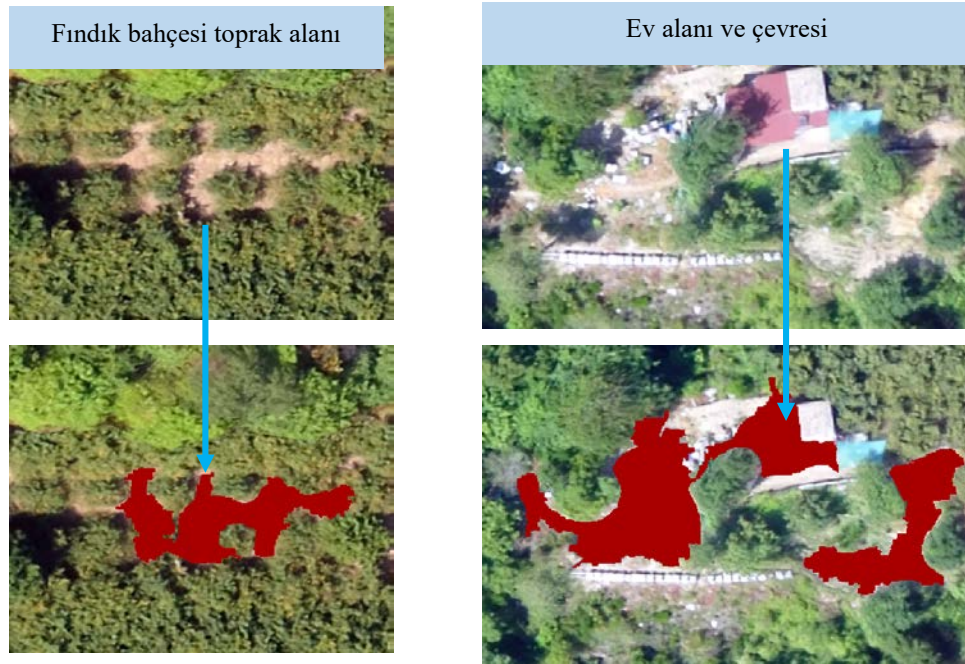
Test alanı üzerine yapılan uygulama işlemi sonucundan elde edilen heyelanlar uzman tarafından çizilerek oluşturulan heyelanlarla sayısal ve alansal olarak karşılaştırılmıştır. Tablo 5.5’de heyelanların sayısal olarak karşılaştırılması sonucu elde edilen sonuçlar verilmiştir. Tablo 5.5’de verilen doğru oran, yanlış oran ve kayıp oran değerleri yüzde olarak sunulmuştur. Çıkarılan heyelanların doğru doğru olarak değerlendirilmesinde model alanı için kullanılan kriterler bu alan içinde kabul edilmiştir.

Tablo 5. 5. Kurucuşile test alanına ait heyelan sayısı tabanlı doğruluk analizi

Referans Heyelan sayısı	Doğru çıkarılan heyelan sayısı	Yanlış çıkarılan heyelan sayısı	Kayıp heyelan sayısı	Doğru Oran (%)	Yanlış Oran (%)	Kayıp Oran (%)
265	224	49	41	82,0	18,0	15,4

Test alanı üzerinden çıkarılan heyelan sayısına göre yapılan karşılaştırma işleminde uygulanan yöntem ile 273 adet heyelan çıkarılmıştır. Bu heyelanlardan 224 adeti referans veriye göre doğru olarak çıkarılmıştır. 49 tanesi ise yanlış olarak çıkarılmıştır. Bu sonuçlara göre doğru oran %82, yanlış oran ise %18 olarak elde edilmiştir (Tablo 5.5). Yanlış heyelan olarak çıkarılan alanlar incelendiğinde model alanına benzer olarak dik eğimli yollar, dere kenarlarındaki bazı alanlar ve yol kenarlarındaki toprak atıkları olduğu görülmüştür. Model alanından farklı olarak test alanında fındık bahçeleri yer almaktadır. Bu bahçelerde fındık ağaçlarının büyük olduğu ve altlarının görünmediği alanlarda bahçeler bitki sınıfında çıkarılmıştır. Ancak fındık ağaçlarının arasının açık olduğu altlarında yer alan toprakların görüldüğü birkaç alan heyelan olarak çıkarılmıştır. Bunlara ek olarak test alanında birkaç ev yer almaktadır. Bu alanlarda da ev ve çevresi heyelan gibi çıkarılmıştır (Şekil 5.18).

Test alanında uzman tarafından oluşturulan toplam 265 heyelan bulunmaktadır. Bu heyelanlardan 41 tanesi uygulanan yöntem ile çıkarılmamıştır. Bu değerlere göre yapılan doğruluk analizinde kayıp oran değeri %15,4 olarak elde edilmiştir (Tablo 5.5). Uygulanan yöntem ile çıkarılamayan heyelanlar model alanına benzer olarak gölgede kalan, alansal olarak boyutu küçük olan heyelanlar ve üzeri yoğun olarak ağaçlarla kaplı heyelanlardır.



Şekil 5.18. Test alanı üzerinde model alanında farklı arazi kullanım alanlarında yanlış çıkarılan heyelanlar

Test alanı üzerinde çıkarılan heyelanların alanlarının uzman tarafından üretilen heyelanlarla karşılaştırılması sonuçları Tablo 5.6’de gösterilmiştir. Tablo 5.6’de referans heyelan alanları, analiz ile çıkarılan heyelan alanları ve doğru çıkarılan heyelan alanları değerleri m² biriminde verilmiştir.

Tablo 5.6. *Kurucaşile model alanında çıkarılan heyelanların alan bazlı doğruluk analizi*

Referans Heyelan Alanı (m ²)	Analiz ile çıkarılan heyelan alanı (m ²)	Doğru Çıkarılan heyelan alanı (m ²)	Doğruluk (%)	Tamlık (%)	Kalite (%)
121265,79	110365,56	88293,98	80,0	72,81	61,60

Test alanı üzerinde yapılan analiz işlemi sonucunda çıkarılan heyelanların toplam alanı 110365,56 m²’dir. Uzman tarafından üretilen heyelanların toplam alanları ise 121 265,79 m²’dir. Bu heyelan alanlarından 88293,98 m²’lik bölümü referans verideki heyelan alanları ile ortak olarak çıkarılmıştır. Bu değerlere göre yapılan analiz işleminin doğruluğu %80, tamlık değeri %72,81 ve kalite oranı ise %61,60 olarak elde edilmiştir (Tablo 5.6).

Elde edilen alan bazlı doğruluk sonuçları değerlendirildiğinde, model alanına benzer olarak tamlık oranı ve kalite oranı doğruluk oranına göre düşük çıkmıştır. Kalite değerinin düşük çıkması, uygulanan yöntem ile yanlış çıkarılan heyelan ve çıkarılamayan kayıp heyelanlarla doğrudan ilişkilidir. Bunun yanında doğru olarak çıkarılan heyelanların çevresinde bulunan ağaçlar gölgeler ve yol tarafından kesilen heyelanlar çıkarılan heyelanların alanlarının daha az olmasına neden olmuştur. Bu durum hem tamlık hem de kalite doğruluk oranlarını etkilemektedir.

Uygulanan sınıflandırma aşamasının genel değerlendirmesi

Çalışma sahasında model alan olarak seçilen bölge, genel olarak orman alanları ile kaplıdır. Orman alanlarının yanında yollar, düşük eğimli genellikle yeşil alanlar, dere yatağı gibi farklı arazi kullanım ve arazi örtüsü tipleri yer almaktadır. Bunun yanında yol kenarları ile orman alanı arasında kalan alanlar mevcuttur. Ayrıca bölgenin ormanlık ve dik olması nedeni ile alanda gölgelik alanlar bulunmaktadır. Bu kapsamda model alanına ait heyelanların çıkarılması için bitki, heyelan, gölge, kenar ile yol – dere yatağı – hafif

düşük eğimli alanlar sınıfları tanımlanmış ve bu alanların ayrıştırılması için kural setleri geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan İHA sisteminin algılayıcısı sadece KYM bölgede algılama yapan optik bir algılayıcıdır. Bu sistem ile uydu görüntüleri gibi çok bantlı görüntü elde etmek mümkün değildir. Buna rağmen çalışma sahasında yer alan bitki alanları yeşil renkte olduğu için ortomozaik görüntünün K, Y, M bantlarından üretilen bant indisleri ile başarılı bir şekilde ayrıştırılabilmektedir.

Çalışma sahasındaki bitki alanlarını ayırmak için GRVI, EGI ve YBO indisleri uygulama kapsamında denenmiştir. Yapılan denemelerde GRVI, EGI indislerinin hafif gölgeli bitki alanlarının bazılarını çıkaramadığı görülmüştür. Diğer taraftan YBO indisi diğer iki indise göre bu alanlarda daha başarılı sonuç verdiği için çalışma kapsamında bitki alanlarının çıkarılmasında tercih edilmiştir.

Yollar ile heyelanların ayrıştırılmasında eğim katmanının oldukça iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun yanında dere yatağı ve düşük eğimli alanlarda yollar gibi eğim katmanı kullanılarak ayrıştırılmıştır. Orman içinde kalan dar yollarda ve dar dere yataklarında, görüntüden üretilen nokta bulutundan kaynaklı olarak, yolların eğimleri daha açık alanda yer alan yollara göre heyelanlara benzer eğim değerlerinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum bazı yol ve dere yataklarının heyelan gibi çıkarılmasına neden olmuştur.

Yolların kenarında kalan alanlar için kenar sınıfı tanımlanmıştır. Bu alanların sınıflandırılmasında görüntü nesnelerinin geometrik özelliklerinden faydalanılmıştır. Bu kapsamda en/boy oranı ve oluşan görüntü nesnesine ait poligonun bütünlük değerleri kenar alanlarının ayrıştırılmasında kullanılmıştır. Sınıflandırma aşamasında uygulanan bu parametreler ile özellikle yolların üst kısmında kalan kenar alanlarının başarılı bir şekilde çıkarıldığı gözlemlenmiştir. Yol altında kalan kenarlar üst alanlara göre daha geniş bir alana sahiptir. Bu alanlarda uygulanan parametre değerleri ile çıkarılamayan toprak atıklarının oluşturduğu kenarların heyelan olarak çıkarıldığı görülmüştür. Bu alanların ayrıştırılmasında SYM'den üretilen profil, plan, normal eğrimsellik gibi çok farklı morfometrik parametre ile GLCM'e göre spektral bantlar, eğim ve sayısal arazi modelinden üretilen dokusal parametreler denenmiş ancak istenilen sonuçlar alınamamıştır.

Çalışma sahasında gölgelik alanların ayrıştırılması için parlaklık ve MKBI indis değerlerinden faydalanılmıştır. Uygulamanın birinci sınıflandırma aşamasında parlaklık değerinden faydalanılmıştır. Heyelan kenarlarında kalan hafif gölgeli alanları kaybetmemek için parlaklık değeri 70 gibi küçük değerde tutularak koyu gölge alanları ayrıştırılmıştır. İkinci sınıflandırma aşamasında gölgelerin ayrıştırılmasında MKBI indisinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüş ve bundan dolayı heyelan olarak atanan gölge alanlarının ayrıştırılmasında MKBI indisi kullanılmıştır.

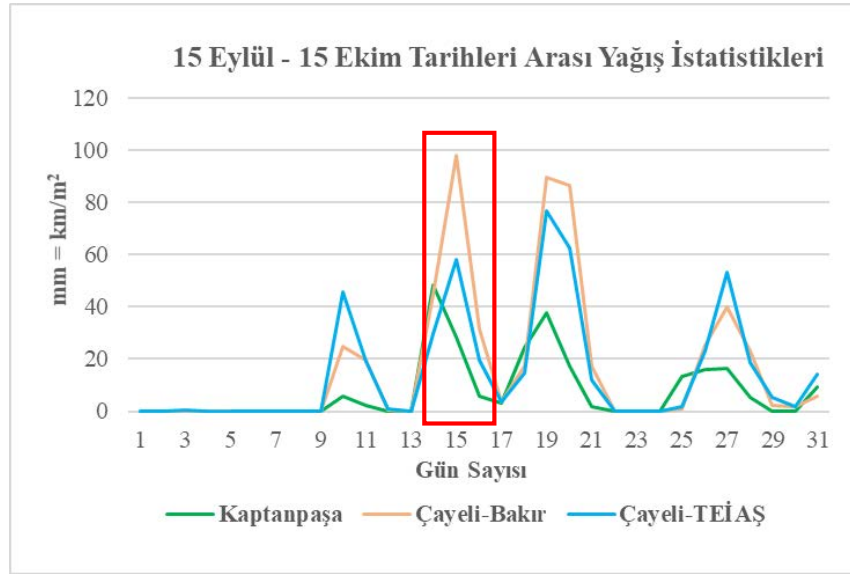
Model alanı üzerinde geliştirilen heyelan çıkarma modeli, test alanına uygulanmış. Bu alanda elde edilen doğruluk analizi sonuçlarının da model alanda elde edilen doğruluk değeri sonuçlarına yakın olduğu görülmüştür. Ancak test alanı içinde yer alıp, model alanı içinde yer almayan, bina ve eğimi yüksek fındık bahçesi içinde yer alan toprak alanlar için her hangi bir kural geliştirilmediği için test alanında bu alanlar heyelan olarak çıkarılmıştır. Bu durum iki alanın yan yana olmasına rağmen ortak özellikte olmayan alanların çıkarılamayacağını göstermektedir.

6. KARMAŞIK ALANLAR ÜZERİNDE HEYELANLARIN HARİTALANMASI

Beşinci bölümde yoğun orman alanlarında meydana gelen heyelanlar incelenmiştir. Bu bölümde ise daha yerleşim yeri, tarlalar, orman alanları gibi karmaşık bir arazi kullanım özelliğine sahip alanlar incelenmiştir. Bu kapsamda tarihinde meydana gelen Rize – Çayeli heyelanları incelenmiştir. Çayeli araştırma sahasında nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile heyelanların haritalanması için beşinci bölümde verilen Şekil 5.1’deki işlem adımları takip edilmiştir.

6.1. Rize Çayeli Heyelanları Olay Bilgisi

Karmaşık alanlarda heyelanların haritalanması için incelenen alan Rize Çayeli heyelan sahalarıdır. Çayeli ilçesinden 28-30 Eylül 2017 tarihlerinde yağan yoğun yağmur nedeni ile bölgede özellikle Kaptanpaşa, Yeşiltepe, Çukurluhoca ve Gürpınar köylerinde çok sayıda heyelan olayı meydana gelmiştir. Bu kapsamda öncelikle, çalışma havzası içine düşen Kaptanpaşa, Çayeli-Bakır ve Çayeli-TEİAŞ Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından (OMGİ) yağış bilgileri elde edilmiştir (Şekil 6.1). Şekil 6.1’de bu istasyonlardan 15 Eylül – 15 Ekim 2017 tarihleri arasında alan düşen yağış verileri grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafik üzerinde yer alan kırmızı dikdörtgen olayın gerçekleştiği tarihleri göstermektedir. Olayın gerçekleştiği 3 günlük süre içinde Kaptanpaşa istasyonunda 82,6 mm, Çayeli-Bakır istasyonunda 174,8 mm ve Çayeli-TEİAŞ istasyonundan 107,6 mm seviyesinde yağışlar kayıt edilmiştir. Bu yağışlar alanda ani gelişen heyelan olaylarını tetiklemiştir. Heyelanlardan dolayı, Çayeli ilçesinde 2 ev yıkılmış, 13 ev boşaltılmıştır. Gürpınar köyünde yıkılan ev nedeniyle 1 kişi hayatı kaybetmiş, 1 kişide yaralanmıştır. Meydana gelen olay sonucunda birçok köy yolu kapanırken, büyük maddi hasarlara neden olmuştur.



Şekil 6.1. Rize Çayeli Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından (OMGİ) elde edilen 15 Eylül – 15 Ekim tarihleri arası yağış bilgileri, kırmızı dörtgen olay günleri meydana gelen yapıları göstermektedir.

6.2. Çalışma Alanına Ait Verilerin Elde Edilmesi

Araştırması kapsamında heyelan afetinden yaklaşık 1 hafta sonra alana ölçüm için gidilmiştir. Bu kapsamda 5-7 Ekim tarihlerinde Sensefly – eBee insansız hava aracı ile alana ait hava fotoğrafları çekilmiştir. Hava fotoğraflarının çekilmesine KYM görüntü veren S.O.D.A kamera kullanılmıştır. Alanda İHA sistemi ile 6 farklı uçuş işlemi gerçekleştirilmiştir. Uçuşlar işlemlerine ait bilgiler Tablo 6.1’de sunulmuştur. Uçuş işlemi aşamasında, edilen fotoğraflarda mevsimsel olarak gölge alanların mümkün olduğunca az olması için uçuşlar saat 11:00 –14:30 saati aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Uçuş işlemi 3 gün sürmüştür. Bu kapsamda birinci gün Kaptanpaşa köyüne ait, ikinci gün

Yeşiltepe köyüne ait, üçüncü günde Çukurluhoca ve Gürpınar köylerine ait hava fotoğrafları elde edilmiştir. Yapılan tüm uçuşlar 5 cm yer örneklem aralığına göre %75 enine ve boyuna bindirme oranlarına göre gerçekleştirilmiştir. Yapılan uçuş işlemleri sonucunda tüm alanlara toplamda 1984 adet İHA hava fotoğrafı çekilmiştir (Tablo 6.1).

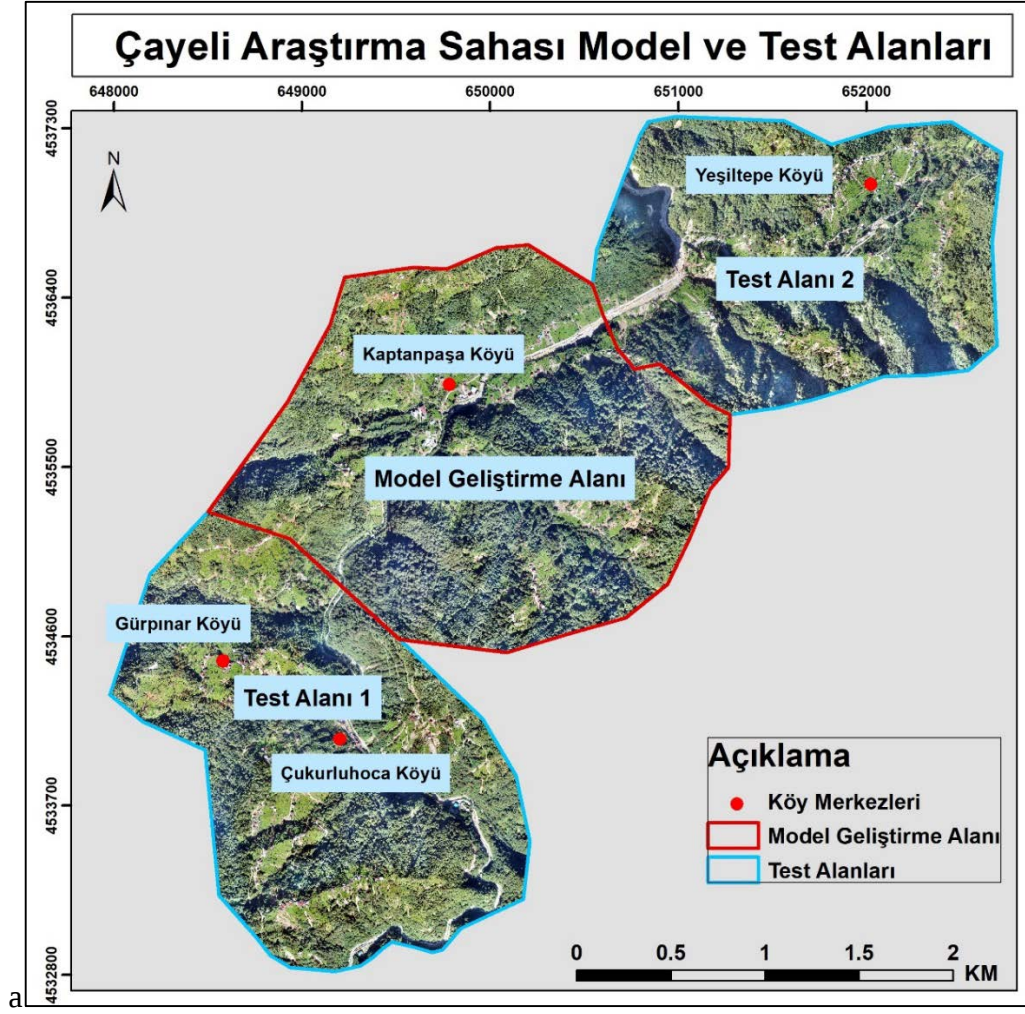
Tablo 6.1. Rize – Çayeli çalışma sahasına yapılan uçuşlara ait bilgiler

Alan Adı	Uçuş	Çekilen Fotoğraf Sayısı	Yer Örneklem Aralığı	Enine/Boyuna Bindirme Oranı	Ortalama Uçuş Yüksekliği
Kaptanpaşa	1. Uçuş	369	5 cm	%75	212 m
	2. Uçuş	408	5 cm	%75	212 m
Yeşiltepe	3. Uçuş	435	5 cm	%75	212 m
	4. Uçuş	110	5 cm	%75	212 m
Çukurluhoca	5. Uçuş	351	5 cm	%75	212 m
Gürpınar	6. Uçuş	311	5 cm	%75	212 m

6.3. Verilerin İşlenmesi

Veri toplama aşamasında elde edilen hava fotoğrafları Pix4D Mapper Pro yazılımında işlenmiştir. Veri işleme aşamasında Bölüm 4.3’de anlatılan işlem adımları takip edilmiştir. Veri işleme aşaması sonucunda çalışma sahasına ait 10 cm çözünürlüklü ortomozaik ile SYM verisi ve 50 cm çözünürlüklü SAM verisi üretilmiştir.

Veri işleme aşamasından sonra heyelanların haritalanmasında kullanılacak verilerin oluşturulması aşamasına geçilmiştir. Bu kapsamda elde edilen veriler model ve test alanları olarak 3 ayrı alana bölünmüştür. Kaptanpaşa köyüne ait alan çalışma kapsamında heyelan çıkarmada kullanılacak modelin geliştirilmesi için seçilmiştir. Gürpınar ve Çukurluhoca köylerini içeren alan geliştirilen modelin test edileceği birinci alan, Yeşiltepe köyü ve Kaptanpaşa köyünün kuzeyinde kalan alanı ise geliştirilen modelin test edileceği ikinci alan olarak seçilmiştir (Şekil 6.2). Alanların bu şekilde bölünmesindeki amaç geliştirilen heyelan haritalama modelinin benzer alanlarda başarısını test etmektir.



Şekil 6.2. Çayeli araştırma sahası model ve test sahaları

Model ve test alanları belirlendikten sonra analiz işleminde kullanılmak üzere ortomozaik, SYM ve SAM verisine ek olarak her bir alana ait SYM verisinden eğim ve eğrisellik (normal eğrisellik, profil ve düzlemsel eğrisellik) haritaları üretilmiştir.

6.4. Heyelanların Haritalanması

Çayeli araştırma sahasındaki heyelanların haritalanması için model geliştirme alanına ait veriler kullanılarak segmentasyon parametrelerinin belirlenmesi ve heyelanların çıkarılması için kural setleri geliştirilmiştir. Bu doğrultuda yapılan işlemler aşağıda alt başlıklar halinde anlatılmıştır.

6.4.1. Görüntü segmentasyonu

Model geliştirme alanına yönelik segmentasyon işleminde öncelikli olarak segmentasyon işleminde kullanılacak katmanların seçimi işlemi yapılmıştır. Bölüm 5.4.1’de anlatılan şekilde katman seçimi aşamasında eğim, SYM ve spektral katmanlar kullanılmış farklı katman kombinasyonları yapılarak, uygun katman belirlenmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda model alanı için eğim, SYM, K, Y, M katmanların hepsinin segmentasyon aşamasında girdi olarak kullanılması uygun görülmüştür. Çayeli çalışma alanında da Kurucaşile alanına benzer olarak sadece spektral bantlar kullanıldığında yollar ile heyelanlar, sığ heyelanların olduğu yerlerde heyelan ile heyelan olmayan alanlar birbirine karışabilmektedir. Bundan dolayı eğim ve SYM verisi bu alanların ayrıştırılması için spektral bantlara ek olarak segmentasyon aşamasına dahil edilmiştir.

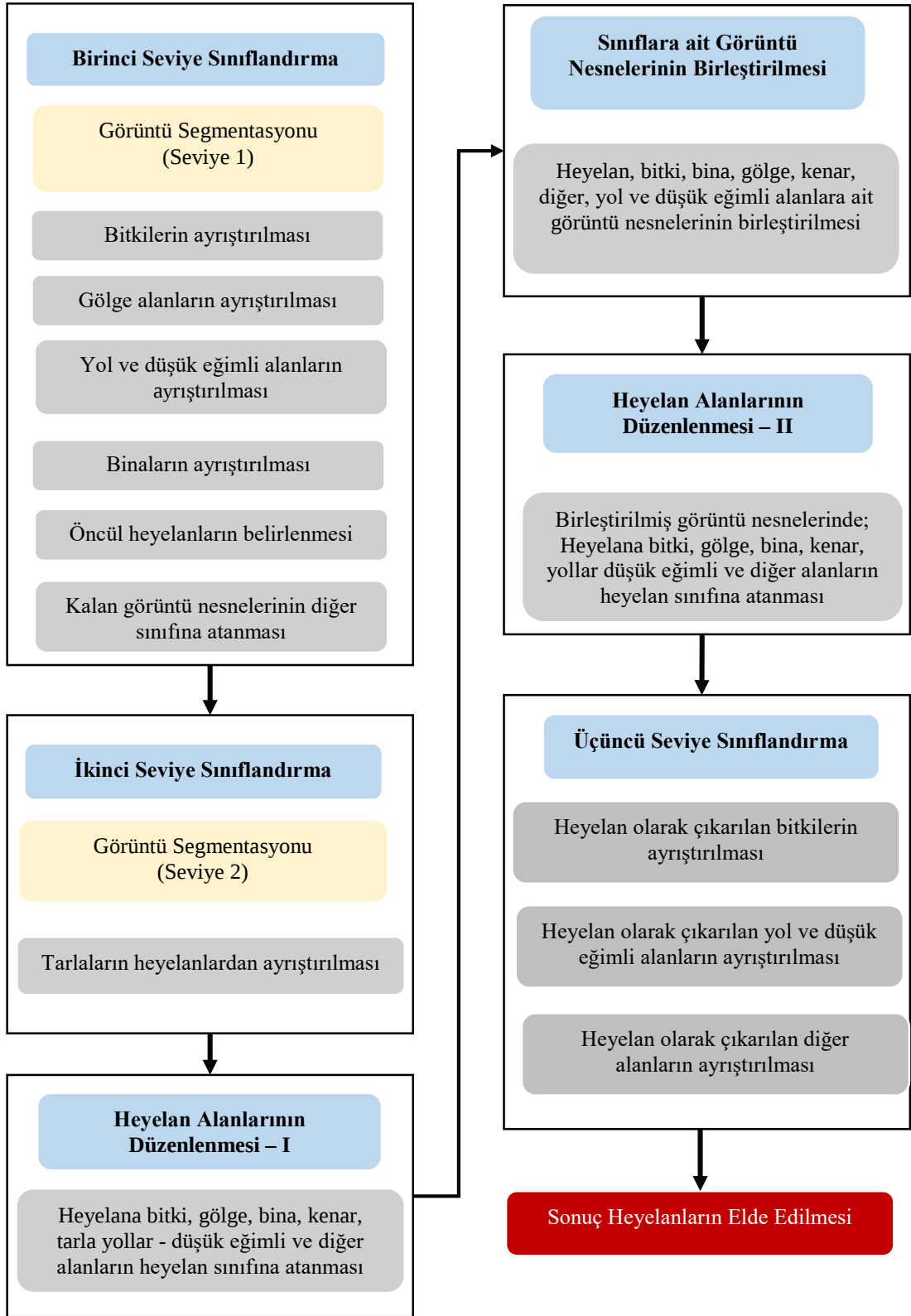
Çalışma kapsamında homojen görüntü nesnelerinin üretilmesi için çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemi, seçilen katmanlara uygulanmıştır. Çoklu çözünürlük segmentasyon aşamasında görüntü nesnelerinin oluşturulması için 5 adet parametrenin belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametreler ölçek faktörü, yoğunluk, bütünlük, renk ve şekil parametreleridir. Uygulamanın yapıldığı eCognition Developer yazılımında bu parametrelerin hesaplanması için ölçek, şekil ve bütünlük parametrelerinin tanımlanması gerekmektedir.

Çayeli model geliştirme alanı Kurucaşile ormanlık alanında farklı olarak daha fazla arazi kullanım tipine sahiptir. Bu farklı arazi kullanım alanlarını heyelanlardan ayırmak için hiyerarşik bir sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda heyelanların haritalanmasında Seviye 1 ve Seviye 2 olmak üzere iki farklı segmentasyon işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.3). Seviye 1 segmentasyon işlemi sonucu oluşan görüntü nesnelerinden bitki alanları, gölge alanları, binalar, yol kenarları, yollar ve düşük eğimli alanlar heyelanlardan ayrıştırılmıştır. Seviye 2 sonucunda ise tarla alanları heyelanlardan ayrıştırılmıştır. Seviye 1 segmentasyon işlemi için deneme hata yöntemi sonucunda uygun segmentasyon parametreleri ölçek parametresi 50, şekil parametresi 0,3 ve bütünlük parametresi 0,6 olarak belirlenmiştir. Çalışma sahasında heyelanlarla en çok karışan alanlar tarlalar ve kesilmiş çay bahçeleridir (Şekil 6.5). Bu alanları birbirinden ayırt etmek için görüntü nesnelerinin boyutunu büyütüp, aynı görüntü nesnesi içine tarla ve heyelan düşmeyecek şekilde ikinci seviye segmentasyon işlemi uygulanmıştır. Bu

işlemdeki amaç görüntü nesnelerinin boyutlarını büyüterek, heyelan ve tarla alanlarının özelliklerini daha iyi temsil edecek görüntü nesnelerini elde etmektir. Seviye 2 segmentasyonu için uygun parametreler ölçek 150, şekil 0,5 ve bütünlük 0,5 olarak belirlenmiştir. Seviye 1 segmentasyonu piksel seviyesinde gerçekleştirilirken, Seviye 2 segmentasyonu Seviye 1’de üretilen görüntü nesnelerinden heyelan sınıfına atanan görüntü nesneleri kullanılarak nesne seviyesinde gerçekleştirilmiştir.

6.4.2. Görüntü nesnelerinin sınıflandırılması

Çayeli model geliştirme sahasında segmentasyon aşamasından sonra oluşturulan görüntü nesnelerinin sınıflandırılması işlemine geçilmiştir. Sınıflandırma işlemi kural tabanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda alanda heyelan olmayan arazi kullanım tiplerini heyelanlardan ayırmak için kural setleri geliştirilmiştir. Sınıflandırma işlemi hiyerarşik olarak görüntü nesnelere uygulanmıştır. Model alanındaki heyelanların haritalanması için uygulanan sınıflandırma akışı Şekil 6.3’de gösterilmiştir. Şekil 6.3’de Birinci seviye sınıflandırma işleminde, Seviye 1 segmentasyonuna göre elde edilen görüntü nesnelerinden bitki, gölge, yol – düşük eğimli alanlar, binalar, kenar ve diğer alanların heyelanlardan ayrıştırılması işlemi gerçekleştirilmiştir. İkinci seviye sınıflandırma işleminde heyelan olarak atanan tarla alanlarının ayrıştırılması yapılmıştır. Üçüncü aşamada heyelan alanları içinde çıkarılan diğer arazi tiplerinin heyelanlara atanması ile birinci seviye heyelan alan düzeltilmesi yapılmıştır. Dördüncü aşamada her bir arazi kullanım sınıfına ait görüntü nesneleri birleştirilmiştir. Beşinci aşamada tekrardan heyelan alanları içinde kalan diğer arazi kullanım sınıflarının heyelanlara atanması gerçekleştirilmiştir. Altıncı aşamada heyelan olarak çıkarılan bitki ve yol – düşük eğimli alanların heyelanlardan ayrıştırılması ile sonuç heyelanlar elde edilmiştir.



Şekil 6.3. Çayeli model geliştirme alanında uygulanan heyelanların haritalanmasında uygulanan kural seti akışı

Heyelanların haritalanması için yapılan sınıflandırma işleminde uygulanan işlemlerde kullanılan görüntü metrikleri ve eşik değerleri Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2. *Çayeli model geliştirme alanında heyelanların haritalanması için kullanılan parametreler ve eşik değerleri*

	Atanan Sınıf	Parametre	Eşik Değeri
Birinci Seviye Sınıflandırma	Bitki	YBO	$\geq 0,357$
	Gölge	Parlaklık	≤ 60
	Yollar, düşük eğimli alanlar, akarsu yatağı	Eğim	$\leq \%30$
	Bina	YMBI	$-0,27 \leq YMBI \leq 0,008$
		Parlaklık	≤ 100
		Ortalama Kırmızı Bant	≤ 100
		EGI	≤ -15
	Yol kenarı	En/boy oranı	≥ 3
		Yola gerçek komşuluk	$\geq 0,18$
		Eğrisellik standart sapma	≥ 800
	Heyelan	SYM – SAM fark	≥ 20
		KBO	$\geq 0,34$
	Diğer	Kırmızı Bant Oran	≥ 0
İkinci Seviye Sınıflandırma	Tarla (tarla + kesilmiş çay bahçesi)	YMBI	$\geq 0,075$
		Kırmızı bant tüm yönlerdeki GLCM farklılık	≥ 20
Heyelan Alanların Düzenlenmesi I	(Bitki, tarla, yol – düşük eğimli alan, gölge, yol kenarı, bina, diğer) → heyelan	Heyelana Gerçek komşuluk	$\geq 0,4$
Heyelan Alanlarının Düzenlenmesi II	(Tarla, yol – düşük eğimli alan, gölge, yol kenarı, bina, diğer) → Heyelan	Heyelana gerçek komşuluk	$\geq 0,4$
	Bitki → Heyelan	Heyelana gerçek komşuluk	$\geq 0,4$
		Alan (piksel)	≤ 5000
Üçüncü Seviye Sınıflandırma	Heyelan → Bitki	YBO	$\geq 0,35$
	Heyelan → Yol – düşük eğimli alan	Yol – düşük eğimli alana komşuluk	$\geq 0,9$
	Heyelan → Diğer	Alan (piksel)	≤ 3000
Açıklama	YBO: Yeşil Bant Oranı; YMBI: Yeşil Mavi Fark Bant İndeksi; EGI: Aşırı Yeşil İndeksi; KBO: Kırmızı Bant Oranı; SYM: Sayısal Yüzey Modeli, SAM: Sayısal Arazi Modeli; GLCM: Gri Düzey Eş Oluşum Matrisleri		

Birinci Seviye Sınıflandırma

Birinci seviye sınıflandırma işleminde öncelikli olarak alanda en fazla yer kaplayan yeşil bitki alanlarının heyelanlardan ayrıştırılması yapılmıştır. Araştırma sahasında bitki alanı olarak ormanlar, çay bahçeleri, çayırlar ve çimenlikler bulunmaktadır. Bu alanlar ortomozaik veride yeşil renkli olarak görülmektedir. Bitki alanlarının ayrıştırılması için YBO parametresinden faydalanılmıştır. Bu doğrultuda YBO değeri 0,357'den büyük olan alanlar bitki alanı olarak sınıflandırılmıştır (Tablo 6.2).

Çayeli araştırma sahasındaki heyelanlar Eylül ayı sonlarında meydana gelmiştir. Alana ait veriler ise Ekim başında elde edilmiştir. Mevsimsel etkiden dolayı özellikle kuzey yamaçlarda gölge oranı çok yüksektir. Bu gölge alanları filtrelemek için parlaklık parametresinden faydalanılmıştır. Bu kapsamda parlaklık değeri 60'dan küçük olan alanlar gölge sınıfına atanmıştır (Tablo 6.2).

Kurucaşile çalışma sahasına benzer olarak Çayeli alanında da yollar, dere yatakları ve yerleşim yerlerinin eğimleri genel olarak %30'dan düşüktür. Heyelanlar ise %30'dan daha büyük eğimlere sahiptir. Model alanında yollar, dere yatakları, düşük eğimli alanlar, görüntü nesnelerinin ortalama eğim değerleri kullanılarak ayrıştırılmıştır (Tablo 6.2).

Araştırma sahasında yer alan binaların heyelanlardan ayrıştırılması için birden çok parametre kullanılmıştır. Çalışma sahasında yer alan binaların çatıları genel olarak kahverengi renkli çatılardır. Bu çatıların bazıları yeni çatılar olup canlı bir renk tonuna sahipken, bazı çatılar eski çatılar olup daha sönük bir renk tonunda yansıma yapmaktadır. Sınıflandırma aşamasında öncelikli olarak canlı renk tonuna sahip bina çatılarının ayrıştırılması yapılmıştır. Bu çatılar yeşil bantta düşük mavi bantta yeşil bantta göre yüksek yansıma vermektedir. Bu doğrultuda Yeşil Mavi Bant Fark İndeksi (YMBI) (Eşitlik (6.1)) binaların ayrıştırılmasında tercih edilen parametrelerden birisidir. Bina çatılarına benzer olarak gölgeli alanlarda da yeşil bandın yansıması mavi banttan düşüktür. Heyelan kenarlarında az gölgeli olup gölge sınıfına atanmayan alanlar yer almaktadır. Bu alanların bina sınıfına atanmaması için Kırmızı bant ortalama değeri ve parlaklık değerlerinden faydalanılmıştır. Bu kapsamda canlı renk tonuna sahip binaların çıkarılması için YMBI değeri -0,27 ile 0,008 arasında olan ve kırmızı bant ortalama değeri ile parlaklık değeri 100'den büyük olan alanlar bina sınıfına atanmıştır. Kalan eski çatılı binalarının bina sınıfına atanması için EGI, kırmızı bant ortalama değeri ve parlaklık değerleri kullanılmıştır. Bu kapsamda EGI değeri -15'den küçük, kırmızı bant ortalama

değeri ve parlaklık değeri 100'den büyük olan görüntü nesneleri bina sınıfına eklenmiştir (Tablo 6.2).

$$YMBI = \frac{Yeşil - Mavi}{Yeşil + Mavi} \quad (6.1)$$

Kurucaşile araştırma sahasında olduğu gibi Çayeli araştırma sahasında da yol kenarlarında heyelana benzer eğimi yüksek alanlar yer almaktadır. Bu alanları heyelanlardan ayırtmak için görüntü nesnelerinin en/boy oranı, görüntü nesnelerinin SYM verisinden hesaplanan eğrisellik değerinin görüntü nesnelerindeki ortalama standart sapması ve yola olan gerçek komşuluk parametreleri kullanılmıştır. Kenar alanların ayırtılması için öncelikle yola komşuluğu 0,18 olan ve en/boy oranı 3'den büyük olan görüntü nesneleri kenar sınıfına atanmıştır. En/boy oranı ile ayırtılamayan kenar alanları için eğrisellik değerinin standart sapmasından faydalanılmıştır. Yol kenarlarında ani yükseklik değişiminden dolayı bu bölgelerde oluşan görüntü nesnelerinin standart sapması yüksek olmaktadır. Bu kapsamda yola komşuluğu 0,18 olan ve eğrisellik standart sapması 800'den büyük olan alanlar kenar sınıfına dahil edilmiştir (Tablo 6.2).

Çalışma alanında yukarıda ayırtılan alanların dışında mevsim nedeni yeşil rengin dışında farklı renge dönüşmüş bitki alanları, binalar dışında alanda yer alan insan yapımı duvarlar, araçlar vb. özel bir sınıfa atanamayacak birçok alan yer almaktadır. Bu alanlar için ayrı ayrı sınıflandırma parametresi araştırılmamıştır. Bunun yerine bu alanlardan heyelanları ayıracak parametreler bulunmuştur. Bu kapsamda Kırmızı Bant Oranı (KBO) (Eşitlik (6.2)) ve SYM ile SAM arasındaki farktan faydalanılmıştır. Kırmızı Bant Oranı 0,34'den büyük ve SYM ile SAM farkı 20'den küçük olan görüntü nesneleri heyelan sınıfına atanarak öncül heyelanlar belirlenmiştir. Bu alanlar içinde heyelanlarla benzerlik gösteren tarlalarda yer almaktadır (Tablo 6.2).

$$KBO = \frac{Kırmızı}{Kırmızı + Yeşil + Mavi} \quad (6.2)$$

Yapılan sınıf atamalarından sonra kalan diğer görüntü nesneleri kırmızı bant ortalama değeri kullanılarak diğer adlı bir sınıfa atanmıştır.

İkinci Seviye Sınıflandırma

İkinci seviye sınıflandırma işlemine geçmeden önce heyelan sınıfına atanan görüntü nesnelerine ikinci bir görüntü segmentasyonu işlemi uygulanmıştır. Bu işlemle görüntü nesnelerinin boyutunu büyüterek tarlaların ve kesilmiş çay bahçelerinin

karakteristiksel özelliklerinin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Yapılan segmentasyon işleminden sonra öncelikle tarla alanlarının ayrıştırılması yapılmıştır. Bu alanlar için tarlalardaki mavi ve yeşil bandın yansımından hesaplanan YMBI (Eşitlik (6.1)) kullanılmıştır. Yeşil bant spektral yansıması heyelan ve tarla alanlarında mavi banttan daha yüksek değere sahiptir. Ancak tarla alanlarında iki bant arasında yansıma farkı artmaktadır. Bundan dolayı bu özellik kullanılarak YMBI indeksi 0,0775'den büyük olan alanlar tarla olarak sınıflandırılmıştır. Daha sonra çay bahçelerini tarla sınıfına eklemek için dokusal özelliklerden olan kırmızı bandın görüntü nesnelerindeki farklılaşması Gri Seviyeli Eşdizimlilik Matrisine (GLCM) göre tüm yönlerde hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucunda kırmızı bandın tüm yönlerde farklılığı 20'den büyük olan alanlar tarla sınıfına atanmıştır.

Heyelan Alanların Düzenlenmesi I

Çalışma kapsamında uygulanan segmentasyon işlemleri sonucunda model geliştirme alanına ait yaklaşık 750000 görüntü nesnesi üretilmiştir. Bu görüntü nesneleri alansal olarak küçük nesnelerdir. Birinci ve ikinci seviye sınıflandırma işlemleri sonucunda heyelanlar içinde hemen hemen tüm sınıflara küçük görüntü nesneleri çıkarılmıştır. Bu alanlar bazı yerlerde art arda gelmektedir. Örneğin heyelan içinde eğimi %30'dan küçük bir görüntü nesnesi yol – düşük eğimli alan sınıfı olarak çıkarılmaktadır. Bu yol alanın yanında, yine heyelan içinde, kenar sınıfına ait görüntü nesnesi oluşabilmektedir. Bu kenar sınıfı yol – düşük eğimli alanın heyelanla olan komşuluk ilişkisini kesmektedir. Bu alanları azaltmak ve heyelan ile komşuluklarını sağlamak için birinci seviye heyelan alan düzeltmesi yapılmıştır. Bu alanları heyelan alanlarına eklemek için öncelikli olarak birinci alan düzenlemesinde görüntü nesnelerinin heyelana komşuluk özelliklerini kullanarak heyelan alanlarına dahil edilmiştir. Bu kapsamda her bir sınıftan ayrı ayrı heyelana gerçek komşuluk değerleri 0,4'den büyük olanlar heyelan sınıfına atanmıştır.

Sınıflara ait Görüntü Nesnelerinin Birleştirilmesi

Yapılan sınıflandırma işleminden sonra her bir sınıfa ait görüntü nesneleri birleştirilmiştir. Bu birleştirme aşamasının amacı heyelanlara ait kesin sınırları elde etmek ve heyelan içinde kalan diğer sınıfları heyelanlara dahil etmektir. Görüntü nesnelerinin birleştirilmesi aşamasında bir birine komşu olan aynı sınıfa ait görüntü nesneleri herhangi koşul olmaksızın birleştirilmektedir.

Heyelan Alanların Düzenlenmesi II

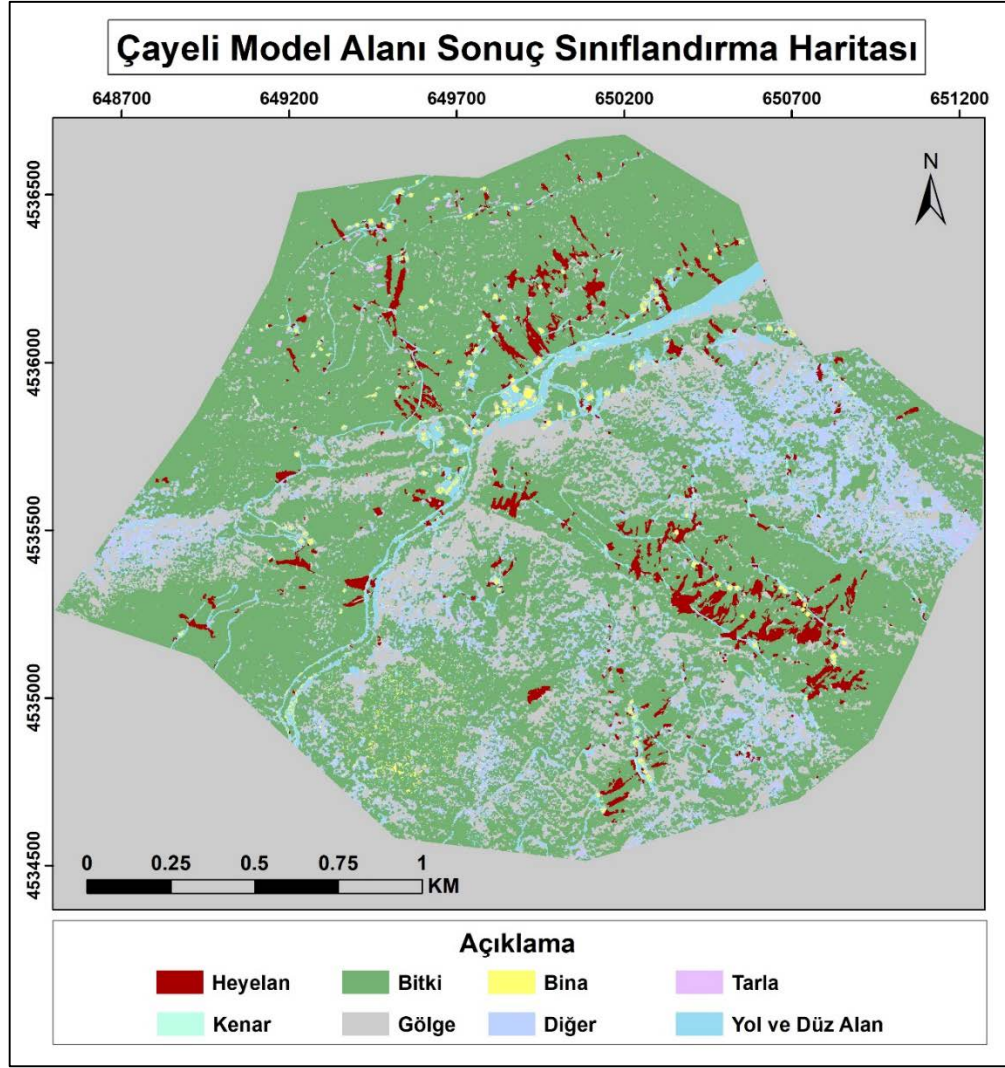
Heyelan sınıfı bitki, tarla, yol vb. sınıflara ait çıkarılan alanlar birbirine komşu birden çok görüntü nesnesi olarak sınıflandırılabilir. Görüntü nesnelerinin birleştirilmesi aşamasında bu alanlar her bir sınıfta tek nesne olarak elde edilmiştir. İkinci heyelan alan düzenlenmesi aşamasında yine bu alanların heyelana olan gerçek komşuluk değerlerinden ($\geq 0,4$) faydalanılarak heyelan sınıfına atanmıştır. Bitki alanlarında diğer sınıflardan farklı olarak oluşan görüntü nesnelerinin komşuluk ilişkileri de işlem içine dahil edilmiştir. Bazı bitki alanları heyelan olmamasına rağmen iki ya da üç heyelanın arasında kalmaktadır. Bu alanların heyelanlara komşuluk değerleri 0,4'den büyük olmaktadır. Bu alanların heyelanlara dahil edilmemesi için bitki alanları 5000 pikselden küçük olan ve heyelana gerçek komşuluk değeri 0,4'den büyük olanlar heyelan sınıfına dahil edilmiştir.

Heyelan alanlarının ikinci düzenlenmesinden sonra heyelana yeni atanan görüntü nesneleri ile heyelanlar tekrardan birleştirilerek yeni heyelan alanları elde edilmiştir. Bu birleştirme aşamasından sonra üçüncü seviye sınıflandırma işlemine geçilmiştir.

Üçüncü Seviye Sınıflandırma

Üçüncü seviye sınıflandırma işleminde elde edilen sonuç heyelanlardan heyelan olmayan ancak heyelan olarak çıkarılan bazı hafif çimli boş arazilerin ayrıştırılması, özellikle dere yatağı içinde sel ile oluşan eğimi yüksek toprak birikintilerinin ayrıştırılması ve alanı küçük ancak heyelanlarla benzer özellikteki alanların ayrıştırılması işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda YBO oranı 0,35'den büyük olan alanlar heyelan sınıfından bitki sınıfına atanmıştır. Dere yatağı gibi alanlardaki heyelanlara benzeyen alanları ayrıştırmak için yol – düşük eğimli sınıfa gerçek komşuluk değeri 0,9'dan büyük olan alanlar yol – düşük eğimli alan sınıfına atanmıştır. Heyelan olmayan küçük alanların ayrıştırılması içinde görüntü nesnelerinin alanları 3000 pikselden küçük olan alanlar diğer sınıfına atanmıştır.

Yapılan kural tabanlı sınıflandırma işlemi sonucunda elde edilen sınıflandırma haritası Şekil 6. 4'de gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Çayeli model geliştirme alanı sonuç sınıflandırma haritası

6.5. Bulgular ve Tartışmalar

Çayeli model geliştirme alanında yapılan nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile heyelanların haritalanması işlemine ait elde edilen bulgular ve tartışmalar aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

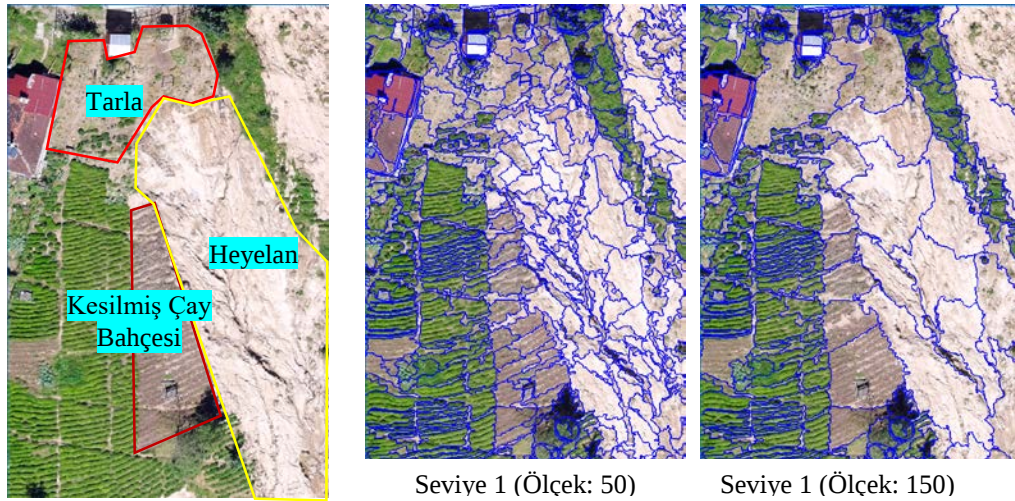
6.5.1. Segmentasyon aşamalarına ait sonuçlar

Çayeli model geliştirme alanında heyelanların diğer arazi kullanım türlerinden ayrıştırılması için Seviye 1 ve Seviye 2 olmak üzere iki farklı segmentasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Segmentasyon aşamasında homojen görüntü nesnelerini oluşturmak için farklı katman kombinasyonları denenmiştir. Yapılan denemeler sonucunda görüntü

nesnelerini oluşturmak için uygun katmanların Kırmızı, Yeşil, Mavi bantlar ile SYM ve eğim katmanları olduğu görülmüştür.

Seviye 1 segmentasyon işlemi için uygun segmentasyon parametrelerinin ölçek 50, şekil 0,3 ve bütünlük 0,6 olarak belirlenmiştir. Çayeli araştırma sahasında heyelanların büyük bölümü çay tarlalarının olduğu alanlarda meydana gelmiştir. Bu alanlarda meydana gelen heyelanlar, çay bahçeleri, az yeşilli boş araziler ve tarlalar içinde meydana gelmektedir. Eğimi ve yüksekliği heyelanlara benzer, az yeşilli boş araziler büyük ölçek parametrelerinde heyelanlarla karışmaktadır. Bundan dolayı bu alanların heyelanlarla karışmaması için ölçek parametresi, Kurucaşile ormanlık alanından farklı olarak 50 olarak ilk segmentasyon aşamasında uygulanmıştır. Bu az yeşilli alanlar birinci seviye sınıflandırma aşasında bitki olarak sınıflandırılmıştır.

Seviye 2 segmentasyon işlemi tarlalar ve kesilmiş çay bahçelerinin heyelanlardan ayırmak için uygulanmıştır. Seviye 2 segmentasyon işlemi sonucunda heyelanlar, tarlalar ve kesilmiş çay bahçeleri daha büyük görüntü nesneleri tarafından temsil edilmiştir. Bu sayede bu tip alanların birbirinden ayrılması daha kolay hale gelmiştir (Şekil 6.5). Seviye 2 segmentasyonu için uygun parametreler ölçek 150, şekil 0,5, bütünlük 0,5 olarak belirlenmiştir.



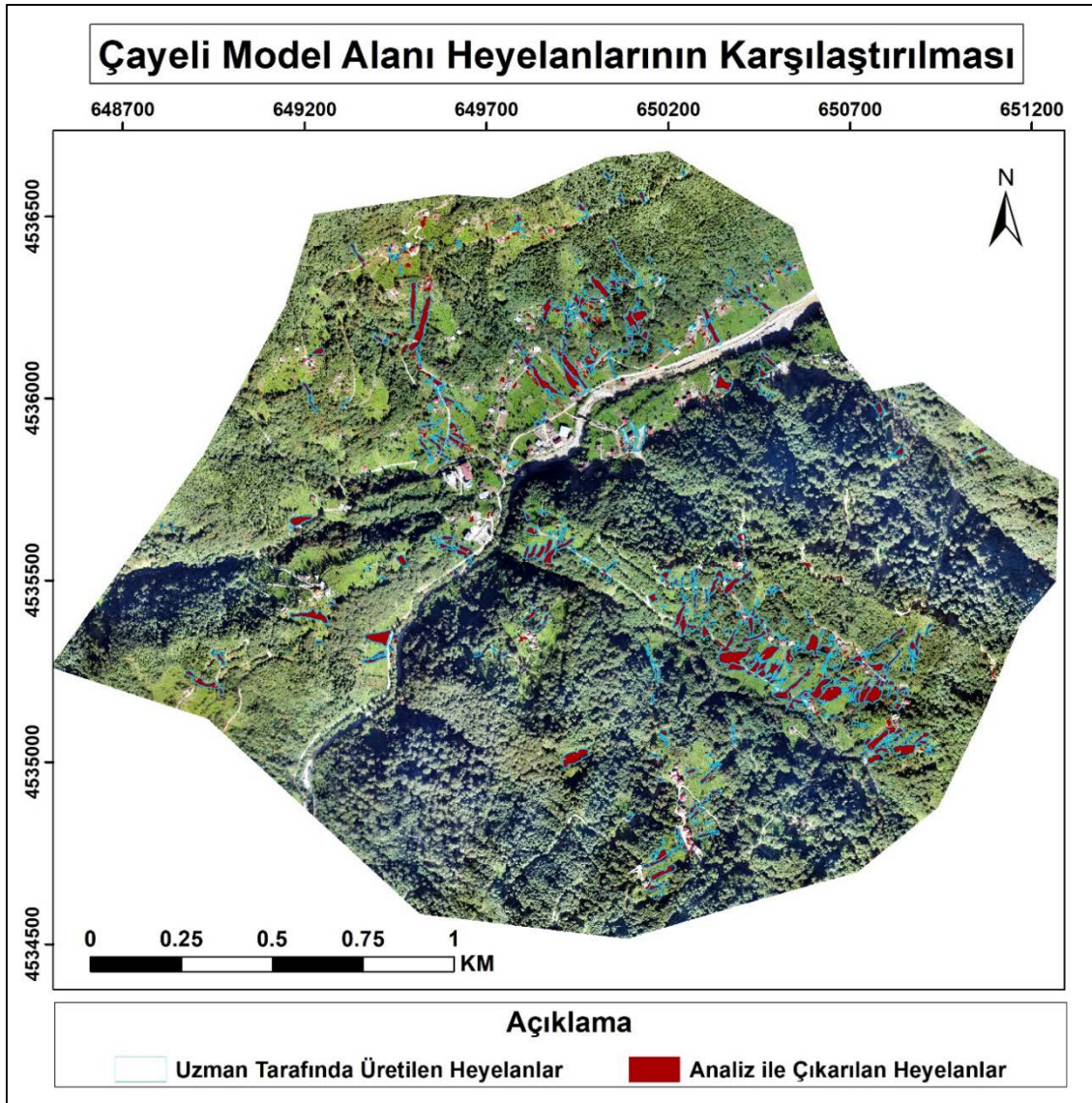
Şekil 6.5. Farklı ölçek parametrelerine göre görüntü nesnelerinin boyutlarının değişimi

6.5.2. Sınıflandırma aşamasına ait sonuçlar

Çayeli araştırma sahasında meydana gelen heyelan olayı eylül ayının sonlarında meydana gelmiştir. Alana ait veriler Ekim ayının ilk haftasında elde edilmiştir.

Mevsimsel nedenlerden dolayı araştırma sahasının Kuzey, Kuzey Doğu ve Kuzey Batı yamaçlarında aşırı gölgeler bulunmaktadır. Bu alanlara düşen heyelanların kesin sınırları görüntü üzerinden ayırt edilememektedir. Bundan dolayı çalışma kapsamında gölge sınıfı içine düşen heyelanlar dikkate alınmamıştır.

Analiz sonucu model geliştirme alanı için çıkarılan heyelanlar, uzman tarafından ortomozaik üzerinden sayısallaştırma ile üretilen heyelanlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu elde edilen sonuç harita Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Analiz ile çıkarılan heyelanların doğruluklarının değerlendirilmesi için alan bazlı ve çıkarılan heyelan sayısına göre karşılaştırma işlemi yapılmıştır.



Şekil 6.6. Çayeli model geliştirme alanında uzman tarafından üretilen heyelanlar ile analizi sonucu çıkartılan heyelanların karşılaştırılması

Çıkarılan heyelan sayısına bağlı doğruluk analizi

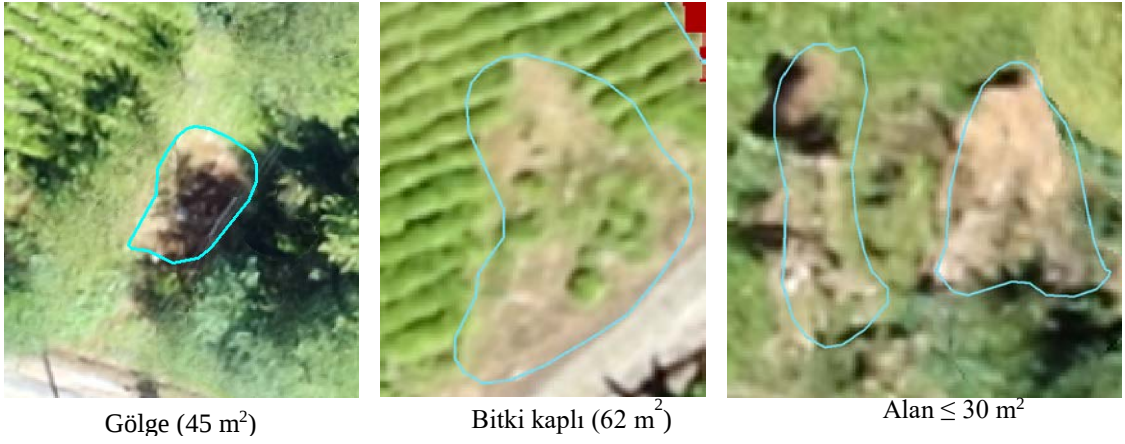
Çıkarılan heyelan sayısına bağlı doğruluk analizi işleminde Kurucaşile ormanlık alanında uygulanan heyelanların doğru kabul edilme koşulları bu alanda da uygulanmıştır. Bu kapsamda yollar tarafından kesilen veya orman alanları tarafından parçalanmış heyelanlar heyelan sayısı karşılaştırmada doğru olarak kabul edilmiştir. Heyelan sayısına bağlı yapılan karşılaştırma işlemine göre elde edilen sonuçlar Tablo 6.3’de gösterilmiştir. Tablo 6.3’de Referans heyelan sayısı uzman tarafından üretilen heyelanları, doğru çıkarılan heyelan sayısı referans heyelanlara göre doğru çıkarılan heyelanları, yanlış çıkarılan heyelan sayısı alanda olmayıp analiz ile heyelan olarak çıkarılan heyelan sayısını, kayıp heyelan sayısı ise uzman tarafından üretilip, analiz ile çıkarılamayan heyelanları göstermektedir.

Tablo 6.3. *Çayeli model geliştirme alanı, heyelan sayısına bağlı yapılan doğruluk analizi*

Referans Heyelan sayısı	Doğru çıkarılan heyelan sayısı	Yanlış çıkarılan heyelan sayısı	Kayıp heyelan sayısı	Doğru Oran (%)	Yanlış Oran (%)	Kayıp Oran (%)
388	333	53	55	86,27	13,73	14,17

Heyelan sayısına bağlı yapılan karşılaştırma işlemine göre uzman tarafından 388 tane heyelan üretilmiştir. Yapılan analiz ile bu heyelanların 333 tanesi çıkarılmıştır. Bunun yanında analiz ile 53 adet heyelan olmayan alan heyelan olarak çıkarılmıştır. Bu sonuçlara göre doğru oranı %86,27 ve yanlış oranı %13,73 olarak elde edilmiştir. Uzman tarafından üretilen heyelanlardan 55 tanesi analiz ile üretilmemiştir. Buna göre yapılan uygulamanın kayıp oranı %14,17’dir.

Yapılan analiz ile çıkarılamayan başlıca kayıp heyelanlar alanda yer alan küçük sığ heyelanlardır. Bunlardan bazıları alanı 30 m²’den küçük heyelandır. Bunlar sınıflandırma aşamasında koyulan alanı 3000 pikselden küçük görüntü nesnelerini heyelan sınıfından ayır kuralı gereği kayıp edilen heyelanlardır. Bazıları ise sığ ve hafif yeşillikli olması nedeni ile bitki sınıfına atanan heyelanlardır. Bazı küçük heyelanlar ise üzerine düşen gölge nedeni ile analiz ile çıkarılamamıştır (Şekil 6.7).



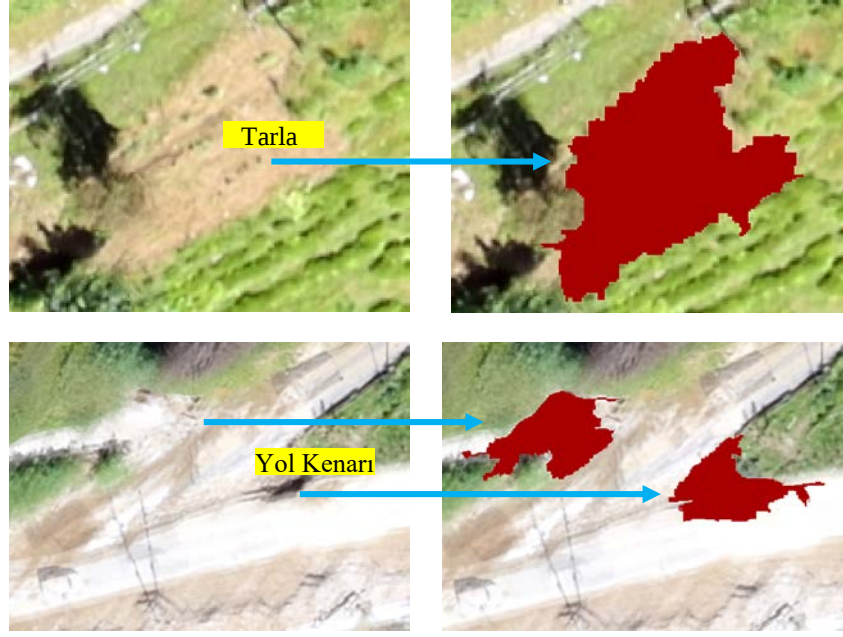
Şekil 6.7. Analiz ile çıkarılamayan küçük heyelan örnekleri

Alanda yer alıp çıkarılamayan büyük heyelanlar ise genellikle eğimi %30'dan düşük, su taşkını nedeni ile düşük eğimli arazilerde oluşan heyelanlardır. Bu alanlar genel olarak dere yataklarına benzediği için, bu alanlardan heyelan olarak ayrıştırılamamıştır (Şekil 6.8). Şekil 6.8'de en büyük heyelanın alanı 1160 m²'dir.



Şekil 6.8. Analiz ile çıkarılamayan eğimi % 30'dan küçük heyelan örnekleri

Analiz ile heyelan olmayan ancak heyelan gibi çıkarılan alanlar genellikle yol kenarları ve bazı tarla alanlarıdır. Bu alanlar eğimleri yüksek spektral yansıma değerleri bakımından heyelanlara benzer alanlardır (Şekil 6.9).



Şekil 6.9. Analiz ile yanlış çıkarılan heyelan örnekleri

Alan bazlı doğruluk analizi

Alan bazlı doğruluk analizi kapsamında uzman tarafından üretilen heyelanların alanları, analiz sonucu üretilen heyelan alanları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma işlemi sonucunda elde edilen doğruluk değerleri Tablo 6.4’de verilmiştir. Tablo 6.4’de uzman tarafından üretilen referans heyelan alanları, analiz ile çıkarılan heyelan alanları ve referans heyelan alanlarına göre elde edilen doğru çıkarılan heyelan alanları m² biriminden verilmiştir. Ayrıca tabloda doğruluk değerleri yüzde biriminde gösterilmiştir.

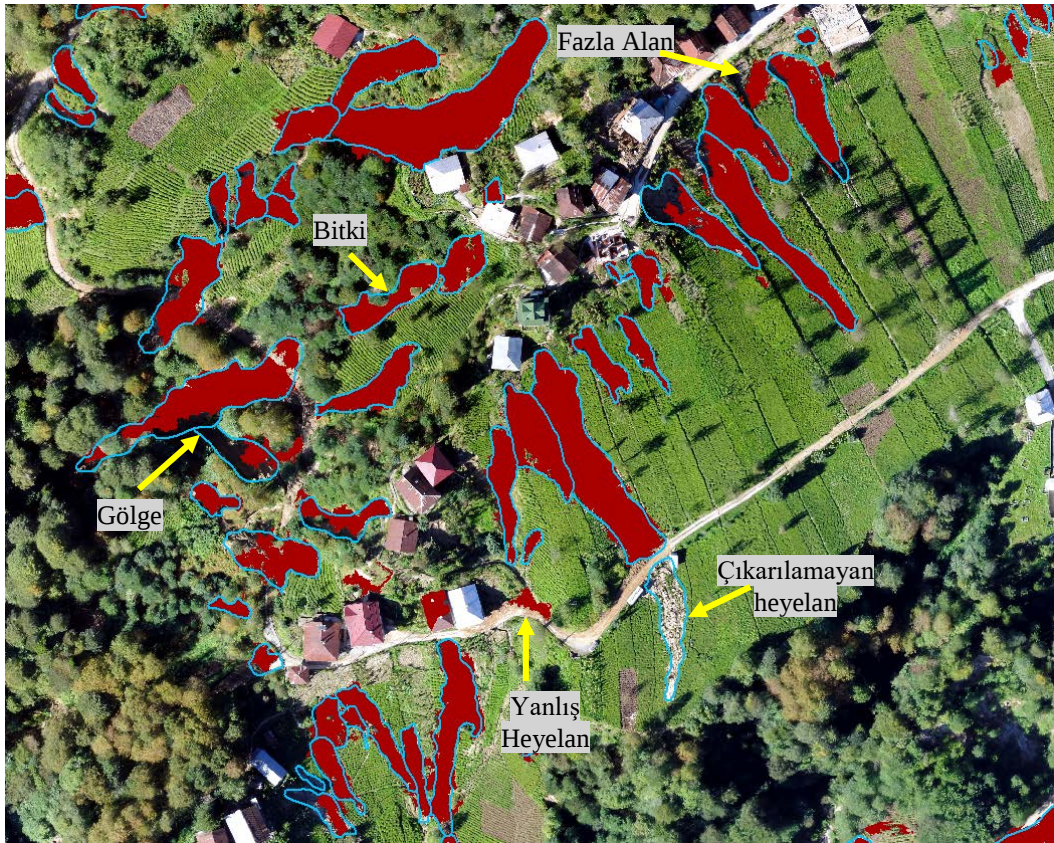
Tablo 6.4. Çayeli model geliştirme alanı alan bazlı doğruluk değerleri

Referans Heyelan Alanı (m ²)	Analiz ile çıkarılan heyelan alanı (m ²)	Doğru Çıkarılan heyelan alanı (m ²)	Doğruluk (%)	Tamlık (%)	Kalite (%)
129952,43	121756,27	101068,72	83,01	77,77	67,10

Yapılan alan bazlı doğruluk karşılaştırması sonuçlarına göre uzman tarafından üretilen referans heyelanların alanları 129 952,43 m² analiz sonucu çıkarılan heyelanların alanları 121756,27 m²’dir. Bu alanların 101068,72 m²’si doğru olarak çıkarılmıştır. Bu

alan değerlerine göre analiz ile çıkarılan heyelanların doğruluk oranı % 83,01, tamlık oranı % 77,77 ve kalite oranı % 67,10'dur.

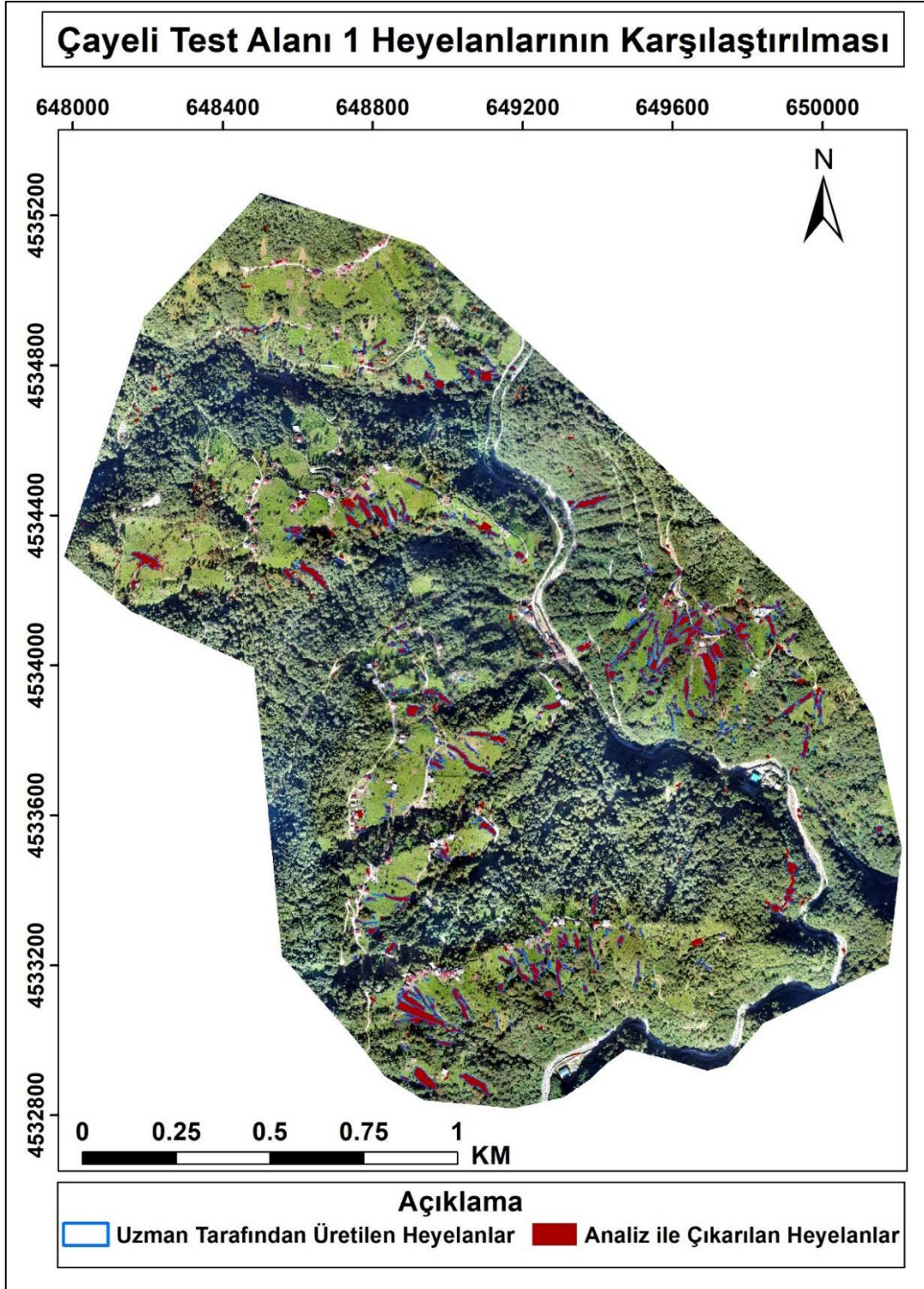
Analiz sonucu referans heyelan alanlarının % 77,77'si doğru olarak çıkarılmıştır. Analiz işleminin kalite değeri ise % 67,10'dur. Kalite oranını, analiz ile çıkarılamayan kayıp heyelanlar, yanlış çıkarılan heyelanlar, çıkarılan heyelanların fazla alanları, bitki ve gölge gibi nedenlerden dolayı alanı eksik çıkarılan heyelanlar doğrudan etkilemektedir (Şekil 6.10).



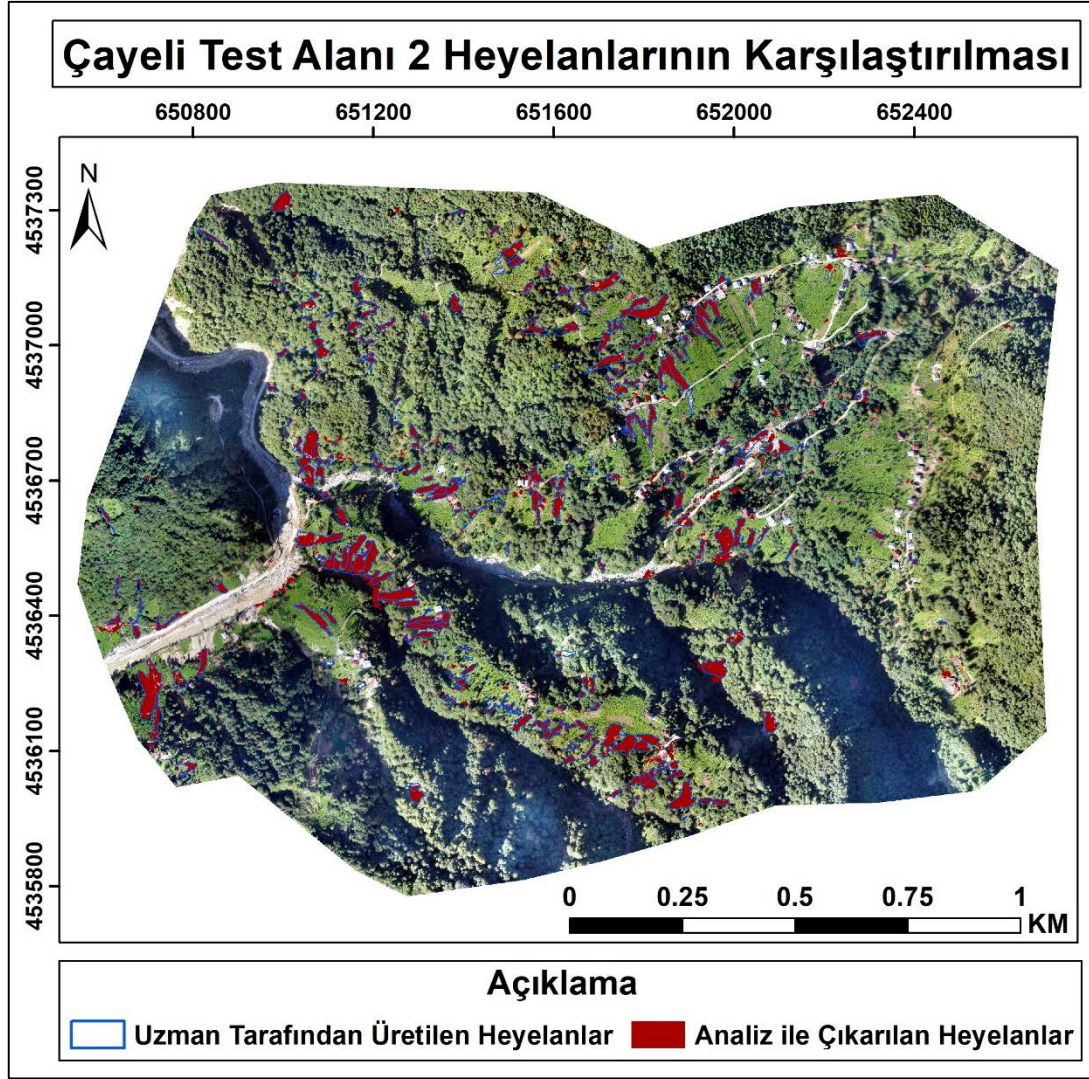
Şekil 6.10. Analiz sonucu alansal doğruluk kalitesini etkileyen nedenler

Geliştirilen Modelin Test Alanlarına Uygulanması

Çayeli model alanı için geliştirilen heyelan çıkarma modeli, test alanı olarak belirlenen sahalara uygulanmıştır. Yapılan uygulama sonucunda test alanı 1 ve test alanı 2 için elde edilen sonuç heyelanlar ve alanlardan uzman tarafından üretilene heyelanların görünümü Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de gösterilmiştir.



Şekil 6.11. Çayeli test alanı 1'e ait çıkarılan heyelanların karşılaştırılması



Şekil 6.12. Çayeli test alanı 2'ye ait çıkarılan heyelanların karşılaştırılması

Test alan 1 ve test alanı 2'ye ait çıkarılan heyelanların doğruluk değerlerini araştırmak için model geliştirme alanında olduğu gibi alan bazlı ve çıkarılan heyelan sayısı bazlı karşılaştırmalar yapılmıştır. Test alanlarına ait çıkarılan heyelan sayısı bazlı yapılan karşılaştırma işlemine ait sonuçlar Tablo 6.5'de gösterilmiştir. Alan bazlı karşılaştırma sonuçları ise Tablo 6.6'da sunulmuştur.

Heyelan sayısına göre yapılan doğruluk analizi işleminde test alanı 1'de uzman tarafından 332 adet heyelanın analiz ile 279 tanesi doğru olarak çıkarılmıştır. Analiz ile 61 tane fazladan yanlış heyelan çıkarılmıştır. Ayrıca uzman tarafından üretilen heyelanlardan 53 tanesi analiz ile çıkarılamamıştır. Bu sonuçlara göre test alanı 1 için

heyelan çıkarma analizinin doğru oranı % 82,06, yanlış oranı % 17,94 ve kayıp heyelan oranı % 15,96 olarak elde edilmiştir.

Test alanı 2 için yapılan heyelan sayısı bazlı doğruluk analizinde, uzman tarafından üretilen 337 tane heyelanın 289 tanesi doğru olarak çıkarılmıştır. Analiz ile 52 adet heyelan yanlış olarak çıkarılmıştır. Uzman tarafından üretilen heyelanlardan 42 tanesi ile analiz ile çıkarılamamıştır. Bu sonuçlara göre test alanı 2 için doğru oran % 84,75, yanlış oran % 15,25 ve kayıp oran % 14,24 olarak elde edilmiştir.

Tablo 6.5. Çayeli test alanlarına ait heyelan sayısı bazlı doğruluk analizi sonuçları

TEST ALANI 1						
Referans Heyelan sayısı	Doğru çıkarılan heyelan sayısı	Yanlış çıkarılan heyelan sayısı	Kayıp heyelan sayısı	Doğru Oran (%)	Yanlış Oran (%)	Kayıp Oran (%)
332	279	61	53	82,06	17,94	15,96

TEST ALANI 2						
Referans Heyelan sayısı	Doğru çıkarılan heyelan sayısı	Yanlış çıkarılan heyelan sayısı	Kayıp heyelan sayısı	Doğru Oran (%)	Yanlış Oran (%)	Kayıp Oran (%)
337	289	52	48	84,75	15,25	14,24

Alan bazlı yapılan karşılaştırma işlemine göre test alanı 1’de uzman tarafından üretilen referans heyelanların toplam alanları 88445,84 m²’dir. Analiz sonucu çıkarılan heyelanların toplam alanı 91758,89 m²’dir. Analizle çıkarılan heyelanların 73153,62 m²’lik alanı referans heyelan alanları ile ortak olarak çıkarılmıştır. Bu alan değerlerine göre test alanı 1 için doğruluk değeri % 79,62, tamlık değeri % 82,71 ve kalite değeri % 68,33 olarak elde edilmiştir.

Test alanı 2 için yapılan alansal karşılaştırma işleminde uzman tarafından üretilen referans heyelanların toplam alanları 109 688,19 m²’dir. Analiz ile çıkarılan heyelanların toplam alanları 107008,93 m²’dir. Analiz ile çıkarılan heyelan alanlarının 86554,66 m² alanı referans heyelan alanları ile ortak olarak çıkarılmıştır. Bu doğrultuda yapılan heyelan haritalama işleminin alansal bazlı doğruluk değeri % 80,89, tamlık değeri %78,91 ve kalite değeri % 66,51’dir.

Tablo 6.6. *Çayeli test alanlarına ait alan bazlı doğruluk analizi sonuçları*

TEST ALANI 1					
Referans Heyelan Alanı (m ²)	Analiz ile çıkarılan heyelan alanı (m ²)	Doğru Çıkarılan heyelan alanı (m ²)	Doğruluk (%)	Tamlık (%)	Kalite (%)
88445,84	91758,89	73153,62	79,72	82,71	68,33

TEST ALANI 2					
Referans Heyelan Alanı (m ²)	Analiz ile çıkarılan heyelan alanı (m ²)	Doğru Çıkarılan heyelan alanı (m ²)	Doğruluk (%)	Tamlık (%)	Kalite (%)
109688,19	107008,93	86554,66	80,89	78,91	66,51

Yapılan doğruluk analizi sonuçları değerlendirildiğinde test alanlarında elde edilen sonuçlar model alanından elde edilen sonuçlara çok yakın sonuçlar olduğu görülmektedir. Heyelan sayısına göre yapılan doğruluk analizlerinde, genel olarak elde edilen doğru oran değerleri %80 üzerindedir. Hem model geliştirme oranı, hem de test alanlarında çıkarılamayan heyelanların oranını gösteren kayıp oran değerleri yaklaşık olarak %14 ile %16 arasında değişmektedir. Kayıp oran değerlerinden yola çıkılarak doğru – pozitif olarak çıkarılan heyelan sayıları yaklaşık olarak %84 ile %86 değerleri arasında yer almaktadır. Doğru pozitif oranları doğru çıkarılan heyelan sayısının referans heyelan sayısına oranlanması ile elde edilmektedir. Heyelan sayısı bazında sonuçlar değerlendirildiğin uygulanan yöntemin başarılı olduğu görülmektedir.

Alansal bazda elde edilen doğruluk analizi sonuçlarına göre yapılan analiz işlemi ile çıkarılan heyelanların doğruluk değerleri hem model geliştirme alanı hem de test alanları için yaklaşık %80 üzerindedir. Çıkarılan heyelanların referans heyelan alanlarını yakalama başarısını temsil eden tamlık değerleri ise %77 üzerindedir. Çalışma sahalarında elde edilen sonuçların kaliteleri ise yaklaşık %66 üzerinden elde edilmiştir. Kalite değerinin düşük olmasını çıkarılamayan ve yanlış çıkarılan heyelanlar doğrudan etkilerken, heyelan üzerini kapatan bitki örtüsü ve gölge alanlar da bu doğruluk değerini etkilemektedir. Çalışmada kullanılan veri setlerinin elde edildiği algılayıcı platform pasif bir algılama sistemi olduğu için gölge ve bitki örtüsünden dolayı çıkarılamayan heyelan alanların çıkarılabilmesi mümkün değildir.

Test alanı 1’de analiz ile çıkarılan heyelanların alanları diğer alanlara göre referans alan heyelanlarından fazladır. Bunun nedeni test alanı 1’de yer alan ancak model

geliştirme alanındaki tarla ve kesilmiş çay bahçelerine benzemeyen büyük alanların heyelan olarak çıkarılmasıdır. Bu tarla ve çay bahçeleri model alanındaki tarla ve çay bahçelerinden daha yüksek yansıma değerine sahip alanlardır.

Uygulanan sınıflandırma aşamasının genel değerlendirmesi

Çalışma sahasında en büyük alanı bitki örtüsü kaplamaktadır. Bu alanların heyelanlardan ayrıştırılmasında YBO indeksi oldukça etkili bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu indeks değeri bitki alanları yeşil renkli olduğu sürece başarılı sonuçlar vermektedir. Alandaki bitki alanlarının ayrıştırılmasında 0,35'lik eşik değeri uygun bir değer olarak çalışma kapsamında elde edilmiştir. Bu sonuç Kurucaşile orman sahasına benzer bir sonuç sunmuştur. Çayeli araştırma sahasına ait veriler sonbahar döneminde elde edildiği için bazı ormanlık alanlardaki ağaçların renkleri sarı ve kırmızı renkli olmaktadır. Bu alanların ayrıştırılmasında YBO indeksi başarılı çalışmamıştır. Bu problemin çözümünde seviye 1 sınıflandırma aşamasında SYM ve SAM verisi arasındaki farktan yararlanılarak bu alanların eliminasyonu yapılmıştır.

Çalışma sahasında yollar, akarsu yatağı, düşük eğimli yerler gibi alanların ayrıştırılmasında eğim katmanı kullanılmıştır. Eğim katmanı için Kurucaşile alanına benzer olarak %30'luk bir eşik değeri kullanılarak bu alanlar heyelanlardan ayrıştırılmıştır. %30 eşik değeri özellikle yerleşim yerlerinde araç, insan yapımı nesneler gibi farklı objelerin ayrıştırılmasında etkili olduğu görülmüştür.

Çalışma sahası mevsimsel etkiler, dik yamaçlar ve yüksek ağaç örtüsünden dolayı gölgeli alanlara sahiptir. Bu alanlar altında kalan heyelanların kesin sınırları belirlenememektedir. Ayrıca bu alanlarda üretilen görüntü nesneleri farklı arazi kullanım özelliklerini ayırt edebilecek özellikte değildir. Bundan dolayı bu alanların ayrıştırılması için parlaklık değerinden faydalanılmıştır. Çayeli araştırma sahası için Kurucaşile alanından farklı olarak parlaklık değeri 60'dan küçük olarak uygulanmıştır.

Çayeli araştırma sahasında Kurucaşile araştırma sahasına benzer olarak yol kenarlarında şev alanları bulunmaktadır. Bu alanlar spektral olarak heyelanlara benzer özellikte alanlardır. Ayrıca bu alanlar yol ve çevresindeki ağaçlar arasında dar bir şerit şeklinde olan alanlardır. Yüksek ağaçların olduğu yerlerde yol kenarlarında hızlı eğim artışı ve yükseklik değişimi meydana gelmektedir. Segmentasyon aşamasında eğim ve SYM verilerinin kullanılması yol kenarları için en/boy oranı düşük, ve eğim, eğrisellik gibi parametrelerde standart sapması yüksek görüntü nesnelerinin oluşmasına neden

olmuştur. Bu durum ise sınıflandırma aşamasında yollara komşu olan kenarların ayrıştırılmasında kolaylık sağlamıştır.

Çayeli araştırma sahasında Kurucaşile alanında farklı olarak bina yapıları yer almaktadır. Bina çatıları kırmızı bantta en yüksek, yeşil ve mavi bantta daha düşük yansıma yapan alanlardır. Heyelanlarda bina çatıları gibi kırmızı bantta yüksek yansıma yapmaktadır. Ancak yeşil bant heyelanlarda maviye göre daha yüksek yansıma verirken, bina çatılarında daha düşük yansımaya sahiptir. Bundan dolayı bina çatılarının heyelanlardan ayrılması için EGI ve YMBI indekslerinden faydalanılmıştır. Bu değerlere ek olarak heyelan kenarlarında az gölgeli alanların bina çatısı gibi çıkmaması için parlaklık ve kırmızı bant ortalamasından faydalanılmıştır. Bu ek parametrelerinin kullanım amacı gölge alanlarda da yeşil bant, mavi banttan düşük yansıma yapmaktadır. Sadece EGI ve YMBI kullanıldığında az gölgeli alanlarda bina çatısı gibi çıkabilmektedir. Heyelan kenarlarındaki az gölgeli alanlarda kırmızı bant yansıması ve parlaklık değeri 100'den küçük, binalarda daha yüksek değerlere sahip oldukları için 100 eşik değeri kullanılarak binaların ayrıştırılması sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında mevsimsel etkilerden dolayı ormanlık alanda yer alan bazı ağaçlar yeşil renkten farklı renklere dönüşmüştür. Bundan dolayı birinci seviye sınıflandırma aşamasında heyelanları bu alanlardan ayırmak için KBO indeksi ve SYM ve SAM arasındaki farktan faydalanılarak heyelanlar ayrı bir sınıf olarak çıkarılmıştır. Çıkarılan bu heyelanlar için tarla ve kesilmiş çay bahçeleri alanı da heyelan sınıfına atanmıştır.

Tarla alanlarını heyelanlardan ayırmak için seviye 2 segmentasyonu yapılmıştır. Segmentasyon aşaması sonrasında tarlaların ayrıştırılması için YMBI değeri ve kesilmiş çay bahçelerinin ayrıştırılması içinde GLCM kırmızı bant tüm yönlerde farklılık dokusal metriği kullanılmıştır. Bu parametreler tarla ve kesilmiş çay bahçelerinin ayrıştırılmasında model geliştirme alanı ve test alanı 2'de etkili parametreler olarak görülürken, Test alanı 1'de parlaklık değeri heyelanlara çok benzeyen tarla ve kesilmiş çay bahçelerinde başarısız olduğu görülmüştür.

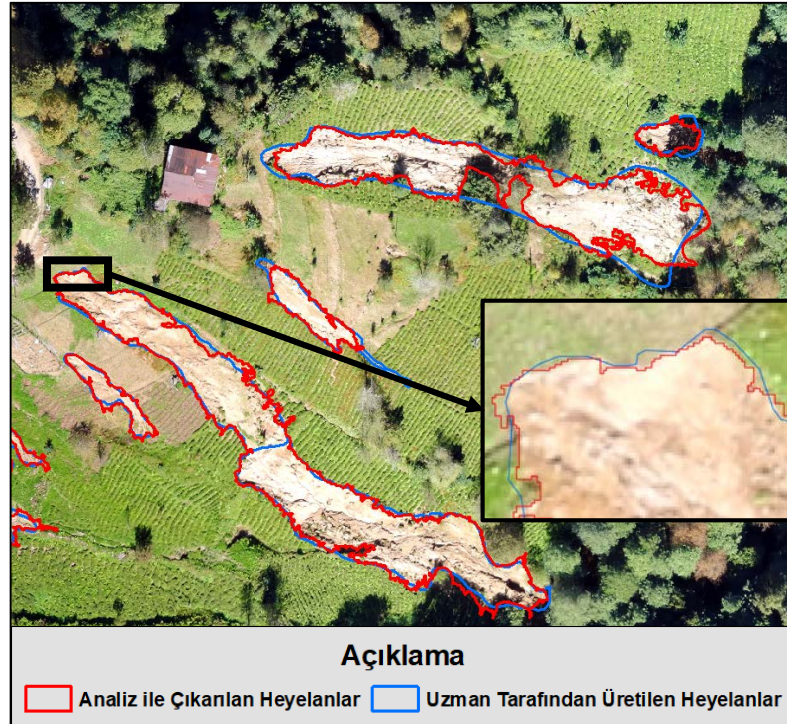
Çalışma kapsamında birinci seviye sınıflandırma aşamasında üretilen görüntü nesneleri çok küçük olduğu için, heyelan içlerinde çalışma kapsamında ayrıştırılan hemen hemen her sınıfa ait küçük görüntü nesneleri çıkarılmıştır. Bu alanları tekrardan heyelanlara dahil etmek için sınıfların gerçek komşuluk ilişkilerinden faydalanılmıştır.

Bu kapsamda heyelan komşuluk değeri 0,4'den büyük olan alanlar heyelan sınıfına atanmıştır. Bu şekilde bütüncül heyelan alanlarının elde edilmesi sağlanmıştır.

Heyelan çıkarma işleminin son aşamasında ise sonuç heyelan alanları oluşturulduktan sonra dere yataklarında toprak birikintisi gibi nedenlerden dolayı heyelan olarak çıkarılan alanların, az yeşilli boş alanların ve küçük alana sahip heyelan gibi çıkarılan alanların ayrıştırılması yapılmıştır.

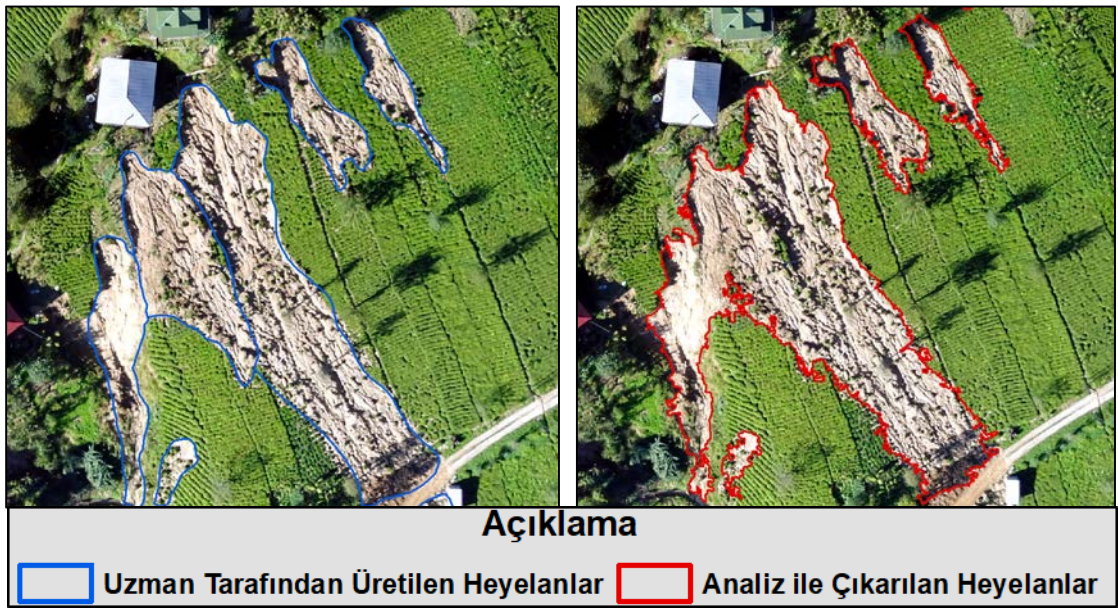
Yapılan heyelan çıkarım işlemi sonucunda üzeri gölge, bitki örtüsü gibi nedenlerden dolayı kapanmayan heyelanların başarılı bir şekilde çıkarıldığı görülmüştür (Şekil 6.13). Bunun dışında, gölgede kalan, ağaçlarla kaplı veya yollar tarafından kesilen heyelanlar parçalı olarak çıkarılmıştır. Alanda yer alan eğimi %30'un altında olan bazı büyük heyelanlarla, alansal olarak küçük heyelanlar uygulanan yöntem ile çıkarılamamıştır.

Çıkarılan heyelanların sınırlarını temsil eden kenarlarındaki girinti çıkıntı oldukça fazladır (Şekil 6.13). Bunun nedeni yapılan analizde kullanılan veriler çözünürlüğü 10 cm gibi yüksek konumsal çözünürlüğe sahip olan raster veriler olmasıdır. Bu girinti çıkıntının azaltılması için kenar yumuşatma algoritmaları kullanılabilir.



Şekil 6.13. Analiz ve uzman tarafından çıkarılan heyelan örnekleri

Araştırma sahalarında yer alan ve iç içe geçmiş heyelanlar uygulanan yöntem ile tekil olarak çıkarılamamıştır (Şekil 6.14). Özellikle birbirine bitişik, ya da tekrarlı heyelanlar da bir birinden ayrı heyelanlar oluşturulamamış, bu heyelanlar tek bir nesne gibi çıkarılmıştır. Bu tip heyelanlar analiz sonrası ayırım yerlerinden manuel yapılacak kesme işlemleri ile ayrılabilir ya da bu işlemler için geliştirilmiş yöntemler kullanılabilir (Marc ve Hovius 2015). Çalışma kapsamında bu heyelanların tekil olarak çıkarılması için segmentasyon aşamasında birçok morfometrik katman (merkezi akış, eğrisellikler, topoğrafik pozisyon indeksi, vb.) denemesi yapılmış ancak istenilen sonuç elde edilememiştir.



Şekil 6.14. Tekil olarak çıkarılamayan heyelan örnekleri

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. Çalışma Kapsamında Elde Edilen Sonuçlar

Bu tez çalışmasında insansız hava aracı görüntülerinden üretilen veriler kullanılarak, nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile Karadeniz bölgesinde meydana gelen sığ heyelanların haritalanması işlemi gerçekleştirilmiştir.

Karadeniz Bölgesi ülkemizde en çok heyelan olayının meydana geldiği alanların başında gelmektedir. Bölgenin iklimsel ve topoğrafik koşulları incelendiğinde meydana gelen heyelanların hızlı bir şekilde haritalanması afet şiddetinin belirlenmesi, mevcut heyelan alanlarının kayıt altına alınması ve bölge için yapılacak heyelan risk ve tehlike haritaları için büyük önem arz etmektedir. Bölgede ani gelişen heyelanlar nedeni ile araştırma sahalarından da görüleceği üzere yüzlerce heyelan meydana gelmektedir. Günümüzde yersel tekniklerle yapılacak haritalama işlemleri bölgenin sarp topoğrafyası ve yoğun bitki örtüsü nedeni ile zaman ve maliyet açısından uygunluk göstermemektedir. Uydu görüntüsü ve hava fotoğrafları ile yapılacak haritalama işlemlerinin maliyetlerinin yüksek olması, bölgenin iklimsel koşulları nedeni bulutsuz gün sayının az olması ve bu sistemlerinin tekrarlı ölçüm kabiliyetlerinin sınırlı olması, bu sistemlerle yapılacak haritalama işlemlerine kısıtlamalar getirmektedir. Bu nedenlerden dolayı bölgede ani gelişen bir heyelan olayı sonrası hızlı bir haritalama yapılabilmesi için İnsansız hava araçları düşük maliyet, yüksek konumsal çözünürlük, bulutlu havada veri toplayabilme ve tekrarlı ölçüm kabiliyeti ile bölgenin problemine çözüm olabilecek niteliktedir.

Yapılan tez çalışmasının arazi işlemleri sırasında elde edilen tecrübeler ışığında İHA sistemlerinin şiddetli rüzgar ve yağışlı havalarda veri toplama açısından kısıtlamaları bulunmaktadır. Bununla birlikte tez çalışmasında kanatlı bir İHA sistemi kullanılmıştır. Bu sistemlerin iniş yapabilmesi için belirli bir büyüklükte düz ve alanda inişe engel teşkil etmeyecek boş alanlara ihtiyacı vardır. Karadeniz bölgesinde uçuş için düz ve ağaçsız alan bulmak zordur. Bundan dolayı bu alanlarda pervaneli, ya da dikey iniş – kalkış yapabilen kanatlı İHA sistemlerinin kullanılmasının daha uygun olacağı öngörülmektedir.

Tez araştırması kapsamında İHA sistemi ile elde edilen hava fotoğraflarından ortomozaik, SYM ve SAM verisi üretilmiştir. Üretilen SYM ve SAM verisi değerlendirildiğinde, çalışma sahalarında heyelanlar ve yollar, düşük eğimli alanlar ve

dere yataklarının ayrıştırılmasında SYM'den üretilen eğim verisinin daha iyi sonuçlar vereceği görülmüş ve çalışma kapsamında SYM'den üretilen eğim verisi tercih edilmiştir.

Çalışmanın nesne tabanlı heyelan çıkarım bölümü, segmentasyon ve görüntü nesnesi sınıflandırma olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Segmentasyon aşamasında homojen görüntü nesnelerinin üretilmesi için çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemi uygulanmıştır. Araştırma sahaları için üretilcek görüntü nesnelerinin elde edilmesinde ortomozaik verinin spektral bantlarının yanında SYM ve eğim verisi kullanılmıştır. Bu verilerin kullanılması ile özellikle heyelanlarla benzer spektral yansıma veren, yollar, yol kenarları, tarlaların ayrı görüntü nesneleri içinde çıkarılması sağlanmıştır.

Tez çalışması kapsamında Bartın – Kurucaşile ve Rize – Çayeli olmak üzere iki farklı araştırma sahasında uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu iki farklı alanda yapılan analiz işleminin çoklu çözünürlüklü segmentasyon yöntemi için standart segmentasyon parametreleri uygulanamamıştır. Kurucaşile sahası için uygun segmentasyon parametreleri ölçek parametresi 100, şekil 0,1 ve bütünlük 0,9 olarak belirlenirken, Çayeli araştırma sahasında Seviye 1 segmentasyonunda ölçek parametresi 50, şekil 0,3 ve bütünlük 0,6, Seviye 2 segmentasyonunda ölçek parametresi 150, şekil 0,5 ve bütünlük 0,5 olarak belirlenmiştir. Bu durum çalışma sahası özellikleri değiştikçe uygulanacak segmentasyon parametresi değerlerinin değişebileceğini göstermektedir.

Çalışma kapsamında her iki saha için üretilen görüntü nesnelerinde heyelanlar tek bir görüntü nesnesi olarak çıkarılamamıştır. Bundan dolayı öncelikle heyelanlar kendisini oluşturan küçük görüntü nesneleri olarak üretilmiş ve daha sonra bu görüntü nesnelerinin birleştirilmesi ile sonuç heyelanlar elde edilmiştir.

Araştırma sahalarına uygulanan görüntü nesnelerinin sınıflandırılması aşamasında her iki alanda ortak bulunan bitki örtüsü, gölge, yol gibi alanların heyelanlardan ayırt edilmesinde benzer katman metrikleri kullanılmıştır. Yeşil bitkilerin ayrıştırılmasında YBO indeksi, gölge alanların ayrıştırılmasında parlaklık ve yol – düşük eğimli alan – dere yatağı alanlarının ayrıştırılmasında eğim parametresinin etkili sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ancak mevsimsel etkiden dolayı Çayeli araştırma sahasında yeşil renkli bitkilerin renk değiştirmesi sonucunda YBO indeksinin bitki alanlarını ayırtmada yetersiz kaldığı gözlemlenmiştir. Bu kapsamda bu alanda farklı parametrelerinin kullanılması gerekmiştir.

Çayeli araştırma sahasında bina, tarla ve kesilmiş çay bahçesi gibi alanların heyelanlardan ayrıştırılmasında spektral bantlardan üretilen EGI indeksi, YMBI indeksi ve tüm yönlerde üretilen kırmızı bant GLCM farklılığının etkili sonuçlar verdiği görülmüştür.

Her iki araştırma sahasında yol kenarlarında yer alan dar spektral olarak heyelanlara benzeyen kenarların ayrıştırılmasında ise eğim ve eğriselliklerin standart sapmaları, bunlara ek olarak oluşturulan görüntü nesnelerinin en/boy oranlarının etkili sonuçlar verdiği yapılan uygulamalarda gözlemlenmiştir.

Çalışma kapsamında uygulanan yöntemde küçük görüntü nesneleri oluşturulduğu için heyelanlar içinde diğer sınıflara ait görüntü nesneleri üretilebilmektedir. Bu problemin aşılması içinde üretilen sınıfların komşuluk ilişkilerinden faydalanılmıştır. Bu kapsamda heyelan dışında kalan diğer sınıfların heyelana olan komşuluk ilişkileri kullanılarak bu alanların heyelana dahil edilmesi sağlanmıştır.

Çalışma kapsamında kullanılan İHA verisi çok yüksek çözünürlüklü bir veri olduğu için arazideki birçok detayı algılayabilmektedir. Araştırma sahalarında yer alan küçük bir toprak birikintisi, taş topluluğu veya insan yapımı bir nesne heyelana benzer özellik gösterebilmektedir. Bundan dolayı her iki çalışma sahasında da heyelan olarak çıkarılan ve alanı belirli bir değerin altında kalan görüntü nesnelerinin elenmesi işlemi yapılmıştır. Bu kapsamda Kurucaşile araştırma sahasında 50 m², Çayeli araştırma sahasında 30 m² altında kalan alanların heyelan sınıfından ayrıştırılması gerçekleştirilmiştir. Bu durum alanda yer alan çok küçük heyelanların çıkarılamamasına neden olmuştur. Ancak her iki alanda da 500 – 600 adet anlamsız objenin temizlenmesini sağlamıştır.

Tez araştırması kapsamında incelenen iki alanda da model geliştirme alanı ve geliştirilen modellerin test edilmesi için test alanları oluşturulmuştur. Bu işlemin amacı benzer alanlarda geliştirilen modelin çalışabilirliğini araştırmaktır.

Model alanları ve test alanlarında yapılan analizler sonucu çıkarılan heyelanlar uzman tarafından üretilen heyelanlarla sayısal ve alansal bazda karşılaştırılmıştır. Yapılan heyelan sayısına göre karşılaştırma işlemi sonucunda Kurucaşile ormanlık alanında en düşük doğru oran değeri %80 üzerinde ve kayıp oran değeri %16 altında elde edilmiştir. Çayeli araştırma sahalarında ise en düşük doğru oran değeri %82 üzerinde ve kayıp oran değeri %16 altında elde edilmiştir.

Alansal olarak yapılan karşılaştırma işleminde ise Kurucaşile alanında en düşük doğruluk % 80 üzerinde ve en düşük tamlık % 72 üzerinde elde edilmiştir. Çayeli alanında ise en düşük doğruluk değeri %79 üzerinde ve en düşük tamlık değeri %77 üzerinde elde edilmiştir. Her iki alanda elde edilen sonuçların kalitesi %60 ile %70 arasında kalmıştır. Kurucaşile alanında tamlık ve kalite değerleri Çayeli alanına göre daha düşük olarak elde edilmiştir. Bunun en temel nedeni Kurucaşile alanı ormanlık bir alan olmasından dolayı orman içinde ağaçlar ile kaplı heyelan sayısının fazla olmasıdır. Ayrıca kalite değerlerinin düşük olmasında çıkarılamayan ve yanlış çıkarılan heyelanların etkisi oldukça fazladır. Bunlara ek olarak gölge, ormanlık alanlardan dolayı eksik alanla çıkarılan heyelan alanları ve fazla çıkarılan heyelan alanları kalite değerini düşürmektedir.

Yapılan nesne tabanlı heyelan çıkarım çalışması kapsamında, çalışma sahalarında iç içe geçmiş ve birbiri ile bitişik heyelanların tekil heyelan olarak çıkarılması sağlanamamıştır. Bundan dolayı tek bir heyelan olarak çıkarılan bitişik heyelanların, analiz sonucunda elle veya otomatik yöntemlerle ayrıştırılmasına ihtiyaç vardır.

Yapılan tez çalışmasında araştırma sahalarına ait veriler İHA sistemi ile toplanmıştır. Kurucaşile alanında 3, Çayeli alanında toplamda 6 uçuş işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu uçuş işlemleri için zamansal olarak Kurucaşile alanı için yaklaşık 3 saatlik, Çayeli alanı için yaklaşık 6 saatlik bir zaman harcanmıştır. Çayeli alanında mevsimsel etkilerden dolayı gölge problemini azaltmak için uçuş işlemleri günde 2 uçuş yapacak şekilde 3 günde tamamlanmış ve 3 farklı uçuş noktası kullanılmıştır. Verilerin işlenmesi için Kurucaşile için yaklaşık 2 gün, Çayeli alanı içinde yaklaşık 4 günlük süre harcanmıştır. Veri işleme sonrası Kurucaşile alanında 3 uçuş ile 497 hektar, Çayeli alanında 6 uçuş ile 997 hektarlık alana ait yüksek çözünürlüklü ürünler (ortomozaik, SYM, SAM) üretilmiştir. Elde edilen ürünler değerlendirildiğinde, yersel yöntemlerle bu kadar kısa sürede bu kadarlık bir alanın ölçülmesi mümkün değildir. Uçak ve uydu sistemlerle de bu kadar kısa sürede verilerin üretilmesi çok mümkün olmamaktadır. Çünkü uçak sistemi için planlama, bütçe oluşturma, uygun hava koşullarını bekleme, verilerin toplanması ve sonrasında veri işleme süreci İHA sisteminden çok daha fazla zaman alacaktır. Benzer şekilde yüksek çözünürlüklü görüntü sunan ticari uyduların da bu kadar kısa sürede veri sunması kolay olmamaktadır. Bunlara ek olarak hem uçak tabanlı veri toplama, hem de uydu tabanlı veri elde etme işlemlerinin maliyetleri İHA sistemine göre onlarca kat daha fazla olacaktır. Bundan dolayı İHA sistemi Karadeniz

Bölgesinde yoğun yağışlar sonrası gelişen heyelan olaylarına ait verilerin hızlı, yüksek doğrulukta ve düşük maliyetle toplanmasında etkili bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır. Diğer taraftan İHA sistemi ile elde edilen veriler, yüksek konumsal çözünürlüğe sahip olmasından dolayı çok küçük heyelanların bile tespit edilmesine imkân tanımaktadır. Çalışma kapsamında uzman tarafından 14 m²'lik küçük heyelanlar bile haritalanmıştır.

Çalışma kapsamında araştırma sahası olarak seçilen her iki alanda, alan özelliklerine göre modeller geliştirilmiş ve bu modeller alanlar üzerinde seçilen test sahalarında test edilmiştir. Model geliştirme süreci, heyelanları diğer alanlardan ayırmak için gerekli metriklerin bulunması açısından zaman almaktadır. Ancak model geliştirildikten sonra benzer alanlarda test edilmesi veya çalıştırılması son derece kısa sürede gerçekleşmektedir. Bu kapsamda hem Kurucaşile hem de Çayeli alanları için geliştirilen modellerin test alanlarına uygulanıp, bu alanlardaki heyelanların haritalanması yaklaşık 3 saatlik bir sürede gerçekleşmiştir. Geliştirilen modellerin heyelan çıkarmadaki zamansal başarısı irdelendiğinde Kurucaşile test alanında yer alan 265 heyelanın 224 tanesi 3 saat gibi çok kısa sürede haritalanmıştır. Benzer şekilde Çayeli test alanı 1'deki 332 heyelanın 279 tanesi, test alanı 2'deki 337 heyelanın 289 tanesi üçer saatlik çok kısa zaman dilimlerinde haritalanmıştır. Tez çalışması kapsamında geliştirilen modeller geleneksel heyelan envanteri üretme yöntemleri ile karşılaştırıldığında son derece hızlı ve sonuçları tatmin edicidir. Çünkü uzman tarafından Kurucaşile test alanındaki heyelanlar 2 günlük sürede, Çayeli test alanlarındaki heyelanlar ise yaklaşık 4 günlük sürede üretilmiştir.

Sonuç olarak, tez çalışması kapsamında Karadeniz Bölgesi için İHA sistemleri, ani gelişen heyelan afetinden sonra bölgede oluşan heyelanlar ait verinin hızlı toplanması ve sonuç ürünlerin elde edilmesi açısından zaman, maliyet ve yüksek detay açısından diğer veri elde etme sistemlerine (yersel, uçak bazlı ve uydu bazlı) göre avantajlı bir sistemdir. Benzer şekilde çalışma kapsamında geliştirilen nesne tabanlı heyelan haritalama modelleri heyelan olay envanterinin hızlı bir şekilde elde edilip ilgililere sunulması ve arşivlenmesi açısından geleneksel yöntemlere göre daha avantajlıdır.

7.2. Çalışma Sonucundaki Öneriler

Çalışma kapsamında kullanılan İHA sistemi ile optik algılama yapan pasif bir sistem kullanılmıştır. Bu sistem ile ağaç altından gölgeli karanlık alanlardan veri elde edilmesi mümkün değildir. Bu gibi alanlarda kesin heyelan alanlarını ortaya çıkarmak için aktif algılama yapan LİDAR gibi sistemler ile veri toplanması daha uygun olacaktır. Ayrıca optik algılayıcı ile ağaç altlarında veri elde edilemediği için çalışma sahalarının gerçekçi Sayısal Arazi Modelinin üretilmesi mümkün olmamaktadır. Bu durumda da İHA'lara takılacak LİDAR sistemleri kapalı ormanlık alanlar için çözüm olabilecek niteliktedir.

Araştırma kapsamında kullanılan İHA sistemi ile sadece Kırmızı, Mavi ve Yeşil spektral aralıkta görüntü elde edilebilmektedir. Bant sayısının kısıtlı olması aynı renkli doğal ve yapay alanların bir birinden ayırt edilmesinde sıkıntılar oluşturmaktadır. Bundan dolayı multispektral İHA sistemlerine entegre çalışabilen kamera sistemlerinin kullanılması özellikle karmaşık arazi alanlarında faydalar sağlayacaktır.

Çalışma kapsamında kural tabanlı sınıflandırma işlemi ile heyelanların çıkarılması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sınıflandırma aşamasında kullanılan özellikler ve bu özelliklerin eşik değerleri deneme yanılma ile belirlenmiştir. Bu işlem oldukça zaman alıcı ve başarısı uygulamayı yapan kişiye bağlıdır. Bundan dolayı günümüzde uzaktan algılama çalışmalarında uygulanan özellik seçimi algoritmaları ve makine öğrenme temelli sınıflandırma algoritmalarının bu tür uygulamalarda kullanılması sonucun daha hızlı elde edilmesi açısından faydalar sunacaktır.

Çalışma kapsamında uygulanan yöntem ile iç içe geçmiş ve bir birine bitişik heyelanların tekil olarak çıkarılması sağlanamamıştır. Elde edilen bu sonuçlar bir afet sonrası afet olayının şiddetinin belirlenmesi, hangi alanlara öncelikli olarak müdahale edilmesi gerektiğinin ortaya konulması açısından yeterlidir. Ancak heyelan risk ve tehlike analizlerinde tekil heyelanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bakımdan uygulanan yöntem ile çıkarılan heyelanların tekil heyelana dönüştürülmesinde, analiz sonrası uygulanacak farklı yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

- Aksoy, B., & Ercanoglu, M. (2012). Landslide identification and classification by object-based image analysis and fuzzy logic: An example from the Azdavay region (Kastamonu, Turkey). *Computers & Geosciences*, 38, 87-98
- Baatz, M., & Schape, A. (2001). Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*, (pp. 12-23): Wichmann-Verlag, Heidelberg
- Becker, C., Häni, N., Rosinskaya, E., d'Angelo, E., & Strecha, C. (2017). Classification of aerial photogrammetric 3D point clouds. *arXiv preprint arXiv:1705.08374*
- Benz, U., & Schreier, G. (2001). Definiens Imaging GmbH: Object oriented classification and feature detection. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Society Newsletter*, 9, 16-20
- Blaschke, T., Feizizadeh, B., & Holbling, D. (2014). Object-Based Image Analysis and Digital Terrain Analysis for Locating Landslides in the Urmia Lake Basin, Iran. *Ieee Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7, 4806-4817
- Borghuis, A., Chang, K., & Lee, H. (2007). Comparison between automated and manual mapping of typhoon-triggered landslides from SPOT-5 imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 28, 1843-1856
- Brardinoni, F., Slaymaker, O., & Hassan, M.A. (2003). Landslide inventory in a rugged forested watershed: a comparison between air-photo and field survey data. *Geomorphology*, 54, 179-196
- Bulut, İ. (2016). Bartın Merkez, Amasra ve Kurucaşile İlçeleri Sınırları İçerisinde 12-13 Ağustos 2016 Tarihinde Yaşanan Sel Afeti Sunumu. In: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü
- Cai, L., Shi, W., Miao, Z., & Hao, M. (2018). Accuracy Assessment Measures for Object Extraction from Remote Sensing Images. *Remote Sensing*, 10, 303
- Cardinali, M., Antonini, G., Reichenbach, P., & Fausto, G. (2001). Photo-geological and landslide inventory map for the Upper Tiber River basin—CNR GNDCI, publication no. 2116, scale 1: 100,000. In

- Cardinali, M., Galli, M., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Reichenbach, P., & Bartoccini, P. (2006). Rainfall induced landslides in December 2004 in south-western Umbria, central Italy: types, extent, damage and risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Science*, 6, 237-260
- Chen, T., Trinder, J.C., & Niu, R. (2017). Object-Oriented Landslide Mapping Using ZY-3 Satellite Imagery, Random Forest and Mathematical Morphology, for the Three-Gorges Reservoir, China. *Remote Sensing*, 9, 333
- Chen, W.T., Li, X.J., Wang, Y.X., Chen, G., & Liu, S.W. (2014). Forested landslide detection using LiDAR data and the random forest algorithm: A case study of the Three Gorges, China. *Remote Sensing of Environment*, 152, 291-301
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996). Landslide types and processes., In, Landslides: investigation and mitigation., Edited by, A. K. Turner and R. L. Schuster. Transportation Research Board, Special Report 247, pp. 36-75
- Cruden, D.M. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 43, 27-29
- Çan, T., Duman, T.Y., Olgun, Ş., Çörekçioğlu, Ş., Karakaya-Gülmez, F., Elmacı, H., Hamzaçebi, S., & Emre, Ö. (2013). Türkiye Heyelan Veri Tabanı. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*
- Dağ, S. (2007). Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi. *Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon*
- Danneels, G., Pirard, E., & Havenith, H.-B. (2007). Automatic landslide detection from remote sensing images using supervised classification methods. In, *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International* (pp. 3014-3017): IEEE
- Dey, V., Zhang, Y., & Zhong, M. (2010). A review on image segmentation techniques with remote sensing perspective. *ISPRS TC VII Symposium – 100 Years ISPRS,, XXXVIII*
- Dou, J., Chang, K.T., Chen, S.S., Yunus, A.P., Liu, J.K., Xia, H., & Zhu, Z.F. (2015). Automatic Case-Based Reasoning Approach for Landslide Detection:

Integration of Object-Oriented Image Analysis and a Genetic Algorithm.
Remote Sensing, 7, 4318-4342

- Eisank, C., Hölbling, D., Friedl, B., Chen, Y., & Chang, K. (2014). Expert knowledge for object-based landslide mapping in Taiwan. *S East Eur J Earth Obs Geomat Spec Issue: GEOBIA*, 347-350
- Ekici, B. (2012). Kurucaşile (Bartın) Kıyı Şeridi ve Yakın Çevresinin Biyotoplarının Haritalanması. *Doktora Tezi, Bartın Üniversitesi, Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın*
- Emir, S.F. (2002). Bartın ve Çevresinin Turizm Coğrafyası. *Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul*
- Ergünay, O. (2007). Türkiye'nin afet profili. *TMMOB afet sempozyumu bildiriler kitabı*, 5-7
- Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (2008). Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology*, 94, 268-289
- Gökçe, O., Özden, Ş., & Demir, A. (2008). *Türkiye'de afetlerin mekansal ve istatistiksel dağılımı afet bilgileri envanteri*. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü
- Gökçeoğlu, C., & Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Yerbilimleri Dergisi*, 5, 189-206
- Guo, D., Atluri, V., & Adam, N. (2005). Texture-based remote-sensing image segmentation. In, *Multimedia and Expo, 2005. ICME 2005. IEEE International Conference on* (pp. 1472-1475): IEEE
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., & Carrara, A. (2000). Comparing landslide maps: A case study in the upper Tiber River Basin, central Italy. *Environmental Management*, 25, 247-263
- Guzzetti, F., Mondini, A.C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., & Chang, K.-T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112, 42-66
- Happ, P., Ferreira, R.S., Bentes, C., Costa, G., & Feitosa, R.Q. (2010). Multiresolution segmentation: a parallel approach for high resolution image segmentation in

- multicore architectures. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38, C7
- Haque, U., Blum, P., Da Silva, P.F., Andersen, P., Pilz, J., Chalov, S.R., Malet, J.-P., Auflič, M.J., Andres, N., & Poyiadji, E. (2016). Fatal landslides in Europe. *Landslides*, 13, 1545-1554
- Haralick, R.M. (1979). Statistical and structural approaches to texture. *Proceedings of the Ieee*, 67, 786-804
- Hölbling, D., Füreder, P., Antolini, F., Cigna, F., Casagli, N., & Lang, S. (2012). A semi-automated object-based approach for landslide detection validated by persistent scatterer interferometry measures and landslide inventories. *Remote Sensing*, 4, 1310-1336
- Jensen, J. (2005). Thematic information extraction: pattern recognition. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*, 337-406
- Keyport, R.N., Oommen, T., Martha, T.R., Sajinkumar, K., & Gierke, J.S. (2018). A comparative analysis of pixel-and object-based detection of landslides from very high-resolution images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 64, 1-11
- Lahousse, T., Chang, K.T., & Lin, Y.H. (2011). Landslide mapping with multi-scale object-based image analysis - a case study in the Baichi watershed, Taiwan. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 2715-2726
- Lang, S. (2008). Object-based image analysis for remote sensing applications: modeling reality—dealing with complexity. *Object-based image analysis* (pp. 3-27): Springer
- Lelong, C.C., Burger, P., Jubelin, G., Roux, B., Labbé, S., & Baret, F. (2008). Assessment of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots. *Sensors*, 8, 3557-3585
- Li, X.J., Cheng, X.W., Chen, W.T., Chen, G., & Liu, S.W. (2015). Identification of Forested Landslides Using LiDAR Data, Object-based Image Analysis, and Machine Learning Algorithms. *Remote Sensing*, 7, 9705-9726

- Long, J.A., Lawrence, R.L., Greenwood, M.C., Marshall, L., & Miller, P.R. (2013). Object-oriented crop classification using multitemporal ETM+ SLC-off imagery and random forest. *GIScience & Remote Sensing*, 50, 418-436
- Lu, P., Stumpf, A., Kerle, N., & Casagli, N. (2011). Object-oriented change detection for landslide rapid mapping. *Ieee Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8, 701-705
- Marc, O., & Hovius, N. (2015). Amalgamation in landslide maps: effects and automatic detection. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15, 723-733
- Marcelino, E.V., Formaggio, A.R., & Maeda, E.E. (2009). Landslide inventory using image fusion techniques in Brazil. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11, 181-191
- Martha, T.R. (2011). Detection of landslides by object oriented image analysis. *University of Twente, Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, The Natherlands: ITC Printing Department*
- Martha, T.R., Kamala, P., Jose, J., Kumar, K.V., & Sankar, G.J. (2016). Identification of new landslides from high resolution satellite data covering a large area using object-based change detection methods. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 44, 515-524
- Martha, T.R., Kerle, N., Jetten, V., van Westen, C.J., & Kumar, K.V. (2010). Characterising spectral, spatial and morphometric properties of landslides for semi-automatic detection using object-oriented methods. *Geomorphology*, 116, 24-36
- Martha, T.R., Kerle, N., van Westen, C.J., Jetten, V., & Kumar, K.V. (2011). Segment Optimization and Data-Driven Thresholding for Knowledge-Based Landslide Detection by Object-Based Image Analysis. *Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49, 4928-4943
- Martha, T.R., Kerle, N., van Westen, C.J., Jetten, V., & Kumar, K.V. (2012). Object-oriented analysis of multi-temporal panchromatic images for creation of historical landslide inventories. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 105-119

- McKean, J., & Roering, J. (2004). Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry. *Geomorphology*, 57, 331-351
- Mezaal, M.R., Pradhan, B., Sameen, M.I., Mohd Shafri, H.Z., & Yusoff, Z.M. (2017). Optimized Neural Architecture for Automatic Landslide Detection from High-Resolution Airborne Laser Scanning Data. *Applied Sciences*, 7, 730
- Mondini, A., Guzzetti, F., Reichenbach, P., Rossi, M., Cardinali, M., & Ardizzone, F. (2011). Semi-automatic recognition and mapping of rainfall induced shallow landslides using optical satellite images. *Remote Sensing of Environment*, 115, 1743-1757
- Nichol, J.E., Shaker, A., & Wong, M.-S. (2006). Application of high-resolution stereo satellite images to detailed landslide hazard assessment. *Geomorphology*, 76, 68-75
- Özer, C.K. (2009). Bartın-Kurucaşile Yöresi Geç Kretase Birimleri Planktonik Foraminifer ve Nannoplankton Biyostratigrafisi. *Doktora Tezi, Kankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*
- Öztürk, K. (2002). Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22
- Prokešová, R., Kardoš, M., & Medveďová, A. (2010). Landslide dynamics from high-resolution aerial photographs: a case study from the Western Carpathians, Slovakia. *Geomorphology*, 115, 90-101
- Rau, J., Jhan, J., Lo, C., & Lin, Y. (2011). Landslide mapping using imagery acquired by a fixed-wing UAV. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci*, 38, 1-C22
- Razak, K.A. (2014). Airborne laser scanning for forested landslides investigation in temperate and tropical environments. *Enschede, The Netherlands*
- Reis, S., Bayrak, T., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., & Ekercin, S. (2008). Rize Bölgesinde Yağış Heyelan İlişkisi. *HKMO Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 99, 5-9

- Santangelo, á., Cardinali, á., Rossi, á., Mondini, A., & Guzzetti, F. (2010). Remote landslide mapping using a laser rangefinder binocular and GPS. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 2539
- Sarı, S. (2007). Bartın İlinin Tarım Coğrafyası. *Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Sakarya*
- Schulz, W.H. (2007). Landslide susceptibility revealed by LIDAR imagery and historical records, Seattle, Washington. *Engineering Geology*, 89, 67-87
- Sertel, E., & Alganci, U. (2016). Comparison of pixel and object-based classification for burned area mapping using SPOT-6 images. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7, 1198-1206
- Shi, B., & Liu, C. (2015). UAV for landslide mapping and deformation analysis. In, *International Conference on Intelligent Earth Observing and Applications 2015* (p. 98080P): International Society for Optics and Photonics
- Singhroy, V., & Molch, K. (2004). Characterizing and monitoring rockslides from SAR techniques. *Advances in Space Research*, 33, 290-295
- Stumpf, A., & Kerle, N. (2011). Object-oriented mapping of landslides using Random Forests. *Remote Sensing of Environment*, 115, 2564-2577
- Uça Avcı, Z.D., Ok, A.Ö., Berberoğlu, S. (2017). Sınıflandırma - İleri Teknikler. In F. Sunar (Ed.), *Digital Görüntü İşleme* (pp. 171-212). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi
- Van Den Eeckhaut, M., Kerle, N., Poesen, J., & Hervás, J. (2012). Object-oriented identification of forested landslides with derivatives of single pulse LiDAR data. *Geomorphology*, 173, 30-42
- Van Westen, C., & Getahun, F.L. (2003). Analyzing the evolution of the Tessina landslide using aerial photographs and digital elevation models. *Geomorphology*, 54, 77-89
- Zaruba, Q., & Mencl, V. (2014). *Landslides and their control*. Elsevier

- http-1: Emergency Events Database (EM-DAT), <https://www.emdat.be/> (Eriřim Tarihi: 10.09.2018)
- http-2: Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması Heyelan-Kaya Düşmesi Temel Kılavuzu, https://www.afad.gov.tr/upload/Node/3469/xfiles/kutle-hareketleri-temel-kilavuz_tr.pdf (Eriřim Tarihi: 10.09.2018)
- http-3: Landslide Types and Processes, <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072.html> (Eriřim Tarihi: 10.09.2018)
- http-4: İllere Ait Mevsim Normalleri, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=BARTIN> (Eriřim Tarihi: 10.09. 2018)
- http-5: İllere Ait Mevsim Normalleri, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=undefined&m=RIZE> (Eriřim Tarihi: 10.09. 2018)