

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ALAKIR ÇAYI (ANTALYA) HAVZASININ UZAKTAN ALGILAMA  
VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK  
HEYELAN DUYARLILIK HARİTALAMASI**

**Metehan ADA**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZİRAN 2018**

**ANTALYA**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ALAKIR ÇAYI (ANTALYA) HAVZASININ UZAKTAN ALGILAMA  
VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK  
HEYELAN DUYARLILIK HARİTALAMASI**

**Metehan ADA**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**HAZİRAN 2018**

**ANTALYA**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALAKIR ÇAYI (ANTALYA) HAVZASININ UZAKTAN ALGILAMA  
VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK  
HEYELAN DUYARLILIK HARİTALAMASI**

**Metehan ADA**

**JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**(Bu tez Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) tarafından FYL-2016-1732  
nolu proje ile desteklenmiştir.)**

**HAZİRAN 2018**

**T.C.  
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ALAKIR ÇAYI (ANTALYA) HAVZASININ UZAKTAN ALGILAMA VE  
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK  
HEYELAN DUYARLILIK HARİTALAMASI**

**Metehan ADA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 6/6/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Bekir Taner SAN (Danışman)

Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Nusret DEMİR

## ÖZET

### ALAKIR ÇAYI (ANTALYA) HAVZASININ UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTALAMASI

Metehan ADA

**Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Bekir Taner SAN**

**Haziran 2018, 81 sayfa**

Bu çalışma, Antalya ili sınırları içerisinde yer alan Alakır Çayı havzasının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritalamasını oluşturmak amacıyla yapılmıştır. Heyelanlar, dünyada ve ülkemizde yaygın olarak gözlenen (özellikle dağlık bölgelerde) doğal afetler arasındadır. Heyelanların meydana getirmiş olduğu can ve mal kaybını en aza indirmek adına, heyelan duyarlılık haritalaması çalışmaları büyük önem kazanmıştır.

Çalışma alanının yer aldığı Alakır Çayı havzası, Antalya ilinin 77 km batısında yer almaktadır ve 212 km<sup>2</sup> alanı kapsamaktadır. Çalışma kapsamında farklı parametreler ve indeksler kullanılmıştır. Eğim, bakı, topografik nemlilik indeksi, akarsu gücü indeksi, eğim uzunluğu faktörü, yakınsaklık indeksi, plan eğriliği ve profil eğriliği üretilen DEM türevleridir. Uzaklık parametreleri olarak; kanal ağlarına uzaklık ve fay hatlarına uzaklık parametreleri kullanılmıştır. Mineral oranlamaları (Alunit, Kaolinit, Kalsit) ve Dekorelasyon gerilmeleri ise kullanılan diğer parametrelerdir. Hazır veri olarak Heyelan envanter haritası ve ASTER L3A uydu görüntüsü kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında kullanılacak olan tüm veriler, uzaktan algılama ve görüntü işleme teknikleriyle birlikte Makine öğrenme algoritmalarından Rastgele Orman Algoritması için hazır hale getirilmiştir. Algoritma uygulanarak heyelan oluşma olasılığı olan alanlara ait altlık veri formatında sonuçlar elde edilmiştir.

Doğruluk değerlendirmesi olarak Alıcı İşlem Karakteristiği (Receiver Operating Characteristic – ROC) eğrisinin altında kalan alan (AUC) kullanılmıştır ve en yüksek değerler eğitim-2 setinden alınmıştır. 10,100 ve 1000 ağaç sayısı kullanılarak uygulanan algoritma için sırasıyla 0.860, 0.874 ve 0.877 sonuçları elde edilmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Antalya, Destek Vektör Makinesi, Heyelan Duyarlılık Haritalaması, İki Düzeyli Rastgele Örnekleme, Makine öğrenmesi, Rastgele Orman

**JÜRİ:** Doç. Dr. Bekir Taner SAN

Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Nusret DEMİR

## **ABSTRACT**

### **LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING USING REMOTE SENSING AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM: THE ALAKIR RIVER BASIN (ANTALYA, TURKEY)**

**Metehan ADA**

**MSc Thesis in Geological Engineering  
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Bekir Taner SAN  
June 2018, 81 pages**

This study was conducted to map the sensitivity of remote sensing and Geographical Information Systems (GIS) landslide susceptibility of the Alakir Creek basin located within the boundaries of Antalya province. Landslides are among the natural disasters that are widespread in the world and our country (in special mountainous regions). In order to reduce the loss of life and property, the landslide susceptibility mapping work has become very important.

The study area, being the Alakir catchment area, covers 212 km<sup>2</sup> and is 77 km from the Antalya city center. Different parameters and indices were used in the study. Slope, aspect, TWI, LS factor, convergence index, plan curvature and profile curvature are the DEM derivatives produced. Distance parameters; distance to fault lines and distance to drainage network are used. Mineral ratios (Alunite, Kaolinite, Calcite) and decorrelation stretch vary among other parameters. Landslide inventory map and ASTER L3A satellite image are used as ready data.

All the data to be used in the study were prepared for the Random Forest Algorithm from the machine learning algorithms together with remote sensing and image processing techniques.

The area under the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve (AUC) was used and the highest values were taken from the training-2 set. For the algorithm applied by using 10,100 and 1000 tree numbers, 0.860, 0.874 and 0.877 results were obtained, respectively.

**KEYWORDS:** Antalya, Landslide susceptibility mapping, Machine learning, Random Forest, Support Vector Machine, Two-level random sampling

**COMMITTEE:** Assoc. Prof. Dr. Bekir Taner SAN

Assoc. Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLIOGLU

Asst. Prof. Dr. Nusret DEMİR

## ÖNSÖZ

Günümüzde doğal afetler, yıkıcı etkilerini hem dünyada hemde ülkemizde fazlasıyla göstermektedir. Meydana gelen bu afetler arasında heyelanlar, yıkıcı etkisiyle büyük zararlar meydana getirebilmektedir.

Bu çalışma ile meydana gelen heyelanların incelenmesiyle, oluşabilecek yeni heyelan alanları hakkında detaylı bir analiz ortaya koyarak heyelan duyarlılık haritalaması oluşturulması amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında kullanılan verilerle doğru analiz sonuçlarının elde edilmesi, ülkemizde meydana gelen heyelan afetinin etkisini azaltmamız adına önemli bir yol gösterici olması planlanmaktadır.

Üretilen heyelan duyarlılık haritaları ile yapılacak olan mühendislik çalışmalarında, heyelanların meydana getireceği hasarların en az seviyede tutulabilmesi hedef olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmadaki önemli katkılarından ve emeğinden dolayı, Danışman Hocam Sayın Doç. Dr. Bekir Taner SAN'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmadaki katkılarından dolayı Akdeniz Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü öğretim elemanlarına, Coğrafi Bilgi Sistemleri Bölümü öğretim elemanlarına ve sevgili aile bireylerime vermiş oldukları desteklerden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
AKADEMİK BEYAN.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Çalışma Alanı.....	2
2. KAYNAK TARAMASI.....	4
2.1. Literatür Çalışmaları.....	4
2.2. Jeolojik Bilgiler.....	7
2.3. Formasyon Bilgileri.....	8
2.3.1. Beydağları formasyonu (Kb).....	10
2.3.2. Tekkeköy üyesi (Kbt).....	10
2.3.3. Küçükköy formasyonu (Tek).....	12
2.3.4. Tilkideliğitepe formasyonu (TRt).....	12
2.3.5. Dereköy radyolariti (JKd).....	12
2.3.6. Keçili formasyonu (Kk).....	13
2.3.7. Tesbihli formasyonu (TRat).....	14
2.3.8. Gökdere formasyonu (TRag).....	15
2.3.9. Çandır formasyonu (TRaç).....	15
2.3.10. Karadere formasyonu (TRak).....	15
2.3.11. Tekedağı formasyonu (JKt).....	16
2.3.12. Kırkdirek formasyonu (Kkm).....	16
2.3.13. Yamaç molozu ve birikinti konileri (Qym).....	17
2.3.14. Alüvyon (Qal).....	17
2.4. Heyelan Envanteri.....	17
2.4.1. Heyelan Türleri.....	18
2.4.2. Heyelan Nedenleri.....	20
3. MATERYAL VE METOD.....	23



3.1. Materyal .....	23
3.1.1. Topografik parametreler.....	25
3.1.2. Yakınlık parametreleri .....	35
3.1.3. Arazi örtüsü ve litolojik parametreler .....	37
3.2. Metod .....	43
3.2.1. Heyelan duyarlılık haritası için örnekleme stratejisi.....	43
3.2.2. Heyelan duyarlılık haritası için destek vektör makinesi sınıflandırması .....	45
3.2.3. Heyelan duyarlılık haritası için rastgele orman sınıflandırması .....	46
3.2.4. Doğruluk değerlendirmeleri .....	46
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	48
5. SONUÇLAR .....	72
6. KAYNAKLAR .....	74
ÖZGEÇMİŞ	

## AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “ALAKIR ÇAYI (ANTALYA) HAVZASININ UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTALAMASI” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

06/06/2018

Metehan Ada

## SİMGELER VE KISALTMALAR

2LRS	: Two Level Random Sampling
AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
ASTER	: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
AUC	: Area Under Curve
BN	: Bayes Net
CART	: Classification and Regression Trees
CI	: Kalsit İndeksi
ÇYT	: Çekirdek Yoğunluk Yahmini
DVM	: Destek Vektör Makinesi
ELM	: Extreme Learning Machine
FR	: Frequency Ratio
GDM	: Genelleştirilmiş Doğrusal Model
IDL	: Interactive Data Language
JKd	: Dereköy Radyolariti
Kb	: Beydağları Formasyonu
Kbt	: Tekkeköy Üyesi
KDA	: Kuadratik Discriminant Analizi
KI	: Kaolinit İndeksi
Kk	: Keçili Formasyonu
Kkm	: Kırkdirek Formasyonu
KKO	: Karınca Kolonisi Optimizasyonu
KTS	: Korelasyon Temelli Özellik Seçimi
LMA	: Lojistik Model Ağacı
LR	: Lojistik Regresyon
LS Factor	: Slope Length and Steepness Factor
MGM	: Meteoroloj Genel Müdürlüğü
MÖT	: Machine Öğrenme Teknikleri
MTA	: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü

NB	: Naif Bayes
NDVI	: Normalized Difference Vegetation Index
OH	: Hidrooksit
PBRS	: Polygon-Based Random Sampling
Qal	: Alüvyon
Qym	: Yamaç Molozu ve Birikinti Konileri
RO	: Rastgele Orman
ROC	: Receiver Operating Characteristic Curve
RTF	: Radikal Remel Fonksiyonu
SAGA	: System of Automated Geoscientific Analyses
SRA	: Sınıflandırma ve Regresyon Ağaçları
SWIR	: Shortwave Infrared
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
Tek	: Küçükköy Formasyonu
TIR	: Thermal Infrared
T <sub>Raç</sub>	: Çandır Formasyonu
T <sub>Rag</sub>	: Gökdere Formasyonu
T <sub>Rak</sub>	: Karadere Formasyonu
T <sub>Rat</sub>	: Tesbihli Formasyonu
T <sub>Rt</sub>	: Tilkideliğitepe Formasyonu
TWI	: Topographic Wetness Index
VNIR	: Visible and Near Infrared
YGA	: Yükseltilmiş Gerilme Ağacı
YSA	: Yapay Sinir Ağları

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 1.1.</b> Çalışma alanı (a), çalışma alanı lokasyonu ve mevcut heyelanlar (MTA 2009) (b) .....	2
<b>Şekil 2.1.</b> Çalışma alanına ait 1:25.00 ölçekli jeoloji haritası (1997 Şenel'den uyarlanmıştır) .....	7
<b>Şekil 2.2.</b> Batı Torosların yapısal şeması (1997 Şenel'den alınmıştır): 1-Pliyo-Kuvarterner, 2- Antalya Miyosenhavzası, 3- Torbalı-Kemalpaşa post-tektonik molas havzası, 4-Tavas-Burdur post-tektonik molas havzası, 5- Ofiyolit napları, 6- Likya napları, 7- Beyşehir-Hoyran-Hadim napları, 8- Antalya napları, 9- Beydağları Otoktonu, 10- Ananas-Akseki otoktonu, 11-Alanya napları, 12- Menderes Masifi, 13- Menderes masifi kuzeyi metamorfik olmayan seri .....	8
<b>Şekil 2.3.</b> Beydağları otoktonunun genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Şenel 1997) .....	9
<b>Şekil 2.4.</b> Çalışma alanı formasyon haritası (1997 Şenel'den uyarlanmıştır).....	11
<b>Şekil 2.5.</b> Bölgedeki otokton (Beydağları otoktonu) ve allokton (Antalya napları, Yeşilbarak napı ve Likya napları) konumlu kaya birimlerinin genelleştirilmiş stratigrafik kesitleri (Şenel 1977) .....	13
<b>Şekil 2.6.</b> Heyelan ve bölümleri (Varnes 1978).....	17
<b>Şekil 2.7.</b> Başlıca heyelan türleri (Varnes 1978) .....	19
<b>Şekil 3.1.</b> Çalışma alanı ASTER L3A uydu görüntüsü (Yanlış renk kombinasyonu) ve mevcut heyelanlar .....	24
<b>Şekil 3.2.</b> Sayısal yükseklik modeli (SYM) haritası .....	25
<b>Şekil 3.3.</b> Eğim haritası .....	26
<b>Şekil 3.4.</b> Bakı haritası .....	27
<b>Şekil 3.5.</b> Plan eğriselliği haritası .....	29
<b>Şekil 3.6.</b> Profil eğriselliği haritası .....	30
<b>Şekil 3.7.</b> Yakınsama indeksi haritası .....	31
<b>Şekil 3.8.</b> Eğim uzunluğu ve dikliği faktörü harita .....	32
<b>Şekil 3.9.</b> Topoğrafik nemlilik indeksi haritası.....	34
<b>Şekil 3.10.</b> Fay hatlarına uzaklık haritası.....	35
<b>Şekil 3.11.</b> Kanal ağlarına uzaklık haritası .....	36
<b>Şekil 3.12.</b> Normalize fark bitki örtüsü indeksi haritası .....	37

<b>Şekil 3.13.</b> Kaolinit indeksi haritası.....	38
<b>Şekil 3.14.</b> Kalsit indeksi haritası .....	39
<b>Şekil 3.15.</b> OH indeksi haritası .....	40
<b>Şekil 3.16.</b> Dekorelasyon gerilmesi ASTER görüntüsü (yanlış renk kombinasyonu:321).....	41
<b>Şekil 3.17.</b> Dekorelasyon gerilmesi ASTER görüntüsü (yanlış renk kombinasyonu:432).....	42
<b>Şekil 3.18.</b> Adım 1'den 5'e İki Düzeyli Rastgele Örnekleme (2LRS) algoritmasının uygulama prosedürü (Ada ve San 2018'den uyarlanmıştır) .....	44
<b>Şekil 4.1.</b> RO algoritması-10 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 1 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası .....	48
<b>Şekil 4.2.</b> RO algoritması-10 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 2 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası .....	49
<b>Şekil 4.3.</b> RO algoritması-10 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 3 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	50
<b>Şekil 4.4.</b> RO algoritması-100 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 1 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	51
<b>Şekil 4.5.</b> RO algoritması-100 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 2 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	52
<b>Şekil 4.6.</b> RO algoritması-100 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 3 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	53
<b>Şekil 4.7.</b> RO algoritması-1000 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 1 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	54
<b>Şekil 4.8.</b> RO algoritması-1000 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 2 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	55
<b>Şekil 4.9.</b> RO algoritması-1000 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 3 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	56
<b>Şekil 4.10.</b> RO algoritması-10000 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 1 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	57
<b>Şekil 4.11.</b> RO algoritması-10000 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 2 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	58
<b>Şekil 4.12.</b> RO algoritması-10000 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 3 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	59

<b>Şekil 4.13.</b> DVM algoritması kullanılarak sınıf 1 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası .....	60
<b>Şekil 4.14.</b> DVM algoritması kullanılarak sınıf 2 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası .....	61
<b>Şekil 4.15</b> DVM algoritması kullanılarak sınıf 3 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası .....	62
<b>Şekil 4.16.</b> Model 1 (mavi), model 2 (kırmızı) ve model 3 (yeşil) için her sınıflandırmanın AUC değerleri.....	63
<b>Şekil 4.17.</b> DVM algoritması-model 1 sonucuve meydana gelen heyelana ait noktalar.....	66
<b>Şekil 4.18.</b> RO algoritması-1000 ağaç-model 2 sonucu ve meydana gelen heyelana ait noktalar .....	67
<b>Şekil 4.19.</b> Meydana gelen heyelana ait tahribat görüntüleri (1 nolu heyelan noktası).....	68
<b>Şekil 4.20.</b> Meydana gelen heyelana ait tahribat görüntüleri (2 nolu heyelan noktası).....	68
<b>Şekil 4.21.</b> Meydana gelen heyelana ait tahribat görüntüleri (3 nolu heyelan noktası).....	69
<b>Şekil 4.22.</b> Meydana gelen heyelana ait tahribat görüntüleri (4 nolu heyelan noktası).....	69
<b>Şekil 4.23.</b> Meydana gelen heyelana ait tahribat görüntüleri (5 nolu heyelan noktası).....	70
<b>Şekil 4.24.</b> Meydana gelen heyelana ait tahribat görüntüleri (6 nolu heyelan noktası).....	70
<b>Şekil 4.25.</b> Meydana gelen heyelana ait tahribat görüntüleri (7 nolu heyelan noktası).....	71

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Çizelge 2.1.</b> Heyelan türleri (Varnes 1978) .....	18
<b>Çizelge 3.1.</b> Bakı sınıfları üzerindeki piksellerin yüzdesi .....	28
<b>Çizelge 3.2.</b> Girdi parametrelerinin listesi ve tanımlayıcı istatistikler.....	33
<b>Çizelge 3.3.</b> 2LRS algoritmasının işlem basamakları.....	44
<b>Çizelge 3.4.</b> Rastgele örnek 1, 2 ve 3 kullanılarak üretilen modeller (Model 1, 2 ve 3) için DVM öğrenme parametreleri .....	46
<b>Çizelge 4.1.</b> Her bir sınıflandırma sonucu için AUC değerleri.....	63



## 1.GİRİŞ

### 1.1. Amaç ve Kapsam

Toprak kayması olarak da isimlendirilen heyelanlar; kayalardan, kaya parçalarından ve topraktan meydana gelmiş kütlelerin, yerçekiminin etkisi altında kalarak yamaç boyunca yer değiştirmesi olayıdır. Heyelanların meydana gelmesinde etken rol oynayan çeşitli olaylar mevcuttur. Bu etkenler doğal faktörlerden meydana gelebildiği gibi (yağış, eğim, litolojik özellikler, sismik hareketler vb.), insanlardan kaynaklı (çizgisel mühendislik çalışmaları, yamaç denge profil bozulması, yapay sismik aktiviteler vb.) etkenlerden de meydana gelebilmektedir.

Heyelanlar, hem insan hayatını hem de ekonomik faaliyetleri tehdit eden, dünyadaki en büyük yıkıma sebep veren felaket biçimlerinden biridir (Pourghasemi vd. 2012). Gökce vd. (2008); 1950'den 2008'e kadar gerçekleşen heyelan olaylarının Türkiye için en yıkıcı doğal afet olduğunu belirtilmektedir. Ayrıca heyelanlar, afetlerden etkilenen kişi sayısı bakımından Türkiye'de ikinci sırada yer almaktadır.

Bu durum göz önünde bulundurulduğunda, heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarının planlama açısından çok önemli bir yere sahip olduğu görülmektedir. Duyarlılık haritalarının oluşturulması, heyelan etkilerinin azaltılması ve/veya önlenmesi adına büyük önem taşımaktadır.

Yapılan çalışmanın temel amacı, heyelan duyarlılık haritası üretmek adına bir örnekleme algoritması sunmaktır. Materyal bölümünde "İki Seviyeli Rastgele Örnekleme (2LRS)" olarak bilinen bu örnekleme yönteminin ayrıntıları verilecektir.

Literatür bilgilerinde de belirtileceği üzere, DVM ve RO gibi makine öğrenme algoritmalarının yüksek mekansal performanslar gösterdiğinden yola çıkılarak; bu çalışmada, belirtilen sınıflandırma teknikleri uygulandı. Heyelan duyarlılık doğrulukları açısından haritalandırılması ve hesaplama işlem süreleri için de karşılaştırılmalar yapıldı.

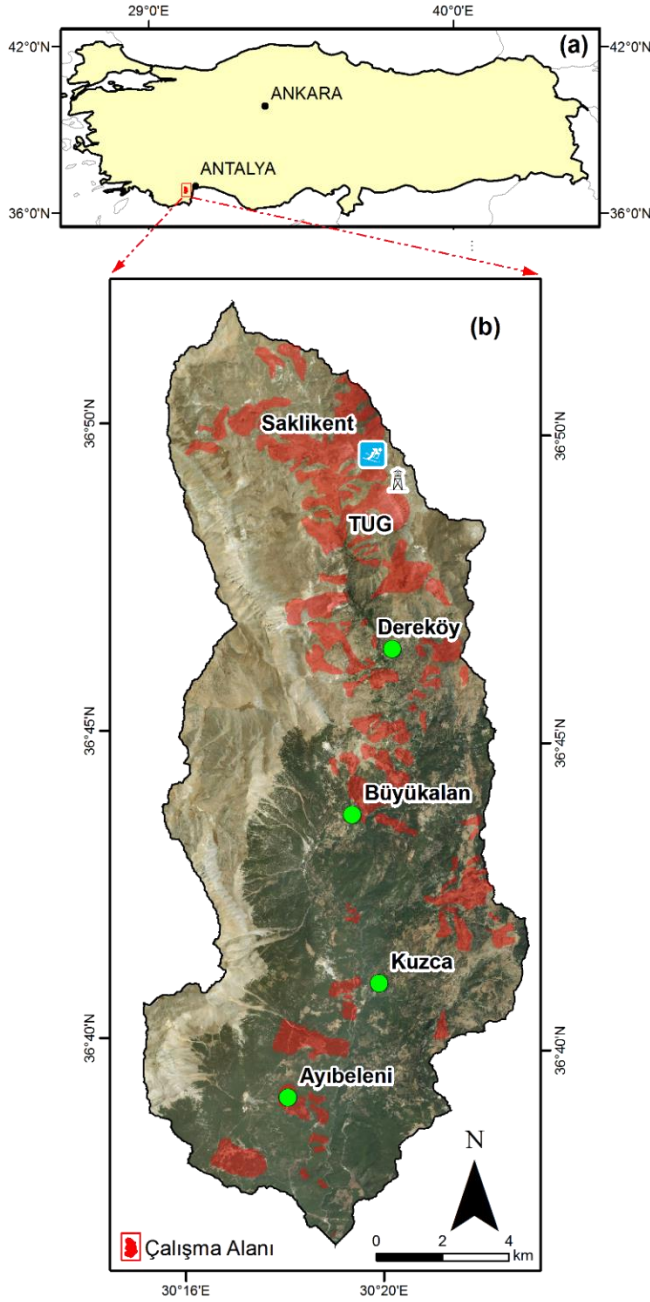
Kullanılan algoritmalar kapsamında, eğitim/test örneklerini detaylı incelemeler sonucu seçildi. Çalışmada, rastgele seçilen eğitim ve heyelan poligonu içindeki test örnekleri kullanıldı. Bu tip örnekleme stratejisi, üretilen heyelan duyarlılık modelinin mekansal performansını artırma konusunda fayda sağlamaktadır.

Süzen ve Doyuran (2004), Nefeslioğlu vd. (2008) ve San (2014) bu sorunu çalışmalarında belirtmişler ve tohum hücre yaklaşımını geliştirerek güvenilir duyarlılık haritalaması için heyelan öncesi koşulları belirtmişlerdir.

Çalışmanın bir diğer önemli yararı, güvenilir ve doğru piksel tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yol açan, girdi veri parametreleri olarak uzaktan algılama teknikleri ile üretilmiş veri setlerinin kullanılmasıdır.

## 1.2. Çalışma Alanı

Türkiye'de heyelana en yatkın alanlardan biri, Antalya'nın batı kesiminde bulunmaktadır. Çalışma alanı, Alakır Su toplama havzası olup 212 km<sup>2</sup> lik bir alanı kapsamaktadır. Antalya Şehir merkezine 77 km uzaklıktadır (Şekil 1.1). Akdeniz ikliminin hakim olduğu bölgede, yazın sıcak ve kurak, kışın yağışlı ve ılık bir hava hakimdir. Çalışma alanındaki yıllık yağış miktarı 1066.9 mm olup, bu değer 1929 ve 2016 yılları arasında kaydedilmiştir (MGM 2017). Çalışma alanı dört yerleşim yeri, bir kayak merkezi ve bir ulusal astronomik gözlemevi içerir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çalışma alanı (a), çalışma alanı lokasyonu ve mevcut heyelanlar (MTA 2009) (b)

Çalışma alanı, dağlık ve yarı dağlık bir topoğrafyaya sahiptir. Çalışma alanının 389 m ve 2767 m arasında değişen topografik varyasyon ve 1558.94 m'lik bir ortalama yüksekliği vardır.

Çalışma alanında, çoğunlukla aktif derin dönel kayma ve alanda birkaç sığ kütle hareketi olarak tanımlanabilecek birçok heyelan gerçekleşmiştir. Çalışma sırasında, çalışma alanında en belirgin olan derin aktif heyelanlar ana odak noktasıydı.

Heyelanlar, Şekil 1.1. ile kırmızı saydam poligonlar olarak gösterilmektedir. Çalışma alanı 99 adet derin dönel heyelan tipini içermekte olup, heyelanların minimum ve maksimum alanları sırasıyla 0.016 ve 1.709 km<sup>2</sup>'dir. Toplam heyelan alanı, çalışma alanının yüzde 12.27'sini oluşturmaktadır. Heyelanların ekseninin maksimum ve minimum uzunluğu ise 152.35 - 2270.21 m arasındadır.

## 2. KAYNAK TARAMASI

### 2.1. Literatür Çalışmaları

Meydana gelen heyelanların doğal yaşam koşullarını daha fazla olumsuz yönde etkilememesi adına, heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarına büyük önem verilmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalar, bölgesel ölçekte çözüm üretmekle birlikte, farklı yöntemler ve yeni tekniklerin daha da gelişmesine yol açmıştır.

Günümüzde, heyelan duyarlılık haritalama çalışmaları kapsamında birbirinden farklı yöntemler kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler, karşılaştırılmalı olarak veya birbirinden bağımsız bir şekilde uygulanmış ve bir sonuç değerlendirmesi ile araştırmacılara sunulmuştur.

Literatürde yer alan bu çalışmaları konu başlıkları ile inceleyecek olursak;

- İstatistiksel yöntemler (Guzzetti vd. 1999; Baeza ve Corominas 2001; Lee ve Min 2001; Ayalew ve Yamagishi 2005; Can vd. 2005; Lee ve Pradhan 2007; Nefeslioglu vd. 2008; Süzen ve Doyuran 2004; Domínguez-Cuesta vd. 2007; Duman vd. 2006; Das vd. 2010 ve 2012; Süzen ve Kaya 2012),
- Yapay sinir ağları (Lee vd. 2004; Gomez ve Kavzoglu 2005; Yesilnacar ve Topal 2005; Nefeslioglu vd. 2008),
- Bulanık mantık (Ercanoglu ve Gokceoglu 2004; Pradhan vd. 2009; Akgun vd. 2012),
- Sinirsel-bulanık (Oh ve Pradhan 2011; Bui vd. 2012; Pradhan 2013),
- AHP (Pawluszek ve Borkowski 2017),
- Karar ağacı (Saito vd. 2009; Wan 2009; Nefeslioglu vd. 2010; Yeon vd. 2010),
- DVM (Yao vd. 2008; Yilmaz 2009; Marjanovic vd. 2011; Pradhan 2013; San 2014),
- Rastgele Orman (Chen vd. 2017).

Bu örneklere ek olarak, farklı yöntemler kullanılarak heyelan duyarlılık haritalaması çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalara ait özet bilgilere yer verecek olursak;

Nefeslioğlu vd. (2011), Batı Karadeniz Bölgesi'nde (Türkiye) yer alan Kelemen Havzası'nda Heyelan Duyarlılık Haritalaması için bir çalışma gerçekleştirdiler. Aster L3A uydu görüntüsü ve Sayısal Yükseklik Modelinden faydalanarak ürettikleri parametreler sonucunda, mekânsal performans istatistikleri yüksek değerler içeren tespitler ortaya çıkardılar.

Trigila vd. (2015), İtalya'da heyelan duyarlılık haritalama analizinde lojistik regresyon (LR) ve rastgele orman (RO) tekniklerinin karşılaştırmasını yaptılar ve RO'nın LR'dan daha iyi mekansal performans sunduğunu buldular.

Tsangaratos ve Ilia (2016) tarafından Yunanistan'da yapılan karşılaştırmalı çalışmada, LR ve Naive Bayes (NB) algoritmalarının performanslarını, heyelan duyarlılık haritalandırılması için test ettiler. LR ve NB için mekânsal doğruluk değerlerini %82.6 ve %87.5 olarak buldular.

Pham vd. (2016), Hindistan'da Destek Vektör Makinesi (DVM), Lojistik Regresyon (LR), Fisher'in Lineer Ayırım Analizi (FLDA), Bayes Ağı (BN) ve Naive Bayes (NB) olmak üzere farklı makine öğrenme yöntemleri kullanılarak Heyelan duyarlılık değerlendirmesi adına bir çalışma gerçekleştirdiler. Çalışmalarındaki en yüksek mekânsal performansı ve doğruluk değerini DVM'den elde ettiler.

Chen vd. (2016), Çin'de heyelan duyarlılık haritalaması için Lojistik Model Ağacı (LMT), Rastgele Orman (RF) ve Sınıflandırma ve Regresyon Ağacı (CART) modellerini karşılaştırdılar. Toplamda 171 heyelan lokasyonu tespit ettikleri alanda, çeşitli Sayısal Yükseklik Modeli türevleri kullandılar. Uygulanan modelleri, alıcı çalışma karakteristikleri (ROC) ve tahmini doğruluk (ACC) yöntemleri ile değerlendirdiler. Üç modelin de yüksek performanslar gösterdiği çalışma sahasında, en yüksek performans değerini (0.837) ve tahmin oranını (0.781) Rastgele Orman ile elde ettiler.

Pandev ve Sharma (2017), Garhwal Himalaya (Hindistan) bölgesinde yaşanan heyelan afetlerinin insan yaşamına verdiği olumsuzlukların analizi adına, heyelan duyarlılık haritalaması ürettir. Meydana gelen heyelanların, özellikle Temmuz aylarında ve otoyol çevresinde gerçekleştiğini tespit ederek, Landsat 8 uydu görüntüsünü, IRS LISS-IV MX uydu görüntüsünü ve Google Earth görüntüsünü kullanarak heyelan envanterini güncellediler. Sayısal yükseklik modeli kullanılarak ürettikleri girdi verileri ile Frekans oranı modeli uygulanarak 0.812 başarı elde ettiler. FR yönteminin kullanılması ile üretilen haritaların, otoyolun çevresinde oluşabilecek heyelanların olasılık analizleri için büyük öneme sahip olduğunu belirttiler.

Sezer vd. (2017), Doğu Karadeniz Bölgesi'nde (Türkiye) heyelana yatkın bir alan için M-AHP ve Mamdani tipi FIS yöntemlerini uyguladılar. Geliştirdikleri Heyelan duyarlılık Modülü ile elde ettikleri performans değerlerini ROC eğrisi altında kalan alan analizleri ile değerlendirdiler. M-AHP ve Mamdani tipi FIS için sırasıyla 0.82 ve 0.66 değerlerini elde ettiler.

Lin vd. (2017), Güneybatı Tayvan'da yer alan Kaoping Havzasında Heyelan Duyarlılık Haritalaması için bir çalışma gerçekleştirdiler. Çalışmalarında, farklı çekirdek fonksiyonlarına sahip Destek Vektör Makinası ve Lojistik Regresyon modellerini karşılaştırdılar. Destek Vektör Makinası'ndan elde ettikleri sonuçların, Lojistik Regresyon'a oranla daha iyi performanslar sergilediği kanısına vardılar.

Nicu (2017) tarafından Romanya'da Frekans Oranı (FR) modeli kullanılarak heyelan duyarlılık haritalama çalışması yapılmıştır. Sayısal yükseklik modeli türevleri ve çeşitli arazi indexleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, uygulanan model sonucu % 75.24'lük bir başarı oranına ulaşılmıştır. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının, karayolu kullanımı planlaması ve risk yönetimi çalışmalarında kullanılabilir olduğunu belirtmiştir.

Huang vd. (2017), Wanzhou (Çin) Bölgesi'nde heyelan duyarlılık haritalama çalışması gerçekleştirdiler. Destek Vektör Makinesi (DVM) ve Ağ Tabanlı Aşırı Öğrenme Makinesi (ELM) modeli uyguladıkları çalışmalarında, ELM modelinden daha yüksek bir olasılık sonuçlarına ulaştıklarını belirttiler.

Pourghasemi ve Rahmati (2018), Ghaemshahr (İran) Bölgesi'nde makine öğrenme tekniklerini (MÖT) karşılaştırarak heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Mevcut araştırma, yapay sinir ağları (YSA), yükseltilmiş gerileme ağacı (YGA), sınıflandırma ve regresyon ağaçları (SRA), genelleştirilmiş doğrusal model (GDM), genelleştirilmiş katkı modeli (GAM), çok değişkenli uyarlamalı regresyon spline (MARS), naif Bayes (NB), kuadratik diskriminant analizi (KDA), rastgele orman (RO) ve heyelan duyarlılık modellemesi için destek vektör makineleri (SVM) dahil on gelişmiş makine öğrenme tekniğinin (MÖT) performansları arasındaki ilk kapsamlı karşılaştırmayı sunmayı amaçlamaktadır. Ve CBS - R açık kaynaklı yazılımlarda değişkenlerin önemini değerlendirmişlerdir. MLT'lerin performansı, ROC eğrisi (AUC-ROC) yaklaşımı altındaki alan kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar on MÖT için AUC değerlerinin % 62.4 ile % 83.7 arasında değiştiğini göstermiştir. RO'nin (AUC = % 83.7) ve YGA'nin (AUC =% 80.7) diğer MÖT'lerle karşılaştırılmasında en iyi performansa sahip olduğu araştırmacılar tarafından bulunmuştur.

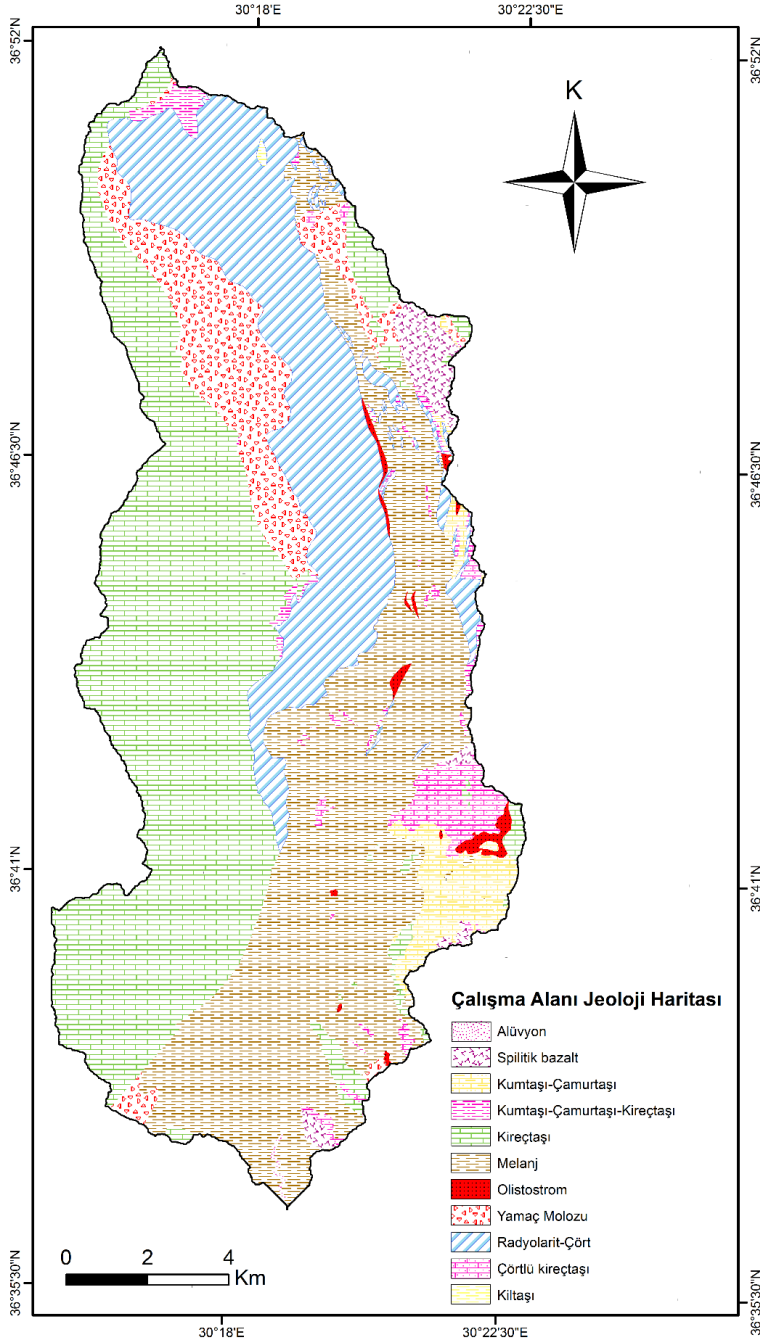
Chen vd. (2018), dört gelişmiş makine öğrenme tekniğini, yani Bayes 'net (BN), radikal temel fonksiyonu (RTF) sınıflandırıcı, lojistik model ağacı (LMA) ve rastgele orman (RO) modellerini karşılaştırarak County (Çin) bölgesinde heyelan duyarlılık modellemesi gerçekleştirebilirlerdir. Modellerin tahmin yeteneklerini doğrulamak ve karşılaştırmak için alıcı işletim karakteristiği (ROC) ve hassasiyet, özgüllük ve doğruluk dahil istatistiksel ölçümler kullanılmışlardır. Test edilen modellerin sonucunda, RF modeli, eğitim veri seti için sırasıyla en yüksek duyarlılık, özgüllük ve doğruluk değerlerini 0.787,0.716 ve 0.752'dir.

Zhu vd. (2018), Youfang (Çin) Bölgesi'nde tek sınıf destek vektör makinesi (tek sınıf DVM), çekirdek yoğunluk tahmini (ÇYT) ve yapay sinir ağları (YSA) ve iki sınıf destek vektör makinesi yöntemlerini heyelan duyarlılık haritalaması üretmek amacıyla karşılaştırmışlardır. AUC değerleri sırasıyla bir sınıf DVM, ÇTY, ANN ve iki sınıf SVM için 0.705, 0.720, 0.929 ve 0.951 olarak hesaplanmıştır. Dört yöntemin karşılaştırılmasından iki sınıf DVM, dört yöntem arasında heyelan duyarlılık haritalandırmasında en iyi performansa sahipken, bir sınıf DVM en kötüsü olarak araştırmacılar tarafından hesaplanmıştır.

Mezaal ve Pradhan (2018), Malezya'da üç özellik seçim tekniği kullanarak (ör. Korelasyon temelli özellik seçimi (KTS), rastgele orman (RO) ve karınca kolonisi optimizasyonu (KKO)) heyelan duyarlılık çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bölütleme parametrelerini optimize etmek için bulanık tabanlı segmentasyon parametresi (FbSP optimizer) kullanılmıştır. Her bir özellik seçim algoritmasının performansını değerlendirmek için rastgele orman (RO) kullanan araştırmacılar, RF sınıflandırıcısının genel doğrulukları, CFS algoritmasının farklılaşma heyelan tiplerinde daha yüksek sıralar sergilediğini ortaya çıkarmışlardır.

## 2.2. Jeolojik Bilgiler

Heyelan duyarlılık haritalamaları çalışmalarında önemli bir unsur teşkil eden jeolojik bilgilerin, lokal ölçekte tanımlanması ve incelenmesi büyük önem taşımaktadır. 1:25 000 ölçekli jeolojik haritaya (Şenel 1977) göre, Alakır havza alanı, seçilen çalışma alanı olarak 11 farklı litolojik birim içermektedir. Bu birimler; alüvyon, yamaç molozu-birikinti konisi, kumtaşı, çamurtaşı, melanj, olistostrom, kireçtaşı, kilitaşı, spilitik bazalt, çörtlü kireçtaşı ve radyolarit olarak gözlemlenmektedir (Şekil 2.1).



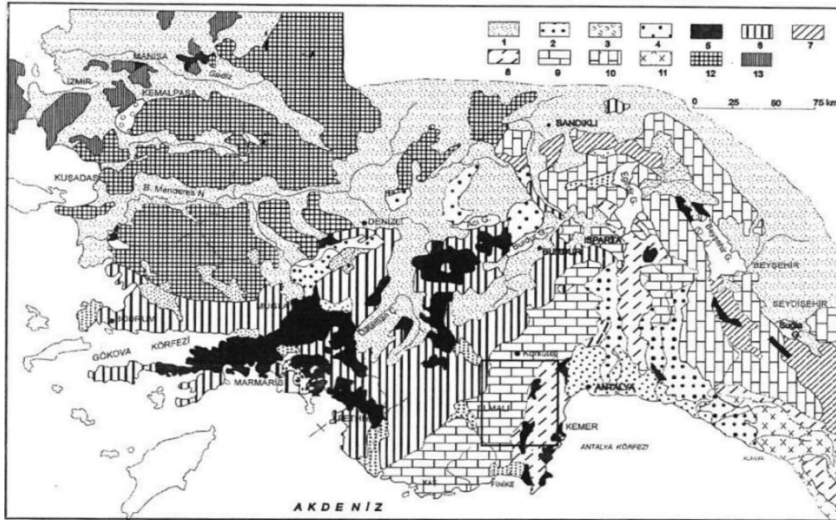
Şekil 2.1. Çalışma alanına ait 1:25.00 ölçekli jeoloji haritası (1997 Şenel'den uyarlanmıştır)

Bu birimlerin jeolojik yaşları Kuvaterner'den Orta Triyas'a kadar (Ladiniyen) yaşlıdır ve çoğu çalışma alanı Kuvaterner yaşlı yamaç molozu, Üst Senoniyen yaşlı Kirdirek Formasyonları (ofiyolit melanj), Jura-Kretase yaşlı Dereköy Radyolariti (radyolarit, çört, şeyl) ve Alt Kretase-Malm kaplı Beydağları Formasyonlarından (neritik kireçtaşı) oluşur.

Heyelanların çalışma alanına dağılımına bakıldığında, ağırlıklı olarak çört, melanj ve yamaç molozundan oluşan üç litolojik birimde yer aldığı gözlemlenmektedir. Bu birimler, çalışma alanındaki tüm heyelanların yüzde 99,11'ini içermektedir. Çalışma alanındaki toplam heyelanların % 51.22'si çört, radyolarit ve şeylden oluşan Jura-Kretase yaşlı Dereköy Radyolariti biriminde yer almaktadır. Toplam heyelanların yüzde 32,99'u melanj birimleri içeren Kirdirek Formasyonu üzerinde yer almaktadır. Toplam heyelanların %14.89'u da yamaç molozu birimlerinin bulunduğu alandadır. Bu birimler dışında, çalışma alanındaki heyelanların 0.38, 0.19, 0.13, 0.08 ve 0.06'sı sırasıyla çörtlü kireçtaşı, kireçtaşı, kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı, splitik bazalt ve olistostrom birimlerine dağılmıştır.

### 2.3. Formasyon Bilgileri

Çalışma alanı, Batı Toroslar'da Antalya Körfezi batısında yer almaktadır. Bölgenin batı kesiminde Beydağları otoktonu ve Likya napları, doğu kesiminde ise Antalya napları yer alır. Ayrıca, Beydağları otoktonu ile Likya napları arasında, yanal yönlerde süreklilik gösteren Yeşilbarak napı, Beydağları otoktonu ile Antalya napları arasında ise küçük Orta Eosen yaşlı kireçtaşı dilimi yer almaktadır. Naplı yapıların yer aldığı bölgede vahşi morfoloji egemen durumdadır. Batı Torosların yapısal şeması Şekil 2.2'de yer almaktadır.



**Şekil 2.2.** Batı Torosların yapısal şeması (1997 Şenel'den alınmıştır): 1-Pliyo-Kuvaterner, 2- Antalya Miyosen havzası, 3- Torbalı-Kemalpaşa post-tektonik molas havzası, 4-Tavas-Burdur post-tektonik molas havzası, 5- Ofiyolit napları, 6- Likya napları, 7- Beyşehir-Hoyran-Hadim napları, 8- Antalya napları 9- Beydağları Otoktonu, 10- Ananas-Akseki otoktonu, 11-Alanya napları, 12- Menderes Masifi, 13- Menderes masifi kuzeyi metamorfik olmayan seri



Bölgede, platform tipi çökellerden oluşan Beydağları otoktonu ile platform, yamaç havza ve okyanusal kabuk kökenli kayalar kapsayan Antalya napları bulunmaktadır. Çalışma alanı kuzeybatısında ise Likya naplarına ait genelde havza, kısmen yamaç karakterinde çökellerden oluşan Gülbahar napı yer almaktadır. Likya napları ile Beydağları otoktonu arasında yanal yönlere süreklilik sunan Yeşilbarak napı ve Beydağları otoktonu ile Antalya napları arasında bulunan küçük bir Eosen yaşlı kireçtaşı dilimi bölgenin diğer kaya birimleri olarak gözlemlenmektedir. Kuvarterner yaşlı oluşumlar bölgede en genç kaya birimlerini meydana getirmektedir (Şekil 2.3).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON ÜYE	KALINLIK (m)	KAYA TÜRÜ	KAYA TÜRÜ ÖZELLİKLERİ	FOSİLLER			
SENZOYİK	T E R S İ Y E R	M İ Y O S E N	Langiyen	Kasaba			İnce-orta-kalın tabakalı konglomera, kumtaşı, kilitaşı ve silttaşı.	<i>Præorbulina transitoria</i> <i>Præorbulina glomerata</i> <i>Orbulina suturalis</i>			
						Burdigaliyen	Karakuştepe			İnce-orta-kalın tabakalı, bej, krem, açık gri, grimsi yeşil, açık kahve renkli kumtaşı, kilitaşı ve silttaşları.	<i>Globigerinoides trilobus</i> <i>Globigerinoides bisphericus</i> <i>Globigerina druzjii</i> <i>Globorotalia mayeri</i> <i>Globorotalia abesa</i>
			Akıfaniyen	Karabayır						Orta-kalın tabakalı, gri, bej, açık kahve renklerde bol algli kireçtaşı. Tabanda konglomeratik kireçtaşı ve konglomera.	<i>Nephrolepidina tournoveri</i> <i>Miogypsina</i> sp. <i>Miogypsinoides</i> sp. <i>Lepidocyclina</i> sp.
									Eosen	Küçükköy	
			Paleo. Alt	Tekke köy ü			Antalya naplarına ait parçalar içeren olistastrom,	<i>Globorotalia cyelascoensis</i> <i>Globorotalia</i> sp.			
						Malm	Beydağları			İnce-orta tabakalı, bej, krem, gri renkli yeşil çörtlü Globotruncanali mikrit.	<i>Globotruncana arca</i> <i>Globotruncana stuarti</i> <i>Globotruncana contusa</i>
				Orta-kalın tabakalı, açık gri, kirlili beyaz, bej renkli, rudist yamaç resifli kireçtaşı.	<i>Inoceramus antalyensis</i> <i>Cuneolina gradatta</i> <i>Rudist</i> <i>Cuneolina cf. tenuis</i> <i>Orbitolina</i> sp. <i>Pseudorhapydionina dubai</i> <i>Salpingoporella annulata</i> <i>Biblanata peneropliformis</i> <i>Peneroplis planulatus</i> <i>Ovalveolina crassa</i>						
				Orta-kalın tabakalı, bej, krem, açık gri renkli kireçtaşı.	<i>Nurnubia palastiniensis</i> <i>Protopeneroplis striata</i> <i>Clodocorapsis mirabilis</i>						
			JURA ÜST								

Şekil 2.3. Beydağları otoktonunun genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Şenel 1997)

Batı Toroslar'ın otokton kaya birimlerini meydana getiren Beydağları otoktonu (Şekil 4), bölgede Jura-Kretase yaşlı neritik kireçtaşları (Beydağlan fm.), Paleosen yaşlı kumtaşı, kumlu-killi kireçtaşları (Söbütepe fm.), Üst Lütésiyen-Priaboniyen yaşlı kalkarenit düzeyli kumtaşı, kiltası vb. (Küçükköy fm.), Alt Miyosen yaşlı alglı kireçtaşları (Karabayır fm.), kumtaşı, kiltası, ve silttaşları (Karakuştepe fm.) ile konglomera ve kumtaşlan (Kasaba fm.) ile temsil edilmektedir.

Bölgede hakimiyet süren formasyonlara ait bilgiler, mevcut formasyon isimleri ve özet bilgileri ile anlatılmıştır:

### 2.3.1. Beydağları formasyonu (Kb)

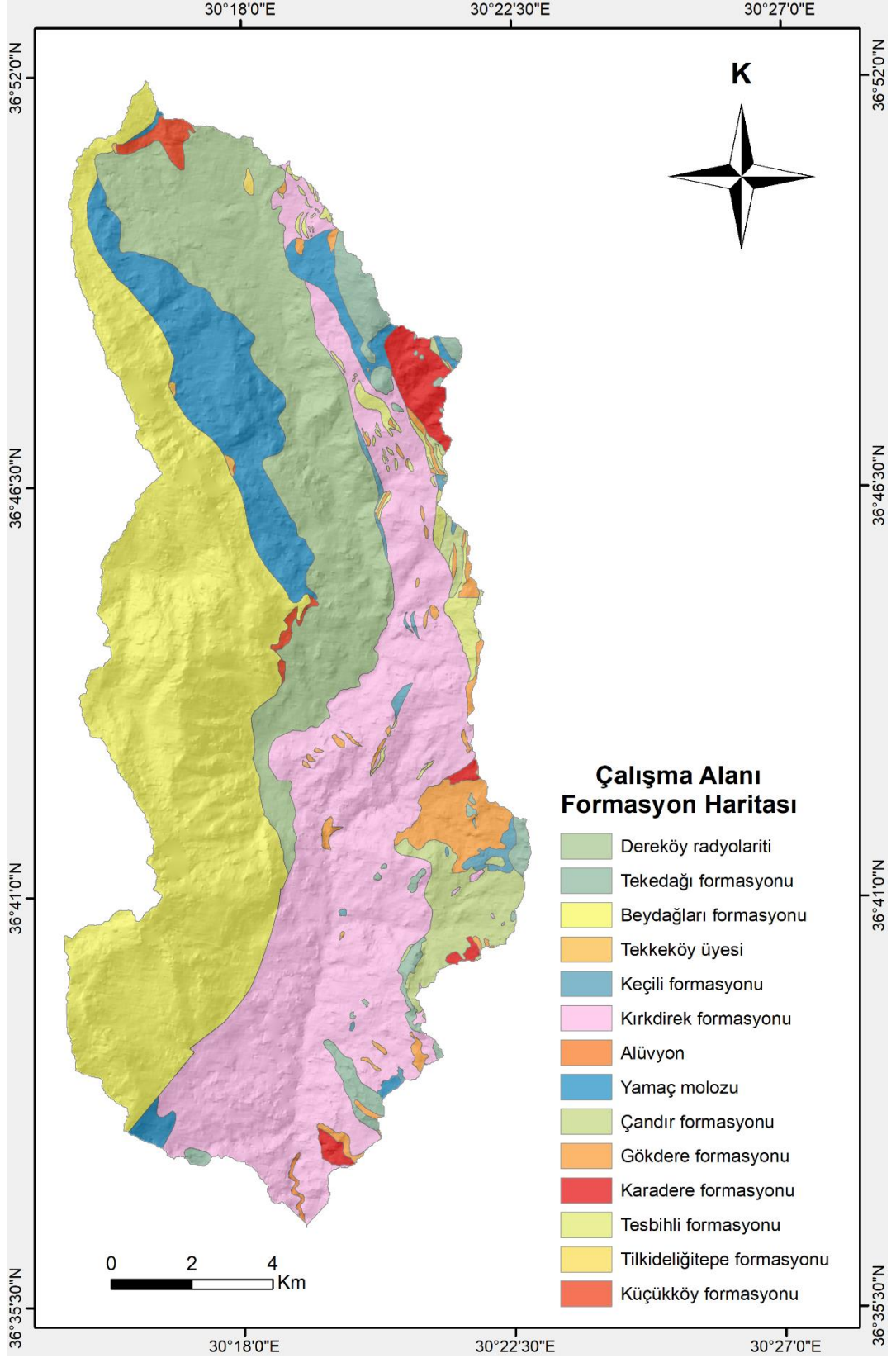
Jura-Kretase yaşlı neritik kireçtaşlarından oluşan birim, Günay vd. (1982) tarafından isimlendirilmiştir. Çalışma alanında Beydağları formasyonunun Malm-Üst Kretase kayaları yüzeylenmektedir. Birim üstte yer yer globotruncanalı mikritlerle (Tekkeköy üyesi) sonlanmaktadır.

Formasyon orta-kalın tabakalı, aşınma yüzeyi gri, açık gri, kırılma yüzeyi açık gri, krem, bej, açık kahve renklerde, sert, sık çatlaklı, çatlaklar kalsit ve aragonit dolgulu neritik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birimin Malm yaşlı seviyelerinde oolitli-pelletli, Kretase yaşlı seviyelerinde ise pelletli kireçtaşları yaygın durumdadır. Üstte, rudist yama resifli kireçtaşları (Senomaniyen) ile kirli beyaz renkli rekristalize kireçtaşları yer alır. Bazı alanlarda gastropod lamelli (Inoceramus), mercan vb. makro fosil izlerine de rastlanır. Beydağları formasyonları üzerinde değişik boyutta dolin ve polyeler gelişmiştir.

### 2.3.2. Tekkeköy üyesi (Kbt)

Şenel vd. (1989) tarafından adlandırılmış olan üye, ince-orta tabakalı, aşınma yüzeyi gri açık gri, kırılma yüzeyi bej, krem, kirli sarı, pembe, yeşilimsi gri vb. renklerde globotruncanalı mikritlerden oluşmaktadır. Birim seyrek olarak çört yumruları kapsar. Kalınlığı 0-150 metre arasında değişen Tekkeköy üyesi, Beydağları formasyonu üzerinde, batı ve güneybatıdaki kesimlerde yersel uyumsuz olarak bulunmaktadır. Tekkeköy üyesi, kuzeydoğuda Karacahisar kubbesinde yüzeyleyen Eşekini kireçtaşına (Dumont ve Kerey 1975; Dumont 1976) kısmen de olsa karşılık gelmektedir.

Beydağları formasyonunun alt ilişkisi çalışma alanında gözlenemez. Birimin kuzeydoğuda, Bucak-Kocaaaliler yolu üzerinde Kuyubaşı dolomiti ile geçişli olduğu belirtilmektedir (Poisson 1977; Günay vd. 1982). Beydağları formasyonu Tekkeköy üyesi tabanında stratigrafik boşluk bulunur. Tekkeköy üyesi Beydağları formasyonunun Senomaniyen yaşlı neritik kireçtaşları üzerinde uyumsuz olarak yer almaktadır. Aynı birim üstte Daniyen yaşlı kayalarla geçişli durumdadır. Birim araştırma alanında yaklaşık 1600 metre kalınlıkta yüzeylenir. Tekkeköy üyesi Senoniyen yaşlıdır. Sığ Karbonat şelf ortamında çökelen Beydağları formasyonunun Senoniyen yaşlı Tekkeköy üyesi, derin şelf-açık deniz veya yamaç ortamında çökelmem göstermiştir.



Şekil 2.4. Çalışma alanı formasyon haritası (1997 Şenel'den uyarlanmıştır)

### 2.3.3. Küçükköy formasyonu (Tek)

Kalkarenit, kumtaşı, kıltaşı vb. kayatürlerinden oluşan birim, Poisson (1977) tarafından isimlendirilmiştir. İnceleme alanındaki Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı kayaçların (Söbütepe fm.) bir bölümü kayatürü benzerliği nedeniyle Küçükköy formasyonundan ayırt edilememiştir.

Birim ince-orta-kalın tabakalı, bej, gri, yeşilimsi gri, pembe, kirli sarı, kirli beyaz renklerde kalkarenit; kalsirudit, killi kireçtaşı, kumtaşı, kıltaşı, marn ve konglomeralardan oluşmaktadır. Çalışma alanı güneyinde kalkarenit, kalsirudit ve kumlu-killi kireçtaşları egemen kayatürünü oluşturur. Birimde kuzeye doğru, ince taneli kırıntılıların oranı giderek artmaktadır. Genelde kalsitürbidit ve kumlu kireçtaşı ara düzeyli kıltaşı, siltaşı, marn, killi kireçtaşı ve az oranda da kumtaşları kapsamaktadır. Kalsitürbidit ve kumlu kireçtaşlarında yer yer nümmülit yığılımları görülmektedir.

Karabayır formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülen Küçükköy formasyonu, yanal yönde güney ve güney batıdaki Susuzdağ formasyonuna geçer. Kalınlığı yaklaşık olarak 500 metredir. Üst Lütesiyen-Priaboniyen yaşlı olan birim, yamaç-havza ortamında çökelim göstermiştir.

### 2.3.4. Tilki Deliğitepe formasyonu (Trt)

Resifal kireçtaşı blok ve mercekli marnlardan oluşan birim, Poisson (1977) tarafından isimlendirilmiştir.

Masif, yersel kalın-orta-ince tabakalı, kirli sarı, bej, krem, yeşilimsi gri, açık kahve renkli marnlardan oluşan formasyon içinde yer yer değişik boyutta resifal kireçtaşı (Kireçtaşı üyesi) mercek ve blokları bulunmaktadır. Marnlar içinde yer yer Halobia kavkı izlerine rastlanır.

### 2.3.5. Dereköy radyolariti (JKd)

Radyolarit, çört ve şeyllerden oluşan birim, Marcoux (1977) tarafından isimlendirilmiştir. Yanal yönde Yeniceboğazıdere formasyonu ile giriklik göstermektedir.

Birim ince-orta tabakalı, yeşil, yeşilimsi gri, kirli sarı, açık kahve, yerse) pembe, gri, kırmızı vb renklerde radyolarit, çört ve şeyllerden oluşur. Birim içinde seyrek olarak bitümlü şeyi ve kalsitürbidit mercekleri bulunmaktadır.

Üstte Keçili formasyonu ile olası uyumlu olan Dereköy radyolariti yaklaşık 700 metre kalınlık göstermektedir. Radyolaria dışında form saptanamayan birim, stratigrafik konumuna göre Jura-Kretase yaşlı kabul edilmektedir. Dereköy radyolariti havza ortamında, karbonat erime sınırı altında çökelim göstermiştir.



Keçili formasyonu Çataltepe napındaki Dereköy radyolaritini ve Yeniceboğazıdere formasyonunu olası uyumlu olarak örtmektedir. Tabanında kırmızı, pembe, yeşil, gri, kirli sarı renkli mikrit, çörtlü mikrit, radyolarit, çört, şeyi ve kalsitürbiditler bulunmaktadır. Üstte ofiyolit kırıntılı kumtaşı, kiltası, siltaşı, marn kumlu-killi kireçtaşları yer alır. Daha üst kısım Antalya naplarına ait olistolitler içeren olistostrom seviyesi ile sonlanmaktadır.

Birim Alakırçay napını oluşturan yapısal birimler üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır. Tabanında bazı alanlarda bol ofiyolit kırıntılı kumtaşı, konglomera, siltaşı, bazı alanlarda ise kalsitürbidit ara seviyeli çörtlü mikrit ve mikritler (Narlı üyesi) yer alır. Birimin kırıntılı kayaları içinde Antalya napına ait değişik boyutta olistolitler bulunmaktadır. Bazı alanlarda, monojenik (salt serpantinit veya volkanit gibi) konglomera seviyeleri belirgin kalın düzeyler oluşturmuştur. Yer yer mikrit, kalsitürbidit ve killi-kumlu kireçtaşı bant ve mercekleri içermektedir.

Tahtalıdağ napında, bazı alanlarda kalsitürbiditler (Breş üyesi), bazı alanlarda kalsitürbidit araseviyeli marnlar, bazen de polijenik konglomeralarla başlamaktadır. Üstte bloklu fliş niteliğinde bulunur. Tekirova ofiyolit napını oluşturan Kırkdirek formasyonu ve Tekirova ofiyoliti üzerinde bol ofiyolit malzemeli kırıntılılarla başlamaktadır. Yer yer salt diyabaz, gabro, serpantinit veya peridotit çakıllarından oluşan monojenik düzeyli haldedir.

Keçili formasyonu bol ofiyolit kırıntısı ve olistolitler içermesiyle tanınmaktadır. Sinsedimenter kıvrımlanma, faylanma ve ekaylanma gibi yapılar ile sık kanal dolguları kapsamaktadır.

### **2.3.7. Tesbihli formasyonu (Trat)**

Tabakalı çörtlerden oluşan formasyon, Kalafatçioğlu (1973) tarafından isimlendirilmiştir.

Alakırçay napının her iki istifinde (Kumluca ve Alakırçay birimleri) yaygın olarak bulunan Tesbihli formasyonu (Şekil 6.K, L), yer yer Tahtalıdağ napında da görülmektedir (Şekil 6.M).

Genelde Alakırçay grubunun tabanını oluşturan birimin, Kumluca biriminin tipik formasyonu olan Jura-Kretase yaşlı Baltık formasyonundan ayırt etmek zordur.

Birim, ince-orta tabakalı, çoğun kızıl, kızıl kahve, yersel yeşil, gri, kirli sarı, mavi, siyah renkli radyolarit, çört ve şeylerden oluşmaktadır. Daonellalı oluşları ile tanınan formasyonda, yer yer Halobia kavkı (Şenel 1986) izleri de görülebilmektedir. Birimin tabanında çörtlü kireçtaşı veya kalsitürbiditler görülür. Bazı alanlarda sinsedimenter kıvrımlı yapıdadır. Birim içinde seyrek de olsa bitümlü şeyl seviyeleri olağan durumdadır. Ender olarak diyabaz daykları ile kesilmiştir.

Birim yanal ve düşey yönde Gökdere, Çandır ve Karadere formasyonları ile giriklik göstermektedir. Kalınlığı 20-70 metre arasında değişmektedir. Ladiniyen yaşlı

olan birim, volkanizmanın zaman zaman etkin olduğu havza ortamında çökelim göstermiştir.

### 2.3.8. Gökdere formasyonu (Trag)

Plaket görünümlü, mikrit ve çörtlü mikritlerden oluşan formasyon, Kalafatçoğlu tarafından isimlendirilmiştir. Alakırçay napında yaygın olarak bulunmaktadır. Tahtalıdağ napında Üst Aniziyen-Noriyen, çoğunlukla Gökdere formasyonu ile temsil edilmektedir.

Gökdere formasyonu ince-orta tabakalı, bej, krem, gri, açık gri renkli plaket görünümlü, çoğun çört yumrulu, bol radyolaryalı, mikritik dokulu, yersel halobialı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birim içinde kalkarenit, şeyi, tüfit vb. seviyeler görülür. Gökdere formasyonu içinde yer yer ammonitico-rosso fasiyesinde (hallstatt fasiyesi) ammonith kırmızı renkli kireçtaşları bulunmaktadır. Formasyon seyrek olarak diyabaz daykalan ile kesilmiştir.

Birim yanal ve düşey yönde Tesbihli formasyonu, Çandır ve Karadere formasyonları ile girik durumdadır. Tahtalıdağ napında birim üstten Tekedağı formasyonu ile geçişlidir. Kalınlığı 10- 350 metre arasında değişen birimin yaşı Üst Aniziyen-Noriyen kabul edilmektedir. Birim volkanizmanın etkin olduğu duraysız havza ortamında çökelim göstermiştir.

### 2.3.9. Çandır formasyonu (Traç)

Bitkili kumtaşı ve şeylerden oluşan formasyon, Kalafatçoğlu (1973) tarafından isimlendirilmiştir. Alakırçay napının her iki istifinde de bulunmaktadır (Şekil 6.K,L). Çandır formasyonu, Alakırçay grubundaki diğer formasyonlardan daha geniş alanlarda yüzeylenmektedir.

Birim ince-orta kalın tabakalı, gri, açık gri, yeşil, sarımsı kahve renklerde kumtaşı, silttaşı ve kilttaşlarından oluşmaktadır. Yer yer, bazik volkanit, konglomera, kireçtaşı, killi-kumlu kireçtaşı bant ve mercikleri kapsamaktadır. Kumtaşları bol volkanik eleman içermektedir. Orta-iyi boylanmalı, derecelenmeli ve akıntı yapılıdır. Silt ve kilttaşları bazı alanlarda yapraklanma geçirmiş ve şeyi görünümü almış durumdadır. Kumtaşlarında bol bitki kırıntıları ile yer yer silisifiye tüp (Torlessia) yığılımları görülmektedir. Seyrek diyabaz daykalanları ile kesilmektedir.

Formasyon yanal ve düşey yönde Gökdere, Tesbihli ve Karadere formasyonu ile girik durumdadır. Kalınlığı 150-450 metre arasında değişmektedir. Üst Aniziyen-Noriyen yaşlı kabul edile birim, volkanizmanın ve türbidit akıntılarının etkin olduğu havza ortamında çökelim göstermiştir.

### 2.3.10. Karadere formasyonu (TRak)

Bazik volkanitlerle temsil edilen formasyon, Juteau ve Marcoux (1973) tarafından isimlendirilmiştir.

Birim koyu kahve, koyu yeşil, yeşilimsi siyah, kızıl renkli, yastık yapılı alkale özelliğe (Juteau 1975) bazalt, spilit ve spilitleşmiş bazaltlardan oluşmaktadır. Yer yer

tabakalı çört, mikrit, şeyller ile seyrek aglomera ve tüfler kapsamaktadır. Yersel diyabaz dayıklıdır. Formasyonun egemen kayatürünü oluşturan bazaltlar, plajioklas/andezin, ojit ve titanlı olivin minerallerinden oluşmaktadır. Az miktarda titano-magnetit ve losit içermektedir.

Karadere formasyonu yanal ve düşey yönde Tesbihli, Gökdere ve Çandır formasyonları ile girik durumdadır. Birim, bazen Resiyen-Senomaniyen yaşlı Tekedağı formasyonu tarafından uyumlu olarak örtülmektedir. Kalınlığı 0-700 metre arasında değişim gösterir.

Stratigrafik konumuna göre birim, Ladiniyen-Noriyen yaşlıdır. Karadere formasyonu, Aniziyen sonu, Ladiniyen başı platformun parçalanması sonucu açılmaya (rifleşmeye) bağlı olarak gelişmiştir. Volkanizma Noriye sonlarına kadar devam etmiştir.

Alakırçay grubu üstte genelde Üst Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı Keçili formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir.

### **2.3.11. Tekedağı formasyonu (JKt)**

Neritik kireçtaşlarından oluşan formasyon, Şenel vd. (1981) tarafından isimlendirilmiştir.

Birim, orta-kalın tabakalı, bej, krem, kirli sarı, açık gri, açık kahve, yersel pembe, kirli beyaz renkli neritik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bazı alanlarda altta dolomitler veya megalodonlu ve mercanlı kireçtaşları kapsamaktadır. Üstte dolomit ve dolomitik kireçtaşı seviyeleri görülür. Birimin Malm yaşlı kireçtaşlarında oolitik kireçtaşları belirgin durumdadır. Alt Kretase kayalarında yer yer ince bitümlü laminalı seviyeler veya kıymıksı ayrılmalı kireçtaşları görülmektedir. Üstte rudistli kireçtaşları ve kristalize kireçtaşları yaygın durumdadır.

Formasyon, altta genelde Gökdere formasyonu ile geçişli, seyrek olarak da Karadere formasyonu ile uyumlu durumdadır. Üstte Keçili formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Yaklaşık 1200 metre kalınlık göstermektedir. Resiyen-Senomaniyen yaşlı olan birim, kıyı ötesi platformlarda çökelim göstermiştir.

### **2.3.12. Kırkdirek formasyonu (Kkm)**

Şenel vd. (1981) tarafından isimlendirilen birim, ofiyolitli karmaşıktır.

Serpantinit bir hamur içinde, değişik boyutta halobialı kireçtaşı, bitkili kumtaşı, şeyi, tabakalı çört, radyolarit, bazik volkanit, Jura-Kretase yaşlı neritik kireçtaşı, gabro, diyabaz, amfibolit vb. bloklar kapsamaktadır. Formasyonun içindeki bazı büyük çaptaki gabrolar (g) haritalanmıştır. Bazen formasyonuna ait dilimler de içermektedir. Ancak Keçili formasyonu, birim üzerinde bazı alanlarda uyumsuz olarak da görülebilmektedir.

Antalya napları arasında değişik boyutta tektonik dilimler halinde bulunmaktadır. Kalınlığı 0-600 metre arasında değişmektedir. Ofiyolit napının kıtasal kabuk üzerine yerleşimine bağlı olarak Üst Senoniyen'de gelişmiş bir formasyondur.



### 2.3.13. Yamaç molozu ve birikinti konileri (Qym)

Dağ yamaç ve eteklerinde bulunmaktadır. Çoğunlukla kireçtaşı elemanlı yapıdadır. Yer yer tutturulmuş yer yer ise gevşek durumdadır.

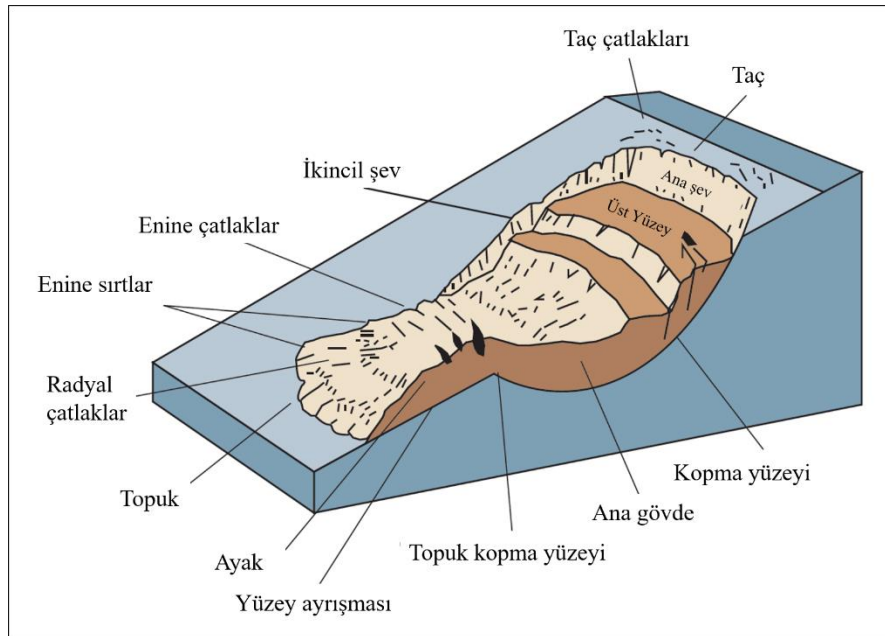
### 2.3.14. Alüvyon (Qal)

Günümüz dere ve çay yataklarında ince şeritler halinde, ovalarda geniş alanlar halinde bulunmaktadır. Değişik boyutta blok, çakıl, kum ve çamur depolanmasından oluşmaktadır.

Bölge Tektonizması: Üst Kampanyen-Maastrichtiyenide bir araya gelmiş olan napların (alttan üstte doğru Çataltepe napı, Alakırçay napı, Tahtalıdağ napı ve Tekirova ofiyolit napı), Daniyen'de Beydağları otoktonu üzerine yerleşmiştir. Alt Langiyen'de kuzeybatı ve/veya kuzeyden kaynaklanan Likya napları altlarına Yeşilbarak napını da alarak Beydağları otoktonu üzerine yerleşmiştir. Eosen sonu yatay hareketlerden de etkilenmiş olan Antalya napları, Langiyen'de doğudan batıya doğru tekrar ekaylanmıştır. Orta Miyosen sonrası, olası Pliyosen'de bölgede büyük çapta eğim atımlı normal (aylar ve düşey atımlı normal (aylar gelişmiş ve bu kırılmalara bağlı olarak bölgede, büyük çapta çöküntü alanları ve yükselti gelişmiştir.

## 2.4. Heyelan Envanteri

“Heyelan” terimi; kaya, toprak, yapay dolgu veya bunların bir kombinasyonu dahil olmak üzere yamaç oluşturan malzemelerin aşağı ve dışa doğru hareketine neden olan çok çeşitli süreçleri açıklamaktadır. Materyaller düşme, devrilme, kayma, yayılma veya akma ile hareket edebilir. Şekil 7, özelliklerini tanımlayan yaygın olarak kabul edilen terminolojiyle, bir heyelanın bir grafik resmini göstermektedir.



Şekil 2.6. Heyelan ve bölümleri (Varnes 1978)

Çeşitli heyelan türleri, dahil olan malzeme türleri ve hareket tarzı ile ayırt edilebilir. Bu parametrelere dayanan bir sınıflandırma sistemi Çizelge 1’de gösterilmiştir (Varnes 1978). Diğer sınıflandırma sistemleri, hareket hızı ve heyelan malzemesinin su, hava veya buz içeriği gibi ilave değişkenleri içermektedir.

**Çizelge 2.1.** Heyelan türleri (Varnes 1978)

HAREKET TÜRÜ		MATERYAL TÜRÜ		
		ANA KAYA	MÜHENDİSLİK TOPRAKLARI	
			<i>Genelde kaba</i>	<i>Genelde iyi</i>
DÜŞMELER		Kaya düşmesi	Moloz düşmesi	Toprak düşmesi
DEVRİLMELER		Kaya devrilmesi	Moloz devrilmesi	Toprak devrilmesi
KAYMALAR	ROTASTONEL	Kaya kayması	Moloz kayması	Toprak kayması
	TRANSLASYONEL			
YANAL YAYILMA		Kaya yayılması	Moloz yayılması	Toprak yayılması
AKMALAR		Kaya akması (derin kayma)	Moloz akması (toprak kayması)	Toprak akması (toprak kayması)
KARMAŞIK		İkiden fazla ana hareket türünün kombinasyonu		

Toprak kaymaları öncelikli olarak dağlık bölgelerle ilişkili olsa bile, yükselikliği düşük bölgelerde de meydana gelebilmektedir. Düşük yükseklığe sahip alanlarda toprak kayması; kesik ve dolgu arızaları (karayolu ve bina kazıları), nehir blöf hataları, yanal yayılan heyelanlar, maden atık yığınlarının çökmesi (özellikle kömür), açık ocak mayınları ve taş ocakları ile ilgili çok çeşitli eğim hataları sonucunda oluşmaktadır. En yaygın heyelan türleri Şekil 8’te gösterilmiştir.

#### 2.4.1. Heyelan Türleri

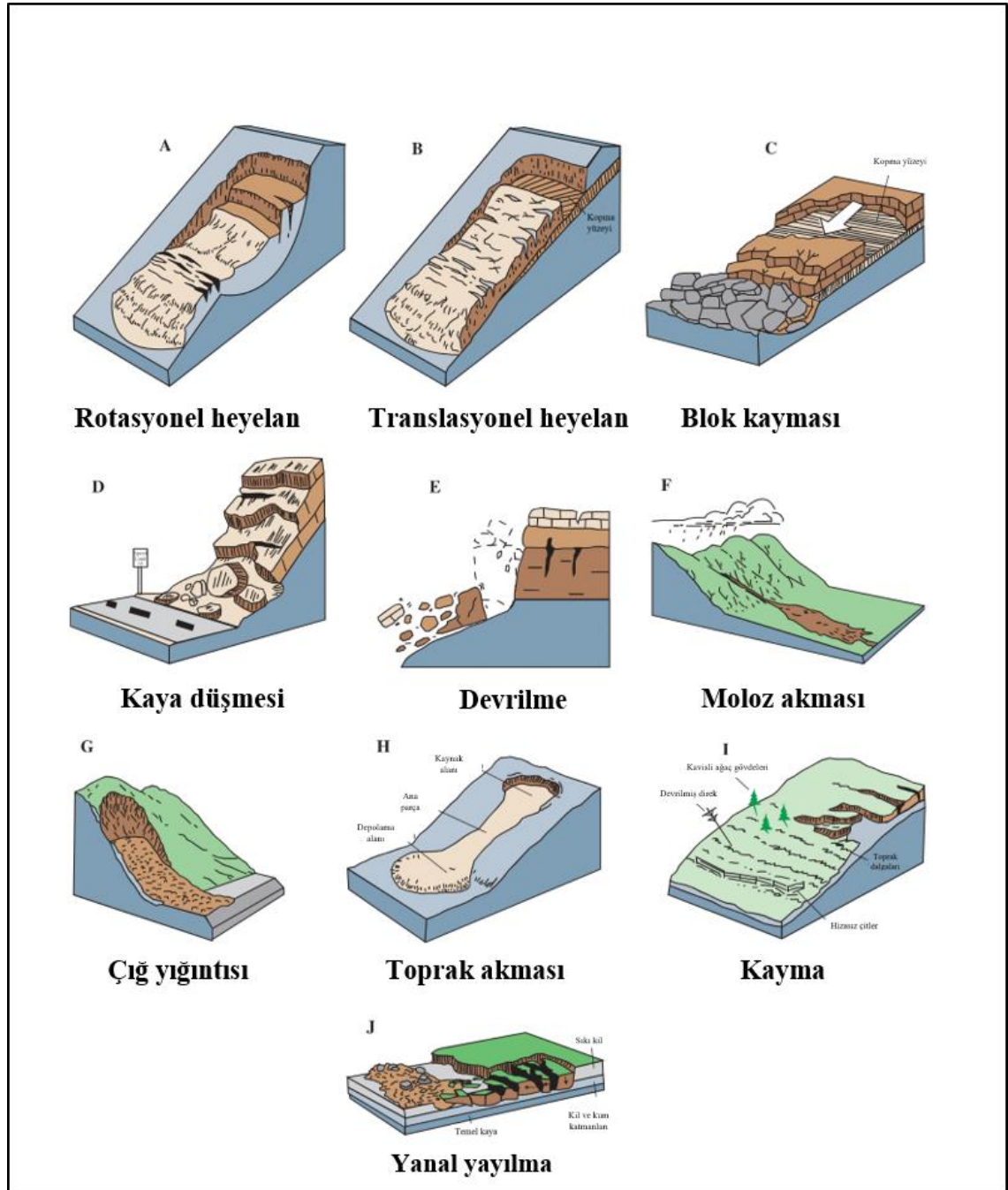
Varnes (1978)’e göre hazırlanmış sınıflandırmanın alt başlıklarında yer alan heyelan türlerine ait bilgiler aşağıda yer almaktadır.

**Kaymalar:** Genel olarak “heyelan” terimine birçok türde kitlesel hareket dahil edilmiştir. Terimin daha kısıtlayıcı kullanımı, yalnızca kaygan malzemeyi daha stabil altta yatan materyalden ayıran ayrı bir zayıflık zonunun bulunduğu kitle hareketlerine atıfta bulunmaktadır. İki ana kayma türü, rotasyonel kaymalar ve translasyonel kaymalardır.

- *Rotasyonel kayma*: Bu kayma türü, kopma yüzeyinin konkavsal olarak yukarı doğru kıvrıldığı ve kayma hareketinin, zemine paralel olan ve kayma boyunca çapraz olan bir eksen etrafında kabaca dönmesi ile gerçekleşir (Şekil 2.7A).

- *Translasyonel kayma*: Heyelan kütlelerinin, az rotasyon veya geriye doğru eğim ile kabaca düzlemsel bir yüzey boyunca hareket ettiği kayma türüdür (Şekil 2.7B).

*Blok kayması*, hareketli kütlelerin, tek bir birimden veya aşağıya doğru nispeten tutarlı bir kütle olarak hareket eden birkaç yakın ilişkili birimden oluştuğu bir translasyonel kaydırma türüdür (Şekil 2.7C).



Şekil 2.7. Başlıca heyelan türleri (Varnes 1978)

**Düşmeler:** Dik yamaçlardan veya uçurumlardan ayrılan kaya ve kaya parçaları gibi malzemelerin kitlesel hareketlerinden meydana gelmektedir (Şekil 2.7D). Ayrılma, kırıklar, eklemler ve yatak düzlemleri gibi süreksizlikler boyunca meydana gelerek; serbest düşüş, sıçrama ve yuvarlanma hareketlerini oluştururlar. Bu tip heyelanlar; yer çekiminden, mekanik hava koşullarından ve geçiş suyunun varlığından büyük ölçüde etkilenmektedirler.

**Devrilmeler:** Bir ünitenin veya birimlerin, birimdeki aşağı veya aşağıya doğru birkaç dönme noktasında, yerçekimi eylemleri ve bitişik birimler tarafından uygulanan kuvvetler veya çatlaklardaki akışkanlar (Şekil 2.7E) altında öne doğru döndürülmesiyle meydana gelir.

**Akmalara:** 5 temel akma türü bulunmaktadır.

- *Moloz akması:* Gevşek toprak, kaya, organik madde, hava ve suyun gibi malzemelerin kombinasyonunun, aşağıya doğru akan bir bulamaç olarak hareket ettiği hızlı bir kütle hareketi türüdür (Şekil 2.7F).

- *Çığ yığıntısı:* Bu tür, çok hızlı aktivite gösteren bir moloz birikintisi çeşitliliğidir (Şekil 8G).

- *Toprak akması:* Toprak akışları karakteristik bir “kum saati” şekline sahiptir (Şekil 8H). Eğim materyali sıvılaşır ve dışarı doğru akar, tepe kısmında bir çöküntü oluşturur.

- *Çamur akıntısı:* Hızla akacak kadar ıslak ve en az % 50 kum, silt ve kil büyüklüğünde parçacıklar içeren çamurlu bir malzemeden oluşan akış türüdür.

- *Kayma/akma:* Eğim oluşturan toprağın veya kayaların algılanamayan yavaş, sabit, aşağı doğru hareketidir. Hareket, kalıcı deformasyon üretmeye yetecek kesme gerilmesinden kaynaklanır.

**Yanal yayılmalar:** Yanal yayılmalar ayırt edici özelliktedir, çünkü bunlar genellikle çok yumuşak eğimlerde veya düz arazilerde oluşurlar (Şekil 2.7J). Baskın hareket şekli, makaslama veya gerilme kırılmalarının eşlik ettiği yanal uzantıdır.

Bahsedilen yukarıdaki tiplerin iki veya daha fazlasının kombinasyonu karmaşık (kompleks) bir heyelan olarak bilinmektedir.

#### 2.4.2. Heyelan Nedenleri

Heyelan olayın meydana gelmesindeki nedenleri, ana başlıklar olarak jeolojik, morfolojik ve insandan kaynaklı olarak 3 sınıfta ayırt edebiliriz.

##### Jeolojik nedenler:

- Zayıf veya duyarlı malzemeler
- Yıpranmış malzemeler
- Makaslanmış, eklemli veya çatlak malzemeler
- Ters yönlü süreksizlik

- Malzemelerin geçirgenliğinde ve / veya sertliğinde kontrast

#### Morfolojik nedenler:

- Tektonik veya volkanik yükselme
- Eğik veya yanal kenarların dalga veya buzul erozyonu
- Yeraltı erozyonu (çözümleme, borulama)
- Birikim (depolama) yükleme eğimi veya tepesi
- Bitki örtüsü azalması/uzaklaşması (yangın, kuraklık)
- Donma, çözülme olayları

#### İnsandan kaynaklı nedenler:

- Yamaç düzensizliği
- Yamaç veya yamaç tepesine aşırı yüklenme
- Madeni rezervuarda düşüş/azalma
- Ormanların düzensiz kullanımı
- Aşırı sulama
- Madencilik faaliyetleri
- Yapay titreşimler

Çok sayıda heyelan nedeni olmasına rağmen, dünyanın dört bir yanındaki zarar verici heyelanların çoğuna neden olan üç tanesi şunlardır:

• **Heyelan ve su:** Su ile eğim doygunluğu, heyelanların temel nedenidir. Bu etki yoğun yağış, kar erimesi, yer altı su seviyelerindeki değişimler ve kıyı şeridi, toprak barajları ve göller, rezervuarlar, kanallar ve nehirler kıyılarındaki su seviyesi değişiklikleri şeklinde gerçekleşebilir.

Toprak kayması ve taşkınlar birbirleriyle yakından ilişkilidir, çünkü her ikisi de yağış, akıntı ve yeryuvarının su ile doyurulması ile ilgilidir. Ayrıca, moloz akışları ve çamur akışları genellikle küçük, dik akan kanallarda meydana gelir ve çoğu zaman taşkınlarla karıştırılır. Aslında bu iki olay genellikle aynı bölgede aynı anda meydana gelir.

Heyelanlar, vadileri ve akarsu kanallarını tıkayan heyelan barajları oluşturarak, büyük miktarlarda suyun yedeklenmesine izin vererek sele neden olabilir. Bu durum, su baskınlarına neden olur ve eğer baraj bozulursa, daha sonraki su baskınları meydana gelir.

Ayrıca, katı heyelan enkazları “dökme” yapabilir veya normal akışa hacim ve yoğunluk ekleyebilir veya kanal koşullarını veya bölgesel erozyona neden olan kanal tıkanıklıklarına ve sapmalara neden olabilir. Heyelanlar ayrıca, su depolamak için rezervuarların üst üste binmesine ve / veya rezervuarların kapasitesinin azalmasına da neden olabilir.

• **Heyelan ve sismik aktivite:** Heyelanlara karşı savunmasız olan birçok dağlık bölge, kaydedilen zamanlarda en azından orta derecede deprem olayları yaşadı. Dik toprak kaymasına eğilimli bölgelerde depremlerin meydana gelmesi, toprak sarsıntısının tek başına sallanmasından veya sallanmasına neden olarak toprak malzemelerinin

genişlemesine yol açması ihtimalini büyük ölçüde artırır, bu da suyun hızla sızmasını sağlar.

Dünya genelinde depremlerin meydana getirdiği can ve mal kayıpları oldukça fazladır. Ve depremlerin etkisinden kaynaklı bir diğer doğal tehlike oluşturan heyelanlar meydana gelebilmektedir.

- **Heyelan ve volkanik aktivite:** Volkanik aktiviteye bağlı olarak toprak kaymaları, en yıkıcı tiplerden bazılarıdır. Volkanik lav, hızlı bir şekilde karları eritebilir; kaya, toprak, kül ve volkanın dik yamaçlardan hızla hızlanan bir su baskınına neden olabilir.

Bu volkanik moloz akıntıları (aynı zamanda lahar olarak da bilinir) yanardağ eteklerini terk ettiklerinde büyük mesafelere ulaşır ve yanardağları çevreleyen düz alanlardaki yapılara zarar verebilir. Washington'daki St. Helens Dağı'nın (1980) patlaması; volkanın kuzey kanadında, kaydedilen son zamanlardaki en büyük heyelanlardan birinin meydana gelmesinde büyük bir etkisi olmuştur.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Materyal

Çalışmada, üç ana sınıfa ayrılacak şekilde toplamda 28 veri seti girdi parametresi olarak kullanıldı. Bunlar; Topografik parametreler, yakınlık parametreleri ve arazi örtüsü – litolojik parametrelerdir.

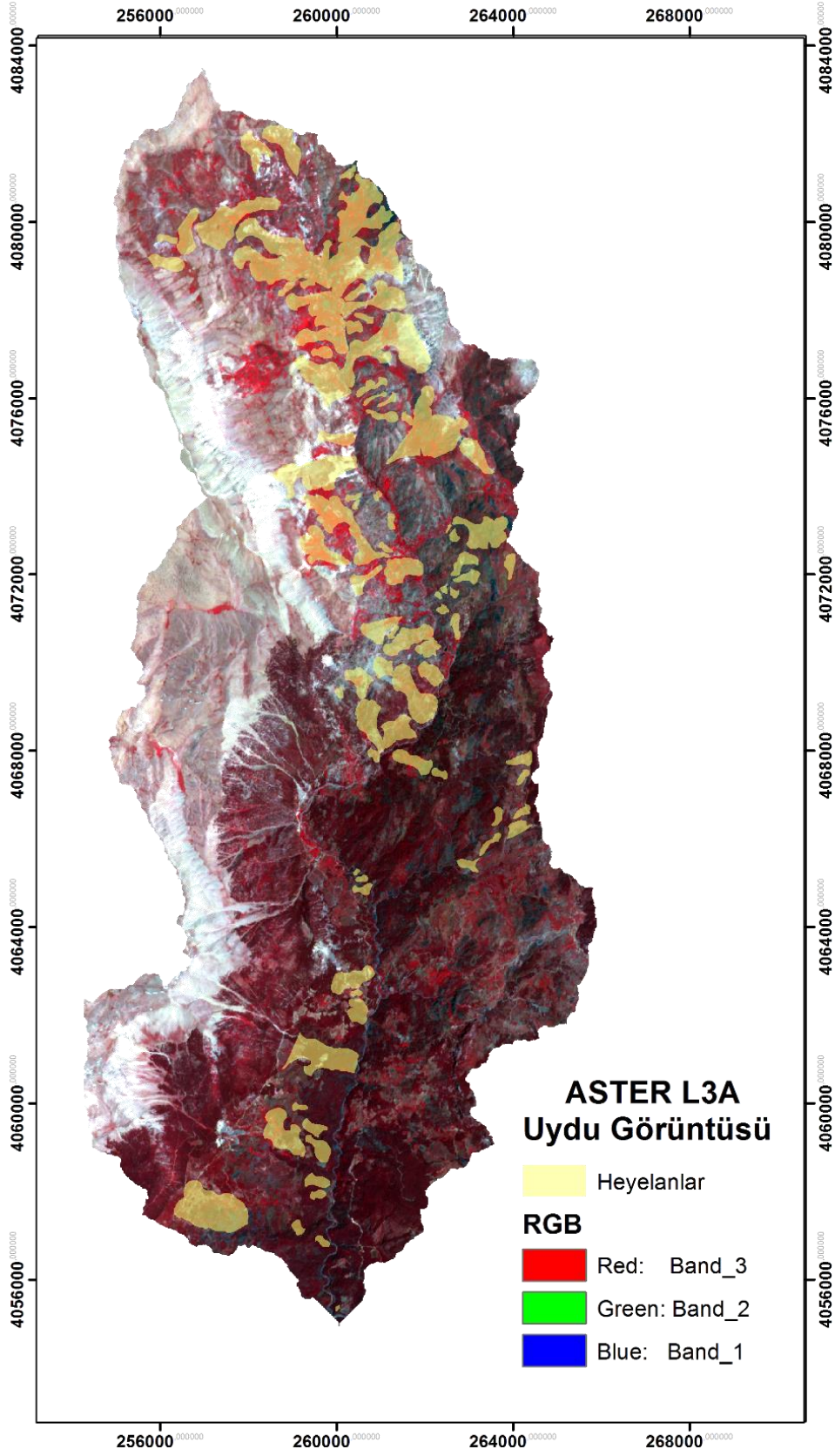
Hemen hemen bütün girdi parametreleri sayısal yükseklik modeli (SYM) türevleri olup, SYM dışındaki veriler ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) L3A uydu görüntüleriyle üretildi (Şekil 3.1).

ASTER verileri 3 farklı, görünür yakın kızılötesi (VNIR), kısa dalga kızılötesi (SWIR) ve termal kızılötesi (TIR) olarak adlandırılan elektromanyetik spektrum aralıklarını kapsamaktadır. Her biri farklı mekansal çözünürlüğe sahiptir (15 m, 30 m ve 90 m). Buna ek olarak L3A görseli 15 m, 30 m ve 90 m lik dijital yükseklik modeli piksel genişliklerine sahiptir (Yamaguchi vd. 1999; Abrams 2000).

Çalışmadaki en önemli veri kaynaklarından birisi de duyarlılık haritası üzerinde direk bir etkisi olan heyelan envanter haritalarıdır. Çalışma sırasında kullanılan heyelanlar; MTA (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü) heyelan envanter haritalarından (Duman vd. 2009) ve arazi çalışmalarından seçilmiştir (Şekil 3.1).

Varolan envanter haritaları üzerindeki heyelanlar, Varnes (1998) sınıflandırmasından baz alınan dört ana grup içerisinde kategorize edilmiştir. Bunlar; derin aktif kayma, derin aktif devrilme, derin aktif olmayan kayma ve yüzeysel kaymadır (Duman vd. 2005).

Çalışma alanında yer alan heyelanlar, genellikle *derin aktif rotasyonel heyelanlardan* oluşmaktadır. Heyelan duyarlılık analizleri için havza kapsamında seçilmiş olan 99 heyelan verisi, envanter haritalarından ve arazi gözlemlerinden tanımlanmıştır. Çalışma alanının yaklaşık olarak %12 lik bölümü, bu derin aktif kaymalar tarafından etkilenmiştir.



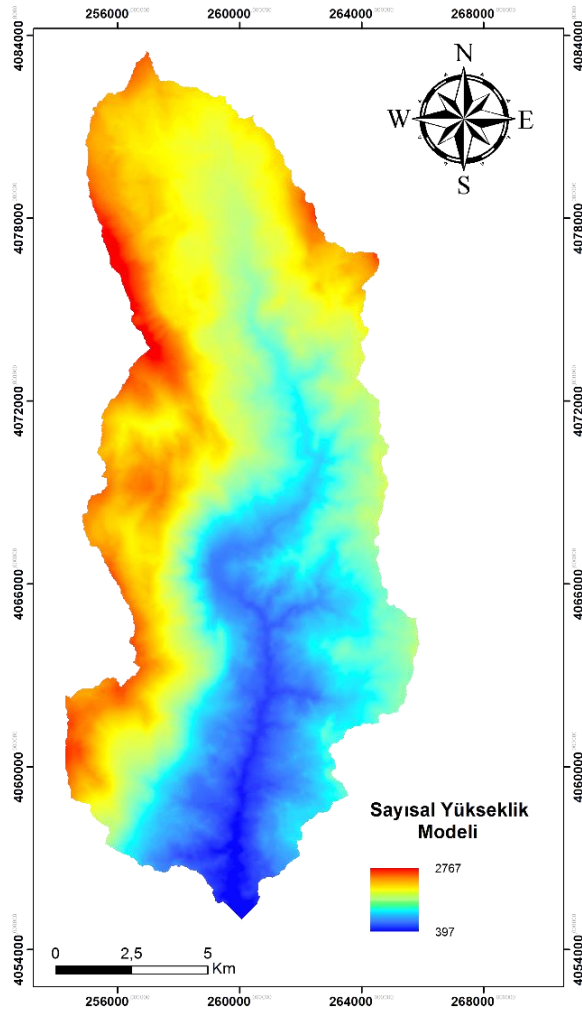
Şekil 3.1. Çalışma alanı ASTER L3A uydü görüntüsü (Yanlış renk kombinasyonu) ve mevcut heyelanlar



### 3.1.1. Topografik parametreler

Topografik parametreler, sayısal yükseklik modeli ve onun türevlerinden oluşturulmaktadır (örnek; eğim, bakı, yakınsama indeksi, plan ve profil eğrilik derecesi, LS faktörü ve Topografik Nemlilik indeksi (TWI)). Bu parametreler, temel girdi parametreleri olarak heyelan duyarlılık haritalarının üretimi için kullanılır (Gokceoglu ve Ercanoğlu 2001; Brenning 2005; Yao vd. 2008; Santini vd. 2009; Oh ve Pradhan 2011; Nefeslioglu vd. 2012; Pourghasemi vd. 2012; Pradhan 2013; San 2014).

ASTER NIR bantları için stereoskopik (üç boyutlu) bir görüntü üretebilir (San ve Süzen 2005) ve bu donanım Sayısal Yükselti Modeli (SYM) üretmek için kullanılabilir. ASTER L3A veri seti, SYM veri setlerinin 15m, 30 m ve 90m lik üç farklı piksel boyutunu kapsamaktadır (Abrams 2000). Çalışma boyunca 15 m piksel boyutlu SYM veri seti topografik parametrelerden birisi olarak kullanılmıştır. Çalışma bölgesinin maksimum ve minimum yüksekliği 389 m ve 2767 m dir ve Çizelge 3.2 sırasıyla girdi parametrelerinin minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerlerini göstermektedir. Şekil 3.2’de SYM parametresi, yüksek rakımlar için kırmızı ve düşük rakımlar için mavi renkte kullanılan gökkuşağı renk aralıklarında gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Sayısal yükseklik modeli (SYM) haritası

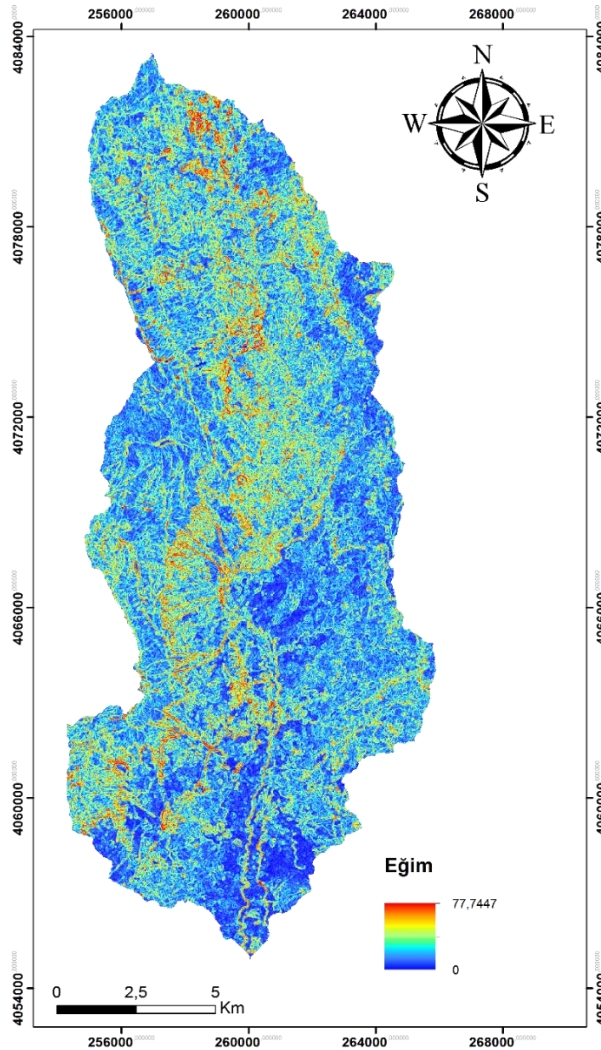
Diğer parametreler, (eğim, bakı, yakınsama indeksi, plan ve profil eğrilik derecesi, LS faktörü ve TWI) SAGA v.2.1.2. (System of Automated Geoscientific Analyses) yazılımı kullanılarak ASTER SYM verisinden oluşturulmuştur.

SYM nin öncelikli türevlerinden birisi olan eğim parametresi, diğer eğim hesaplamalarına göre daha kesin sonuçlar veren sonlu farklar yöntemi kullanılarak oluşturuldu (Wilson ve Gallant 2000). Aşağıdaki denklem (3.1) ile hesaplanmaktadır.

$$S_{FD} = \sqrt{\left(\frac{z_2 - z_6}{2h}\right)^2 + \left(\frac{z_8 - z_4}{2h}\right)^2} \quad (3.1)$$

Burada  $\beta$ , derece cinsinden eğim gradyanını ifade etmektedir.

Bu çalışma alanındaki eğim aralığı hesaplamalar sonucunda  $0^\circ$  ve  $77.45^\circ$  olarak bulundu (Çizelge 3.2). Heyelan alanlarındaki ortalama eğim verisi  $23.54^\circ$  olarak hesaplandı. Şekil 3.3, eğim değerlerinin mekansal dağılımlarını göstermektedir.

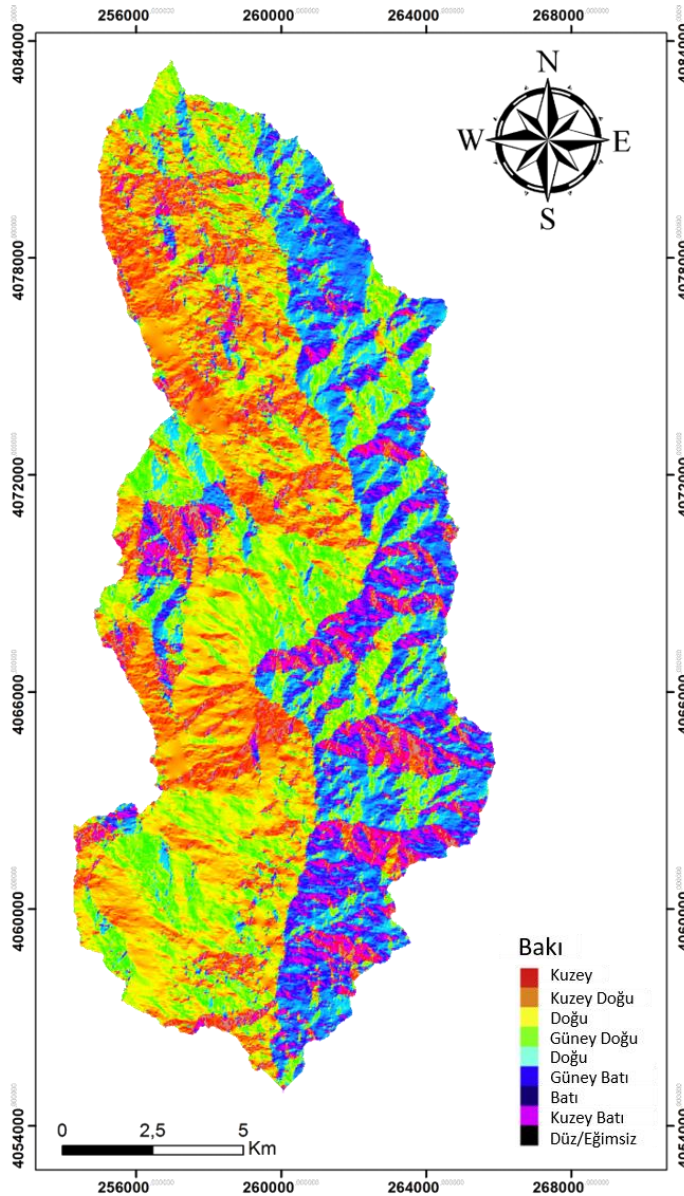


Şekil 3.3. Eğim haritası

SYM nin diğer birincil türevlerinden birisi de bakıdır. SAGA da sonlu farklar algoritması kullanarak hesaplaması gerçekleştirildi (Wilson ve Gallant 2000). Aşağıdaki denklem (3.2) ile hesaplanır.

$$\psi_{FD} = 180 - \arctan\left(\frac{\partial_z / \partial_y}{\partial_z / \partial_x}\right) + 90\left(\frac{\partial_z / \partial_x}{|\partial_z / \partial_x|}\right) \quad (3.2)$$

Bakı değerleri 0.0 dan 360.0 dereceye ve -1.0 bir alanda sınırlandırılmıştır. Bu, kuzey doğrultusundan saat yönündeki açı sapmasını ölçen eğimin yönünü bulmak için kullanılır. Buna ek olarak, -1 in değeri düz yüzeyleri işaret etmektedir. Çalışma arazisindeki ortalama bakı değeri 114.69° olarak bulunmuştur. Bu elde edilen değer, kategorik olmayan veri kaynağından gelen ham istatistiksel verilerdir.



Şekil 3.4. Bakı haritası

Şekil 3.4 çalışma alanındaki bakıyı göstermektedir. Bakının çoğunluğu 18 sınıftan hesaplanan doğu-güneydoğu (DGD) yönüne doğrudur. Heyelanlı bölgeler ve tohum hücreleri üzerindeki bakının çoğunluğu sırasıyla doğu-kuzeydoğu (DKD) ve güneydoğu yönleridir. Heyelan olmayan alanlar için, ana bakı yönü, doğu-kuzeydoğu (DKD) yönündedir (Çizelge 3.1).

**Çizelge 3.1.** Bakı sınıfları üzerindeki piksellerin yüzdesi

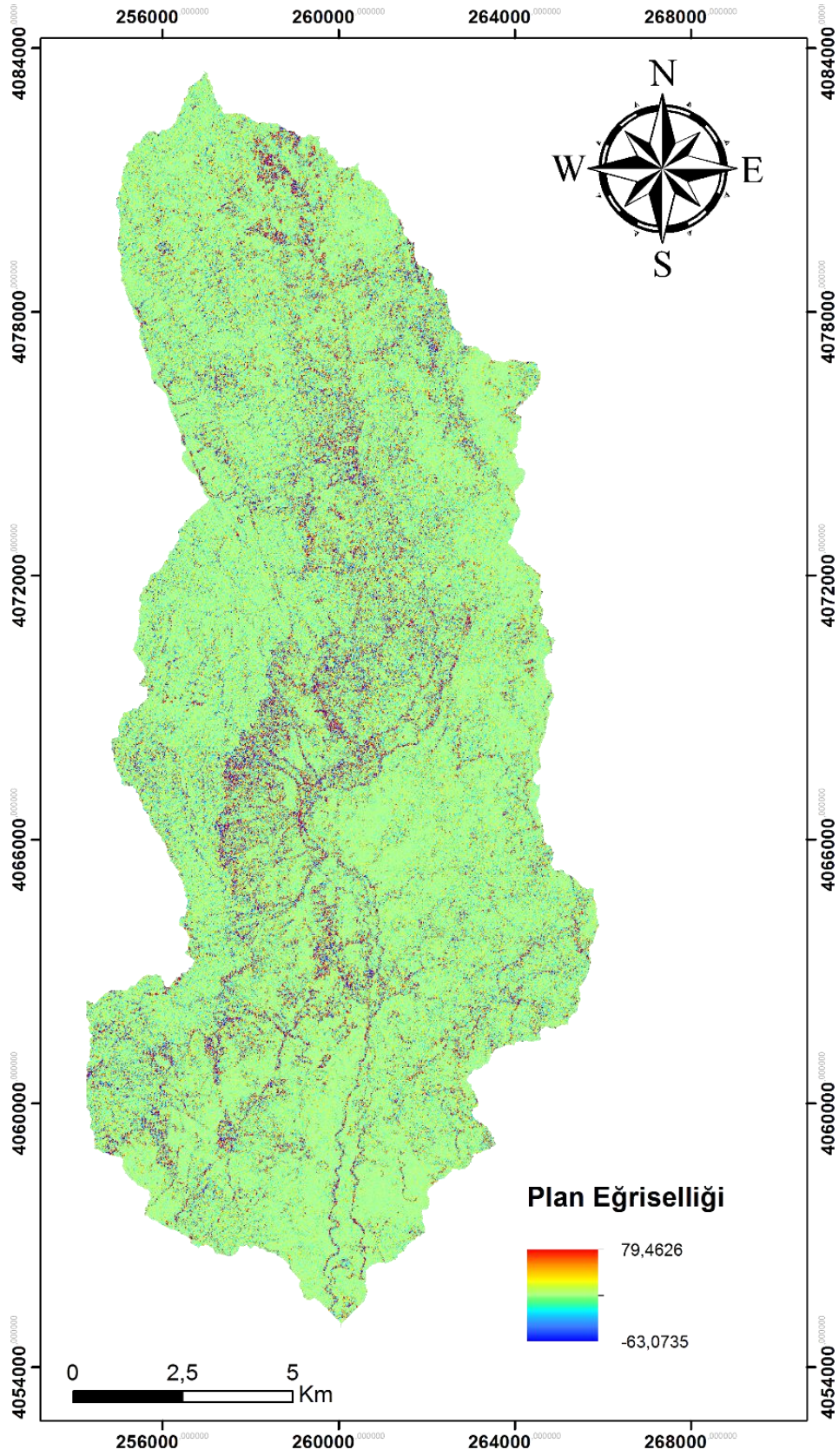
	K	KKD	KD	DKD	D	DGD	GD	GGD	G	GGB	GB	BGB	B	BKB	KB	KKB	Düzlük
Heyelanlı alanlar	1.9	3.2	4.5	7.6	9.3	10.8	8.3	8.2	6.5	7.2	9.0	10.0	6.0	3.7	2.2	1.8	0.0
Tohum hücre alanları	2.4	4.5	6.3	9.0	9.3	8.9	<b>15.1</b>	5.6	3.9	4.7	5.8	7.7	6.1	5.2	3.0	2.6	0.0
Heyelansız alanlar	2.7	5.1	8.9	<b>12.8</b>	10.9	9.5	9.0	7.4	5.3	5.2	5.0	6.1	4.7	2.8	2.2	2.4	0.1
Tüm çalışma alanı	2.4	4.9	7.6	<b>10.4</b>	9.4	9.4	9.2	8.1	6.0	6.1	6.5	8.0	5.5	2.9	1.8	1.9	0.1

Çalışma kapsamı ile ilgili diğer topografik parametreler de kontur çizgisi eğriliği ile eğim profilinin eğriliklerini sırasıyla gösteren plan ve profil eğrilikleridir (Wilson ve Gallant 2000). Plan eğriselliği denklemi (3.3) ve profil eğriselliği denklemi (3.4) aşağıda yer almaktadır.

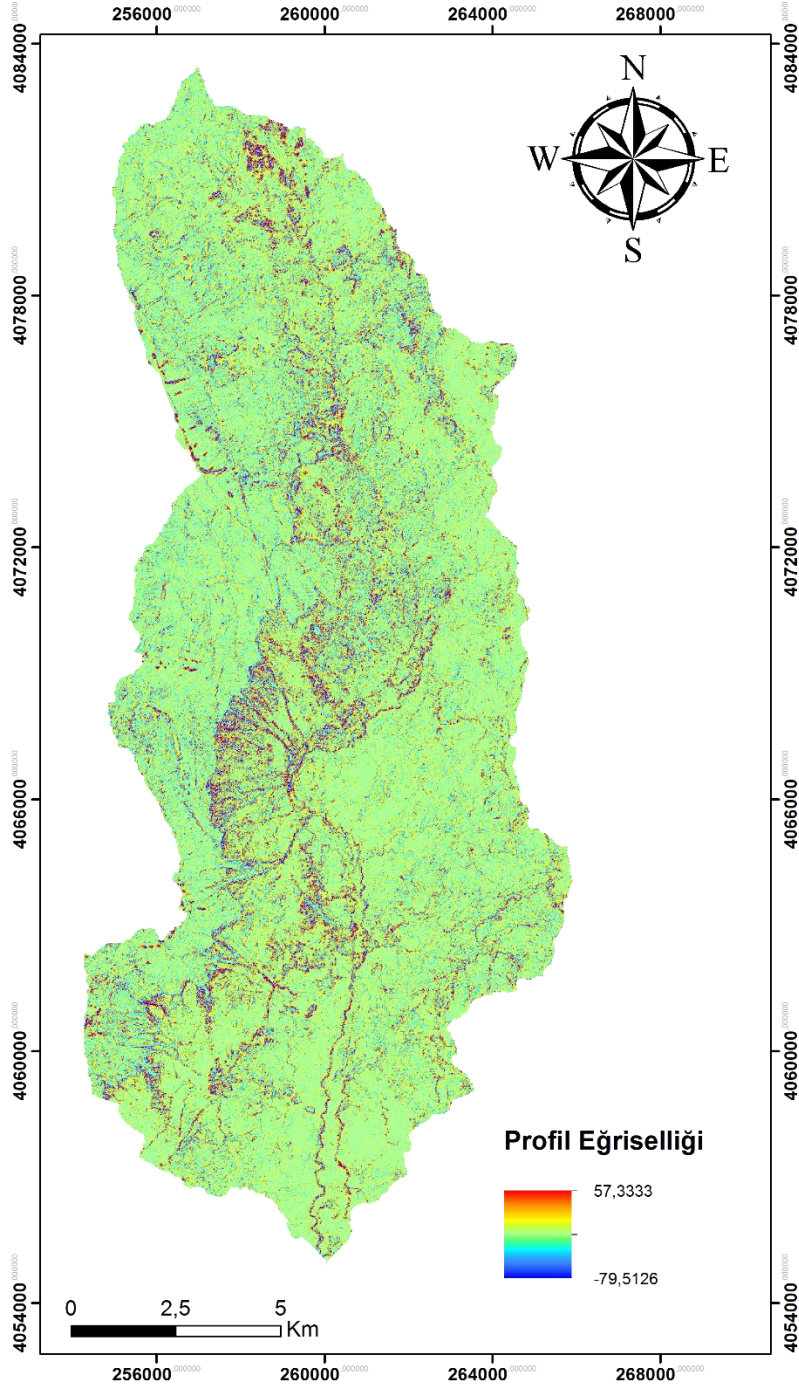
$$K_C = \frac{\partial_z^2 / \partial_x^2 (\partial_z / \partial_y)^2 - 2(\partial_z^2 / \partial_x \partial_y)(\partial_z / \partial_x)(\partial_z / \partial_y) + \partial_z^2 / \partial_y^2 (\partial_z / \partial_x)^2}{\left[ (\partial_z / \partial_x)^2 + (\partial_z / \partial_y)^2 \right]^{3/2}} \quad (3.3)$$

$$K_p = \frac{\partial_z^2 / \partial_x^2 (\partial_z / \partial_y)^2 + 2(\partial_z^2 / \partial_x \partial_y)(\partial_z / \partial_x)(\partial_z / \partial_y) + \partial_z^2 / \partial_y^2 (\partial_z / \partial_x)^2}{\left[ (\partial_z / \partial_x)^2 + (\partial_z / \partial_y)^2 \right] \left[ (\partial_z / \partial_x)^2 + (\partial_z / \partial_y)^2 + 1 \right]^{3/2}} \quad (3.4)$$

Plan eğriliği su akış yönünü etkiler. Eğer plan eğriliği yakınsak ise suyun birikimi artar; eğer plan eğriliği ıraksak ise suyun birikimi azalır. Plan eğriliği sırasıyla konkavlığın ve konveksliğin negatif ve pozitif değerlerini göstermekle birlikte, eğim yüzünün konveksliğini ve konkavlığını göstermektedir. Şekil 3.5 ve 3.6, plan ve profil eğriliklerini sırasıyla göstermektedir. Çizelge 3.2, plan ve profil eğriliklerinin tanımlayıcı istatistiklerini göstermektedir.

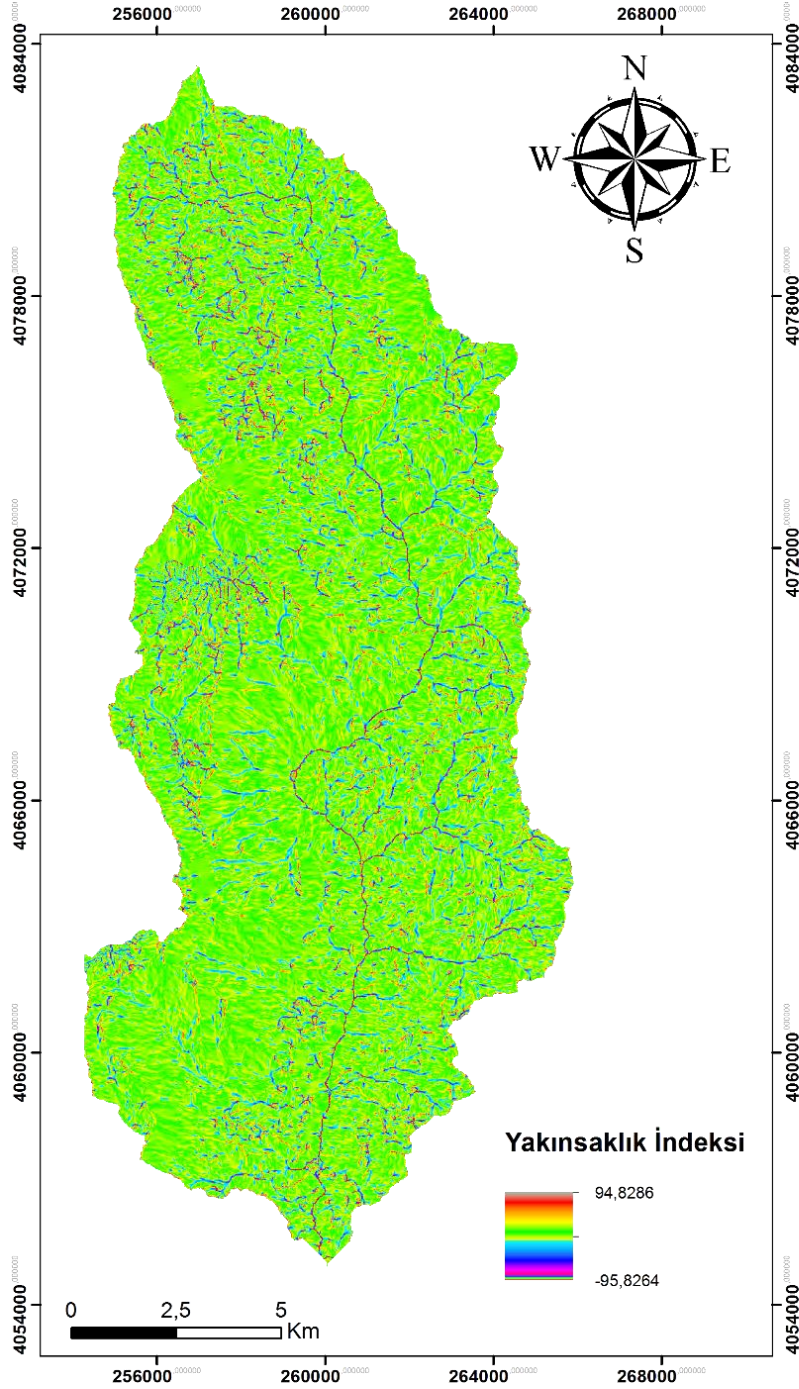


Şekil 3.5. Plan eğriselliği haritası



**Şekil 3.6.** Profil eğriselliği haritası

Bir diğer birincil SYM türevi olan yakınsama indeksi, eğim indekslerinin sanal değerlendirilmesi için kullanılmaktadır (Olaya 2004; Kiss 2014). Yakınsama indeksinin bileşke piksel indeksi değerleri, pikselin ıraksak veya yakınsak olduğunu göstermektedir. Negatif bir piksel değeri yakınsak pikselleri işaret etmektedir. Yakınsama indeksi Şekil 3.7’de görülmektedir ve tanımlayıcı istatistikleri de Çizelge 3.2’de yer almaktadır.



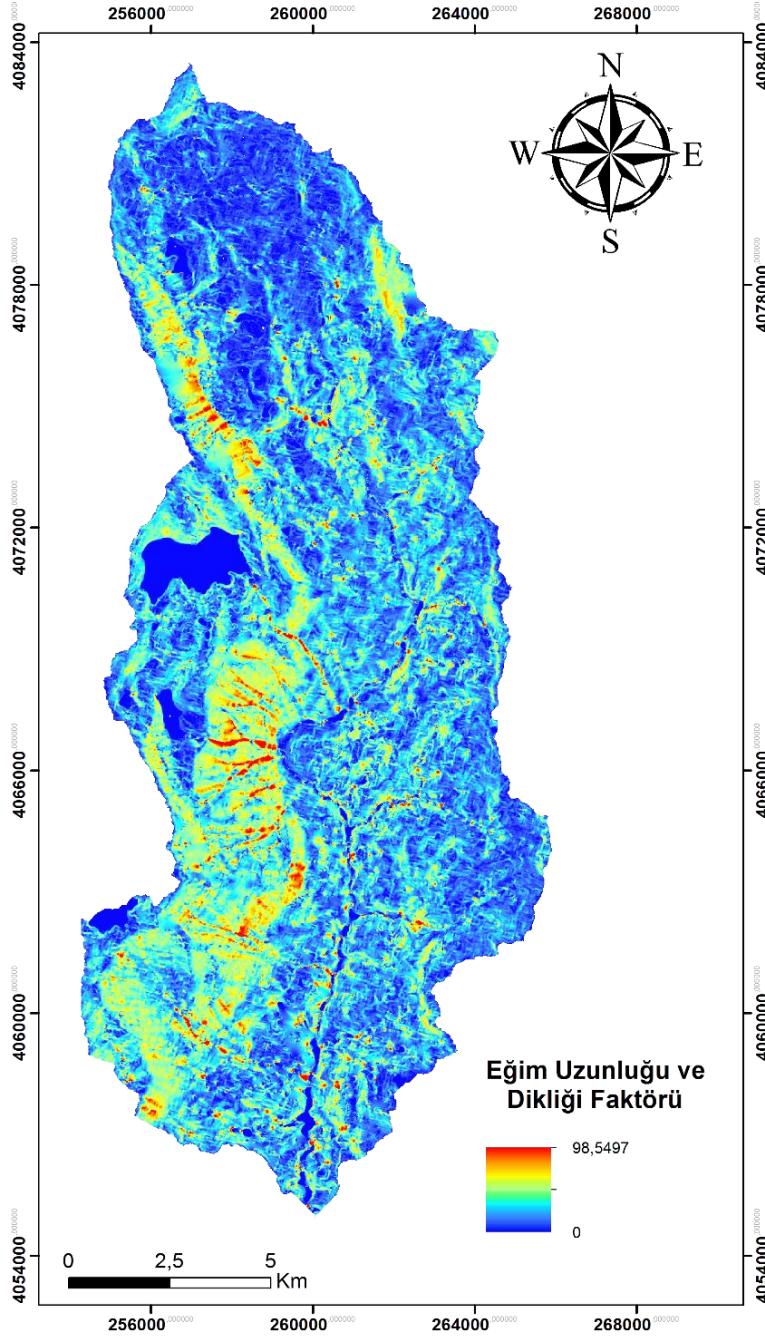
Şekil 3.7. Yakınsama indeksi haritası

İkincil SYM türevleri, (örnek; LS faktörü ve TWI) SAGA yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Eğim uzunluğu ve dikliği faktörü (LS faktörü), Düzenlenmiş Evrensel Zemin Kaybı Denklemi (RUSLE) içerisinde sediman taşıma kapasitesi indeksinin mekansal dağılımı ile ilişkilidir (Moore ve Wilson 1992). Aşağıdaki denklem (3.5) ile hesaplanmaktadır.

$$Ls = (m + 1) \left( \frac{A_s}{22.13} \right)^m \left( \frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^n \quad (3.5)$$

Burada  $A_s$ , özel havza alanını temsil etmektedir.  $\beta$ , eğim gradyanıdır.  $m$  ve  $n$  değerleri, Moore ve Wilson tarafından 0.4 ve 1.3 olarak verilmiştir (Wilson ve Gallant 2000).

Çizelge 3.2, LS faktörü parametrelerinin istatistiklerini sunmaktadır. Şekil 3.8’de eğim uzunluğu ve dikliği faktörüne ait harita yer almaktadır.



Şekil 3.8. Eğim uzunluğu ve dikliği faktörü haritası



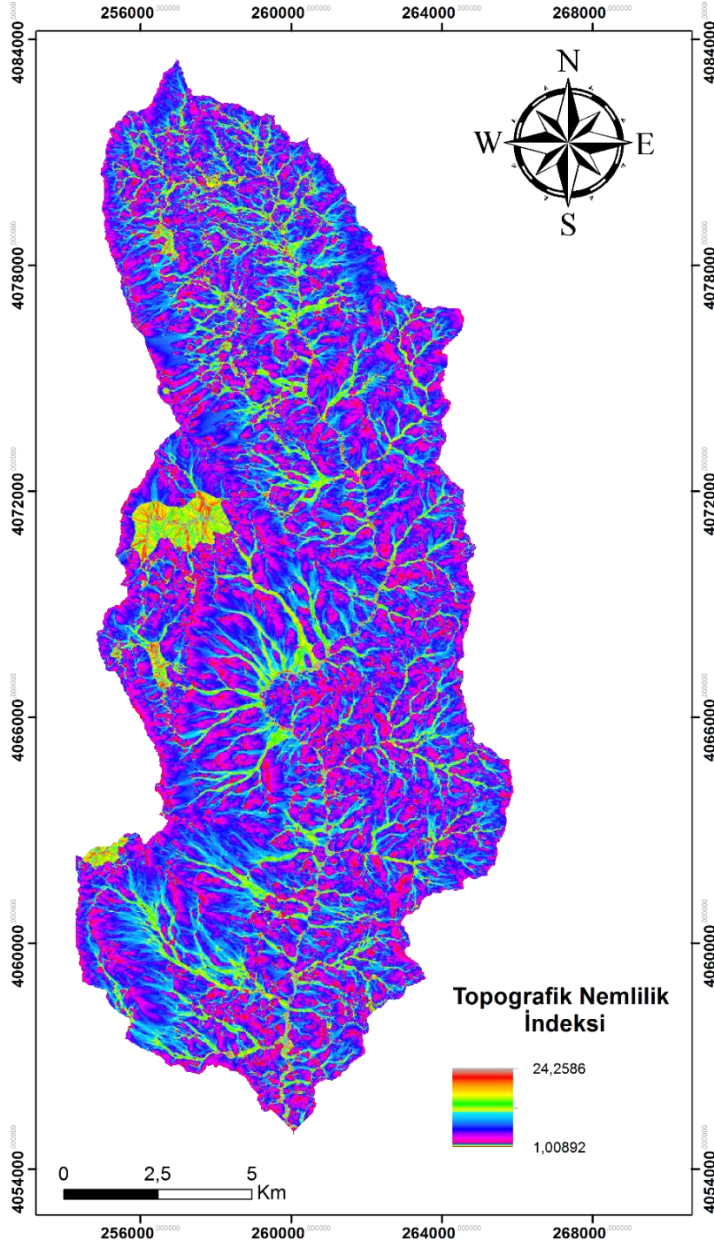
**Çizelge 3.2.** Girdi parametrelerinin listesi ve tanımlayıcı istatistikler

Parametre Kategorileri	#	Parametreler	Min.	Max.	Ort.	Std.
(1) Topoğrafik Parametreler	1	Sayısal Yükseklik Modeli	389.00	2767.000	992.751	854.291
	2	Eğim	0.000	77.745	13.574	15.429
	3	Bakı	-1.000	359.828	114.690	119.910
	4	Yakınsama İndeksi	-95.826	94.829	-0.002	5.231
	5	Plan Eğriselliği	-63.074	79.463	0.158	4.265
	6	Profil Eğriselliği	-79.513	57.333	0.157	4.613
	7	Eğim Uzunluğu Faktörü	0.000	98.550	4.393	5.002
	8	Topoğrafik Nemlilik İndeksi	0.000	24.259	4.167	3.708
(2) Yakınlık Parametreleri	9	Fay Hatlarına Mesafe	0.000	2971.855	417.901	563.074
	10	Kanal Ağlarına Mesafe	0.000	820.076	107.103	131.699
(3) Arazi Örtüsü – Litolojik Parametreler	11	Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi	-0.349	0.619	0.039	0.111
	12	Kaolinit İndeksi	0.000	2.180	0.632	0.486
	13	Kalsit İndeksi	0.000	3.513	0.834	0.653
	14	OH İndeksi	0.000	2.294	0.637	0.492
	15	DECOR1	-1138.924	2262.467	79.320	171.400
	16	DECOR2	-1502.203	2440.274	56.344	169.539
	17	DECOR3	-765.862	1770.143	73.329	166.694
	18	DECOR4	-2550.726	1877.623	55.217	162.859
	19	DECOR5	-1628.488	1807.155	46.311	150.410
	20	DECOR6	-1860.470	1910.794	45.222	164.355
	21	DECOR7	-1139.530	817.753	38.382	97.255
	22	DECOR8	-1676.405	1243.250	35.400	140.570
	23	DECOR9	-1680.120	1539.374	43.954	154.157
	24	DECOR10	-138.069	2592.369	804.423	626.407
25	DECOR11	-1366.320	3431.118	860.453	668.666	
26	DECOR12	-568.854	3273.348	916.525	710.481	
27	DECOR13	-180.115	3674.069	1101.256	847.486	
28	DECOR14	-629.255	3920.941	1147.097	882.593	

Bir diğerk ikincil topografik özellik olan Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TWI), konum üzerindeki topografinin etkisinin hesabı ve akıntının doygun kaynağının büyüklüğünü ifade eder (Moore vd. 1991). Aşağıda denklem (3.6) ile hesaplanır

$$TWI = \ln\left(\frac{A_5}{\tan\beta}\right) \quad (3.6)$$

Çalışma alanındaki minimum ve maksimum değerler 0.00 ve 24.26 olarak hesaplandı. Çizelge 3.2’de istatistiksel verilere yer verilmiştir. Topoğrafik nemlilik indeksinin mekansal dağılımı Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



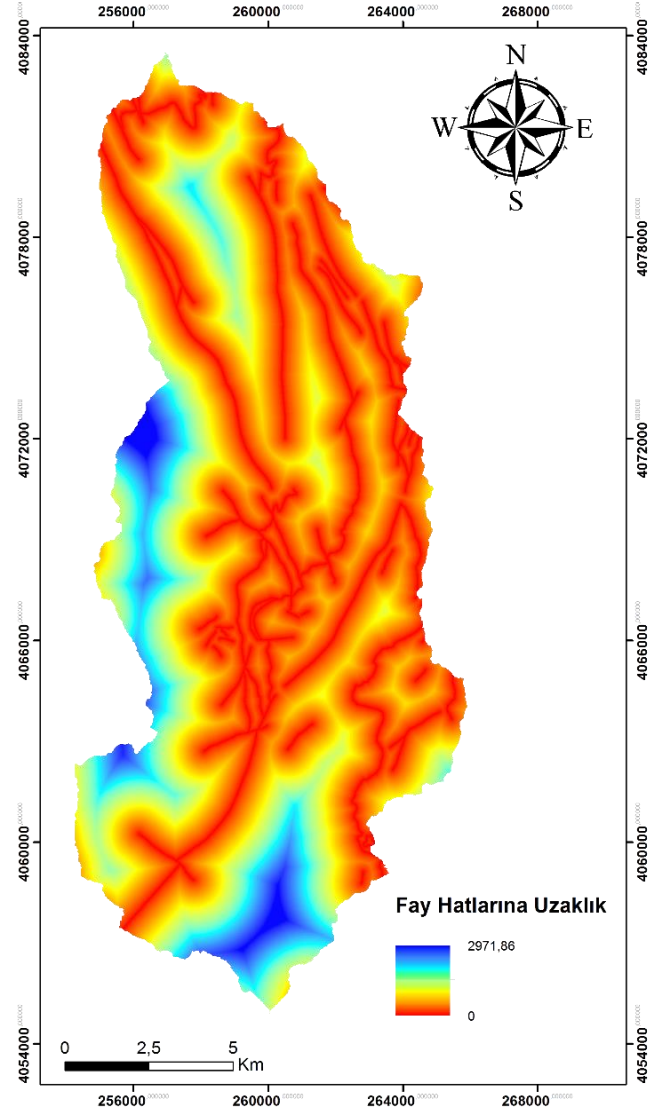
Şekil 3.9. Topoğrafik nemlilik indeksi haritası

### 3.1.2. Yakınlık parametreleri

Yakınlık veri setleri, fay hatlarına uzaklığı ve kanal ağlarına uzaklığı kapsamaktadır. Her ikisi parametrede objeye olan uzaklıktan olan mesafeler ile hesaplanır ve ilgili piksele atanıp ölçülen mesafeyi gösterir.

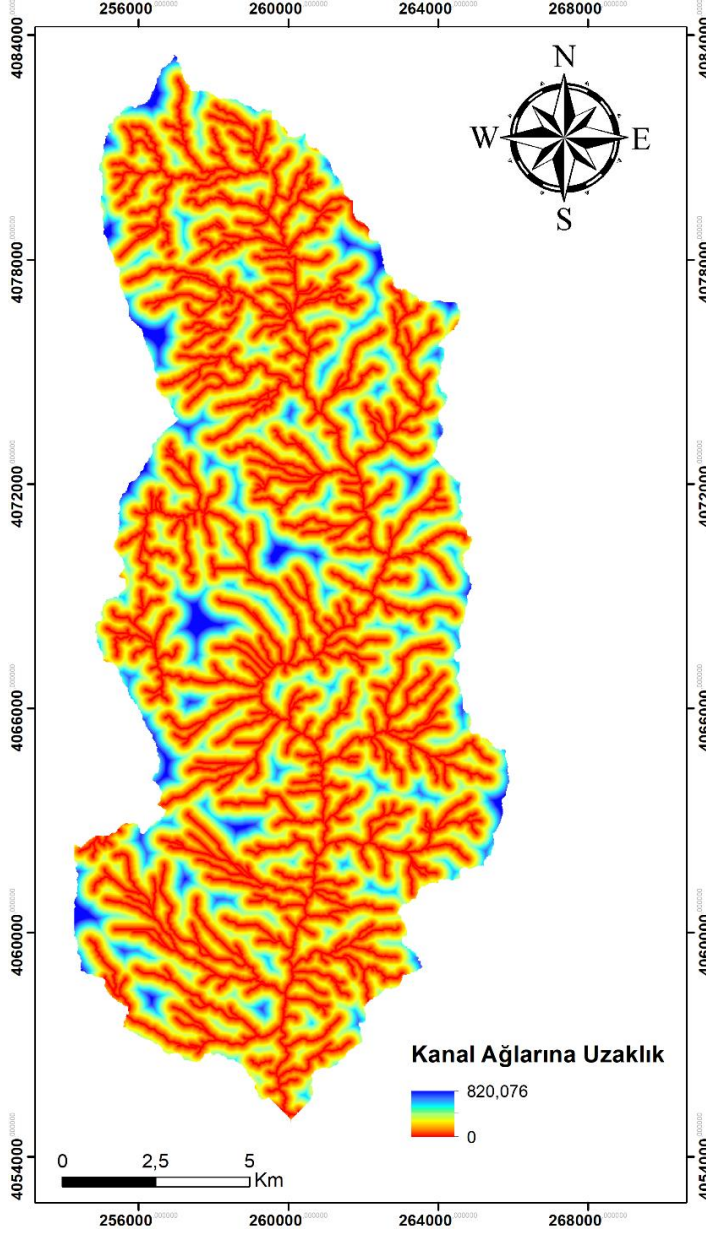
Bu çalışmada kullanılan temel piksel boyutu 15 m'dir (ASTER veri setinden) ve bu nedenle tüm uzaklık haritaları da 15 m'lik bir piksel boyutunda üretilmiştir. Nesne ölçülen piksel üzerinde bulunuyorsa, nesne ile piksel arasındaki mesafe sıfırdır. Ölçülen pikseller arasında bir mesafe varsa, ölçülen mesafe hesaplanır ve piksele atanır. Yakınlık parametreleri, ArcGIS 10.0 yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

Fay hatları veri seti heyelanlar için önemli bir parametredir. Bir fay hattı heyelana yakınsa, heyelan hareketi olasılığı heyelandan uzak olan fay hattından daha yüksek olur. Çalışma alanında, Çizelge 3.2'de yer aldığı üzere bir fay hattına maksimum mesafe yaklaşık 3 km'dir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Fay hatlarına uzaklık haritası

Diğer bir uzaklık parametresi olan drenaj ağına olan uzaklık parametresi, Çizelge 3.2'de gösterildiği gibi maksimum 820 m civarındadır. Kanal ağlarına uzaklık haritası Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



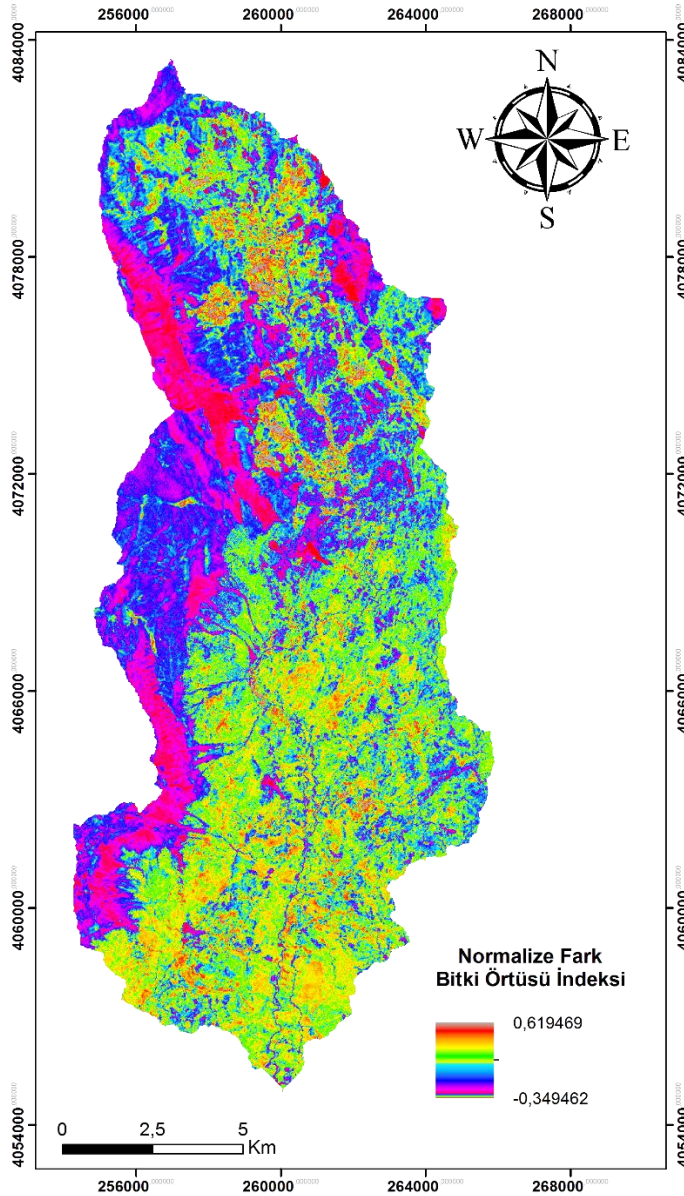
Şekil 3.11. Kanal ağlarına uzaklık haritası

### 3.1.3. Arazi örtüsü ve litolojik parametreler

Bitki örtüsü, heyelan duyarlılık haritalamasında kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Çalışma alanındaki bitki örtüsünün mekansal dağılımı ve yoğunluğu, normalize fark bitki örtüsü indeksi (NDVI) kullanılarak hesaplanabilmektedir. Değer aralığı -1.0 ile +1.0 arasında değişir. ASTER veri setinden NDVI değeri aşağıdaki formül (3.7) kullanılarak hesaplandı:

$$NDVI = \frac{b_3 - b_2}{b_3 + b_2} \quad (3.7)$$

b2 ve b3 sırasıyla ASTER görüntüsünün kırmızı ve yakın kızılötesi bantlarıdır. Çalışma bölgesindeki minimum ve maksimum NDVI değerleri, -0.349 ve 0.619'dur (Çizelge 3.2). Bitki örtüsünün mekansal dağılımı Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



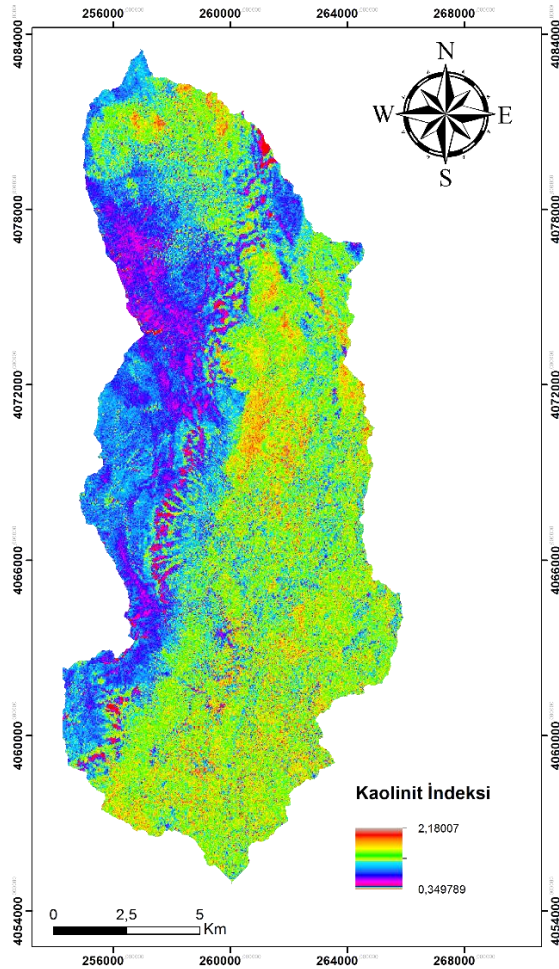
Şekil 3.12. Normalize fark bitki örtüsü indeksi haritası

ASTER verileri mineral arama için kullanılabilen, elektromanyetik alanın kısa dalga kızılötesi alanı (SWIR) bantlarını kapsamaktadır. Bu bant özellikleri ile aynı zamanda kaolinit, kalsit ve OH taşıyan mineraller gibi minerallerin mekansal dağılımlarını bulmak için de kullanılır. San (2014), konvansiyonel jeolojik haritaların belirgin litolojik sınırlarını, ayrıca minerallerin dağılımını; gerçekte, lokasyondan lokasyona değişerek aynı litolojik birimlerden oluştuğunu belirlemiştir. Bu bağlamda, uydu tabanlı mineral haritalama, minerallerin mekansal dağılımının daha gerçekçi ve güvenilir bir şekilde okunmasını sağlayabilmektedir (San 2014).

Kaolinit İndeksi, kaolinit minerallerinin mekansal dağılımı için en sık kullanılan mineral indekslerden biridir. ASTER görüntü bantları kullanılarak aşağıdaki denklem (3.8) ile hesaplandı (Van Der Meer vd. 2012; San vd. 2004):

$$KI = \frac{b_7}{b_5} \quad (3.8)$$

b5 ve b7 ASTER SWIR bantlarını, KI ise kaolinit indeksini temsil eder. Çalışma alanında, kaolinit indeks değerlerinin minimum ve maksimum değerleri sırasıyla 0.00 ve 2.18 dir (Çizelge 3.2). Şekil 3.13, çalışma alanındaki kaolinitin mekansal dağılımını göstermektedir.

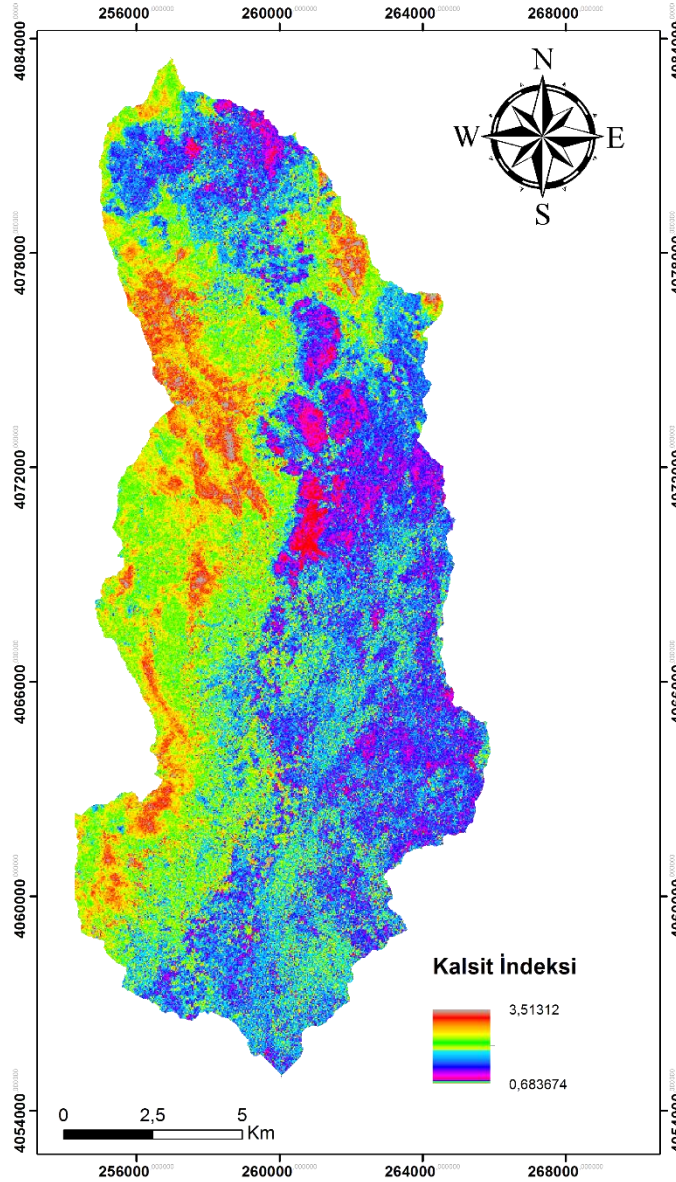


Şekil 3.13. Kaolinit indeksi haritası

Çalışmada kullanılan bir başka mineral indeksi, kalsit indeksi olup çalışma alanında kalsitin bolluğunu göstermektedir. ASTER verilerinin kalsit indeksi, Rowan ve Mars (2003) tarafından tanımlanan denklem (3.9) kullanılarak hesaplandı:

$$CI = \frac{b_7 + b_9}{b_8} \quad (3.9)$$

b7, b8 ve b9 ASTER SWIR bantlarını ve CI kalsit indeksini belirtir. Hesaplama sonrası CI değeri aralığı 0.000 ile 3.513 arasında değişmektedir (Çizelge 3.2). Kalsitin mekansal dağılımı Şekil 3.14 'de verilmiştir.

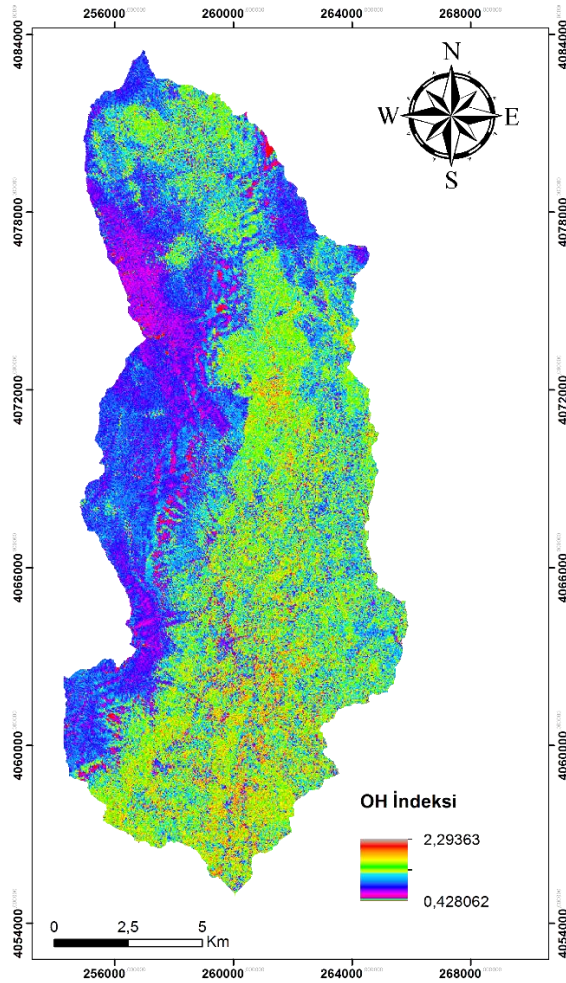


Şekil 3.14. Kalsit indeksi haritası

Diğer mineral indeksi OH indeksidir. OH taşıyan mineraller, Pour ve Hashim (2011) tarafından oluşturulan OH dizinini kullanarak ASTER verilerinden üretilmektedir. Aşağıdaki denklem (3.10) OH indeksini hesaplamak için kullanıldı:

$$OHI = \frac{b_7 \times b_4}{(b_6)^2} \quad (3.10)$$

b4, b6 ve b7, ASTER SWIR bantlarıdır. Çalışma alanındaki OHI minimum ve maksimum değerleri sırasıyla 0.000 ve 2.294 olarak hesaplandı (Çizelge 3.2). Şekil 3.15, OH taşıyan minerallerin mekansal dağılımını göstermektedir. Çalışma sırasında, ASTER görüntüsünün tüm hesaplamaları ENVI 5.0 görüntü işleme ve analiz yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



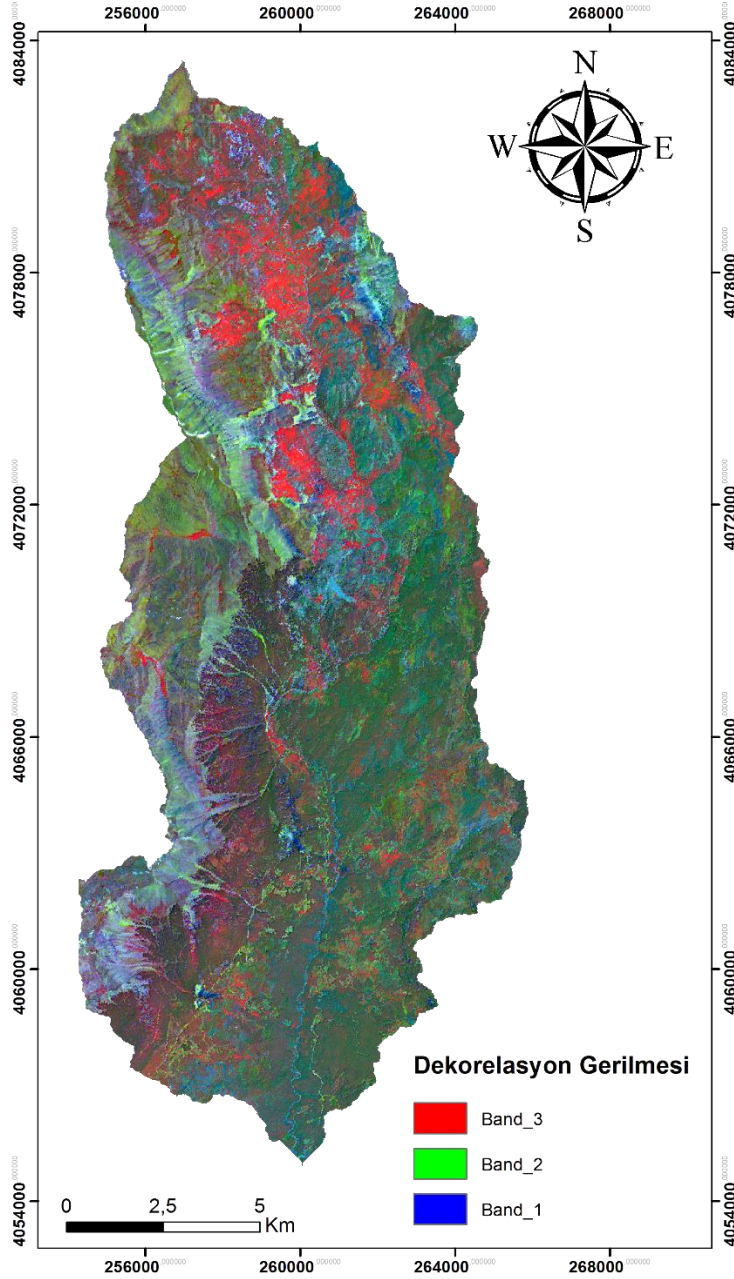
Şekil 3.15. OH indeksi haritası

Çalışmada litolojik ve arazi örtüsü parametrelerinin ayrılması için kullanılan son girdi veri seti, dekorelasyon gerilmesi ASTER bantlarıdır. Dekorelasyon gerilmesi, bir litolojik birim ile diğer litolojik birimi birbirinden ayırmak için jeolojik uzaktan algılamada kullanılan bir görüntü işleme tekniğidir. Süreç, hesaplanmış bir özvektör matrisi kullanarak korelasyonlu görüntü bantlarının bir ana bileşen analizini (PCA) içerir. Bundan sonra, ana bileşenlerin histogramlarına Gauss germesi uygulanır.

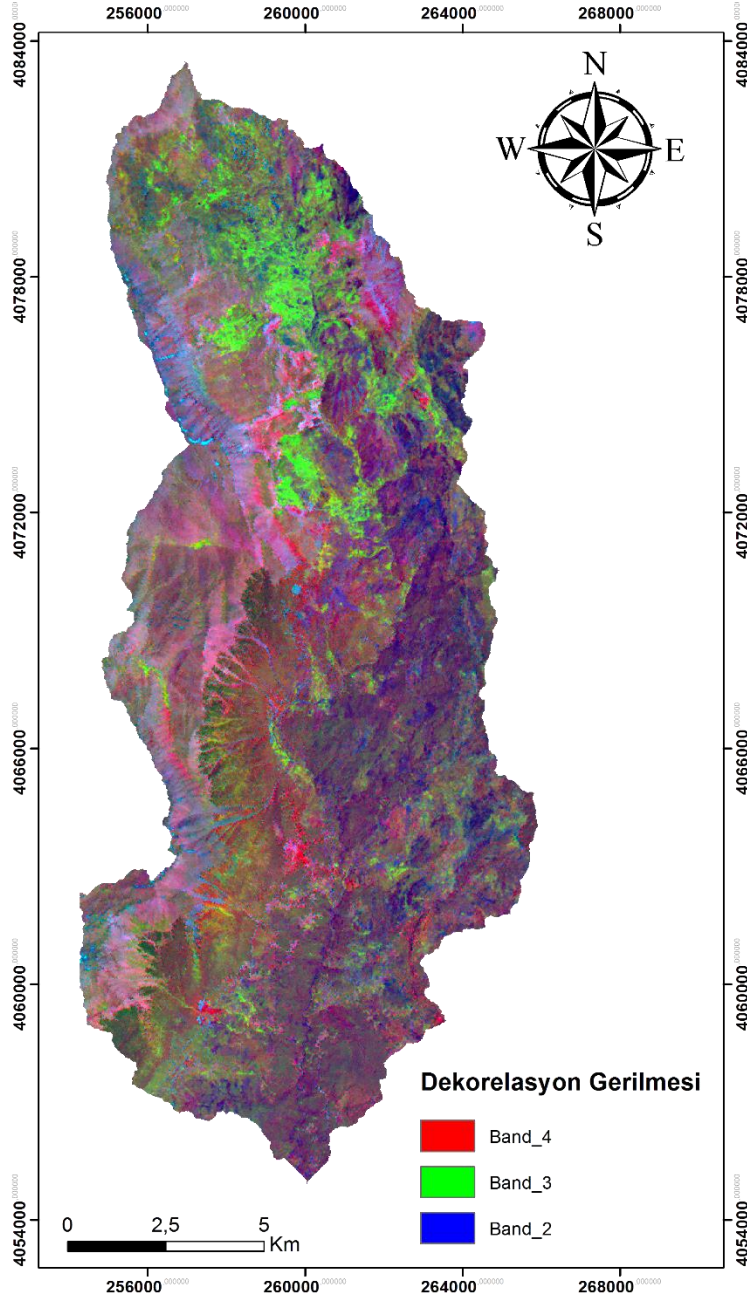


Dekorelasyon gerilmesi işleminin asıl amacı, yüzey malzemelerinin spektral bantlarında spektral ayrılabilirliklerini en üst düzeye çıkarmaktır. Gillespie vd. (1987) dekorelasyon gerilmesi algoritmasının teorik arka planını açıklar. Çalışma boyunca, dekorelasyon gerilmesi PCI Geomatica 2013 görüntü işleme ve analiz yazılımı kullanılarak gerçekleştirildi.

Şekil 3.16 ve 3.17, dekorelasyon gerilmesi ASTER görüntüsünün farklı band kombinasyonlarına ait örneklerini göstermektedir. Şekilden görülebileceği gibi, yüzey farklılıkları (litolojik ve arazi örtüsü) hem görsel hem de dijital olarak açıkça tanımlanır ve vurgulanır. Bu farklılaştırmalar, daha önce piksel olarak mekansal değişkenliklerin devam etmesini de açıklar.



Şekil 3.16. Dekorelasyon gerilmesi ASTER görüntüsü (yanlış renk kombinasyonu:321)



**Şekil 3.17.** Dekorelasyon gerilmesi ASTER görüntüsü (yanlış renk kombinasyonu:432)

Dekorelasyon gerilmesi verilerindeki benzer litolojik birimler, aynı renk olmasa da benzer renkler (ör; kırmızı ve kırmızımsı renkte) olarak görünmektedir. Birim aynı olsa dahi, kimyasal içerik ve fiziksel koşullardaki değişiklikler nedeniyle oluşum piksellerinde bazı değişiklikler mevcuttur. Renk skalasında, jeolojik haritalardaki litolojik birimler kategorik verilere dayanır ve her litoloji benzersiz bir değer olarak kabul edilebilir. Uydu görüntüsü kaynaklı litoloji haritası (ör; dekorelasyon gerilmesi, band oranlamaları) kullanılarak üretilen duyarlılık haritaları, daha güvenilir ve gerçekçidir.

### 3.2. Metod

Bu çalışmada, makine-öğrenme algoritmalarından parametrik olmayan sınıflandırma teknikleri olarak destek vektör makinesi (DVM) ve Rastgele Orman (RO) öğrenme algoritması, heyelan duyarlılık haritalaması üretiminde karşılaştırıldı. Daha gerçekçi heyelan duyarlılık sonuçları/haritaları elde etmek için, uzaktan algılama analizleri sırasında toplanan veri setleri (yani mineral indeksleri ve dekorelasyon gerilmeleri) bazı özel girdi parametreleri için kullanıldı. Çalışmanın metod kısmı temel olarak üç bölümden oluşmaktadır. Bunlar; örnekleme algoritması (2LRS), iki makine öğrenme sınıflandırması (DVM ve RO) ve doğruluk değerlendirmesi.

#### 3.2.1. Heyelan duyarlılık haritası için örnekleme stratejisi

Gerçekçi heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesindeki temel problemlerden biri, eğitim ve test örneklerinin doğru seçilmesini sağlamaktır. Örnekler heyelan gövdesinden toplandığı zaman üretilen harita "otomatik heyelan haritası" olarak adlandırılmaktadır (Nefeslioğlu vd. 2008, 2012).

Bu sorunun üstesinden gelmek için Süzen ve Doyuran (2004), Heyelanın akış eksenine göre 4 piksellik stok haritalarından gelen tüm heyelan poligonları için bir tampon analizi yapılmış ve tampon halkanın üçte biri ortadan kaldırılarak, tohum hücresi konseptini benimsemişlerdir. Kayma ekseninin topuk kısmı, biriken heyelan malzemesinin toplanmasından dolayı ortadan kaldırılır. Nihai şekil, heyelan meydana gelmeden önce koşulları temsil eden, tohum hücresi olarak bilinen at nalı şeklindeki çokgen olarak gözlemlenir. Bu hesaplamaların ayrıntılı bilgileri San (2014) çalışmasında yer almaktadır.

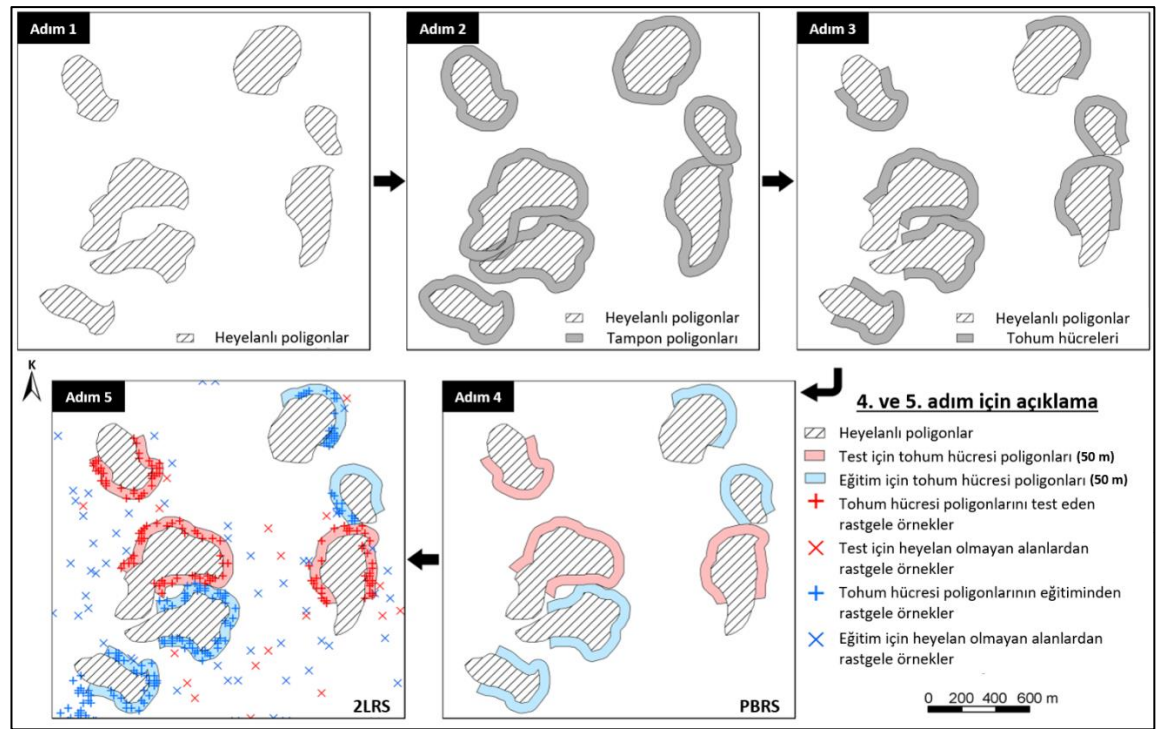
Örnekleme sırasında göz önüne alınması gereken bir diğer önemli ayrıntı, aynı tohum hücresi poligonlarından (yani atnalı poligonlardan) olmamasından dolayı, rastgele bir eğitim ve test seçimi sağlamasıdır. Bu çalışmada, tamamen bağımsız örnekleme (San 2014) sağlamak için "Poligon Tabanlı Rastgele Örnekleme (PBRS)" stratejisi kullanılarak eğitim ve test örnekleri toplandı.

Sıradan rastgele örnekleme aksine, eğitim ve test setleri, farklı heyelan çekirdek hücrelerinden bir PBRS algoritmasında toplanır. Bu durum, heyelandaki farklı tohum hücrelerinden (San 2014) toplanan eğitim ve test örnekleri ile sonuçlanır. Makine öğrenme sınıflandırma algoritmaları (DVM ve RO), sınıfları ayırt etmek veya ayırmak için yeterince güçlü algoritmalarlardır. Sınıflandırma sürecinde öğrenme süreci için daha az eğitim örneği gereklidir.

San (2014) 'in PBRS yaklaşımı, bu çalışma için değiştirildi. San (2014), eğitim ve test setleri için rastgele seçilmiş tohum hücresi poligonlarındaki tüm pikselleri (at nalı şekli) kullanırken; bu çalışmada, rastgele seçilen tohum hücresi poligonlarından rastgele seçilen pikseller, eğitim setleri veya test verileri setleri için kullanıldı. Bu şekilde, rastgele seçilen tohum hücresi poligonlarında piksel tabanlı bir rastgele örnekleme uygulandı (Ada ve San 2018).

Piksellerin yüzde 15'i, hem eğitim hem de test verileri setleri için rastgele seçilen poligonlardan yine rastgele seçildi. Bu işlemin bir sonucu olarak, eğitim/test piksellerinin sayısı azalmaktadır, bu durum makine öğrenme algoritmalarının hesaplanma süresinde bir iyileşme oranı ile sonuçlanmasına neden olmaktadır.

Bu örnekleme yöntemine, "İki Düzeyli Rastgele Örnekleme (2LRS)" adı verildi (Ada ve San 2018). Ardışık rastgele örnekleme 2LRS'de, tohum hücresi poligonlarına dayanan ilk rastgele örnekleme ile gerçekleştirilir. Ve bir sonraki rastgele örnekleme, ilk örneklemeden alınan nokta örneklemesine dayanmaktadır. Şekil 3.18, uygulama aşamaları ile 2LRS algoritmasını göstermektedir.



**Şekil 3.18.** Adım 1'den 5'e İki Düzeyli Rastgele Örnekleme (2LRS) algoritmasının uygulama prosedürü (Ada ve San 2018'den uyarlanmıştır)

**Çizelge 3.3.** 2LRS algoritmasının işlem basamakları

Adım	Gerçekleştirilen işlem
1	heyelan envanteri verilerini sayısallaştırma
2	heyelan poligonlarını arabelleğe alma
3	tohum hücre poligonları üretme
4	tohum hücre poligonlarının rastgele seçilmesi (PBRS)
5	rastgele tohum hücrelerinden rastgele seçme (2LRS)

Bu çalışmada, tohum hücresi poligonlarının yüzde 80'i eğitim veri seti olarak ve geri kalanı test veri setleri olarak kullanıldı (Pradhan ve Lee 2010; Nefeslioglu vd. 2011; 2012; Oh ve Pradhan 2011; San 2014). Takip eden aşamada, eğitim setinin %15'i ve test seti tekrar tohum hücre poligonlarından rastgele seçildi. Bu iki ardışık rastgele örnekleme üç veri modelinin oluşturulması için üç kez gerçekleştirildi (Ada ve San 2018).

Rastgele set 1'de sırasıyla eğitim ve test veri setleri için 4707 ve 1300 piksel; Rastgele set 2'de 4639 ve 1454 piksel ve rastgele set 3'de 4950 ve 1047 piksel seçildi. Rastgele setlerin eğitim örneklerinin yüzdesi sırasıyla sırasıyla 78.36, 76.14 ve 82.54 olarak kaydedildi. Eğitim yüzdeleri arasındaki hafif fark, farklı tohum hücresi poligonlarının bir sonucudur. Maksimum ve minimum rastgele örnekler arasındaki piksel sayısındaki fark, eğitim örnekleri için 311 ve test örnekleri için 407'dir. Çalışma alanındaki tüm piksel sayısına (1482868) dayanarak, rastgele takımlar için eğitim ve test örnekleri arasındaki fark sırasıyla yalnızca 2.09 ve 2.74 olarak gözlemlendi.

Heyelan alanının 2LRS örneklemesine ek olarak, heyelan olmayan alanlardan hemen hemen eşit sayıdaki eğitim örnekleri toplandı. 2LRS örnekleme stratejisinin bir sonucu olarak, test ve eğitim için birbirinden bağımsız örnekleme sağlandı. Sonraki aşamalarda, veriler eğitim ve test örnekleri kullanılarak sınıflandırıldı (Ada ve San 2018).

### 3.2.2. Heyelan duyarlılık haritası için destek vektör makinesi sınıflandırması

Destek Vektör Makinesi (DVM), çekirdek işlevleri ile bir hiper düzlemi kullanarak sınıfların ayrılmasını içerir (Vapnik 1995; Mountrakis vd. 2011). İterasyon işleminin sonucu olarak üretilen hiperdüzlem, yanlış sınıflamaların en aza indirgenmesinde optimum bir ayırma düzlemini temsil eder. Ancak, sınıfların doğrusal karar sınırlarını kullanarak ayrılması zordur. Lineer ayırma probleminin üstesinden gelmek için, ayrılmayan en erken veri kümesi bir çekirdek fonksiyonu ile lineer olarak ayrılabilir desenlere dönüştürülür (Yao vd. 2008; Turker ve Koc-San 2015).

Çalışmada, girdi parametreleri olarak kullanılan üç rastgele eğitim seti ile DVM sınıflandırması için Çevresel Haritalama ve Analiz (EnMap Box) yazılımının (Rabe vd. 2010; Van der Linden vd. 2010) ImageDVM aracını kullanıldı ve Radyal taban fonksiyonu (RBF) kullanılarak üç duyarlılık haritası üretildi (Tax ve Duin 1999; Yao vd. 2008; Mountrakis vd. 2011; Pradhan 2013). RBF, örnek etiket çiftleri ( $x, x'$ ) için bir çekirdek işlev parametresi ( $\gamma$ ) ve eğitim seti içerir.

İki ana parametre (örnek,  $G$  ve düzenlilik parametresi ( $C$ )), parametre  $C$  ile maksimum sınır ile eğitim hataları arasındaki dengeyi kontrol eden bir DVM'yi çözmek için gereklidir. Daha büyük  $C$  değerleri, daha karmaşık modellere neden olur (Marjanovic ve ark. 2011). DVM sınıflandırmasının en önemli parçası,  $\gamma$  ve  $C$  verilerine bağlıdır.

Çalışmada, parametre optimizasyonu, her model için EnMap Box yazılımı kullanılarak yapıldı. Çizelge 3.4, parametre optimizasyon işlemi boyunca bulunan her rastgele set için elde edilen DVM öğrenme parametrelerini sunmaktadır. Elde edilen parametreler daha sonra heyelan duyarlılığını tanımlamak için DVM sınıflandırma prosedüründe kullanıldı (Ada ve San 2018).

**Çizelge 3.4.** Rastgele örnek 1, 2 ve 3 kullanılarak üretilen modeller (Model 1, 2 ve 3) için DVM öğrenme parametreleri

DVM Parameterleri	Model 1	Model 2	Model 3
C	1.000	1.000	10.000
g	0.100	0.100	0.100
<b>Toplam destek vektör sayısı</b>	6318	6354	6787

### 3.2.3. Heyelan duyarlılık haritası için rastgele orman sınıflandırması

Rastgele Orman (RO), sınıflandırma için karar ağaçları kullanan (Koc-San 2013) parametrik olmayan başka bir makine öğrenme sınıflandırma algoritmasıdır. Bu sınıflandırma algoritmasında, çok sayıda ağaç üretilir ve en popüler sınıf bu ağaçlara göre tanımlanır (Breiman 2001).

Bir Rastgele Orman, örneklerin her iki çifti arasındaki yakınlığı, sınıflandırıcının çıktısını kontrol eden ağaçların oy çoğunluğu ile (Gislason vd. 2006) örneklerin aynı terminal düğümün altına düşme sayısına dayanarak hesaplar (Rodriguez-Galiano vd. 2012). Gislason ve ark. (2006), bir RO algoritmasının benzer bir ağaç tipi sınıflandırıcı ile klasik torbalama yöntemine göre oldukça hafif olduğunu belirtmektedir.

Bu çalışmada ENVI yazılımı ile RO sınıflandırmasını gerçekleştirmek için Etkileşimli Veri Dili (IDL) temelli bir ImageRO aracı kullanıldı (Waske vd. 2012). RO uygulamasında RO yöntemi için, test ve eğitim setlerinde dört farklı ağaç boyutu (10, 100, 1000 ve 10.000) kullanıldı. Sonuç olarak, karşılaştırma amacıyla RO sınıflandırıcısı kullanılarak 12 heyelan duyarlılık haritası oluşturuldu (Ada ve San 2018).

### 3.2.4. Doğruluk değerlendirmeleri

Çalışmanın son aşaması doğruluk değerlendirmeleridir. Heyelan duyarlılık haritasının rastgele seçilen eğitim ve test örneklerine dayanan üç model kullanılarak hazırlanması ile başlar. Bu süreç, rastgele modellerin tutarlılığını teyit eder. Modellerin elde edilen doğrulukları birbirine uymuyorsa veya aynı değere yakın durmuyorsa, modellerin performansı rastgele örneklere bağlıdır.

Bu bağlamda, sınıflandırıcının genelleme kabiliyetinin düşük/orta olduğu ve modeller arasında tutarlılık bulunmadığı sonucuna varılabilir.

Çalışma boyunca, modellerin tutarlılıklarını kontrol etmek adına DVM ve RO yöntemleri için üç rastgele eğitim ve test seti oluşturuldu. RO yönteminde test ve eğitim setleri için dört ağaç boyutu (10, 100, 1000 ve 10.000) kullanıldı. Bu bağlamda, karşılaştırma için toplam 15 heyelan duyarlılık haritası oluşturuldu (Ada ve San 2018).

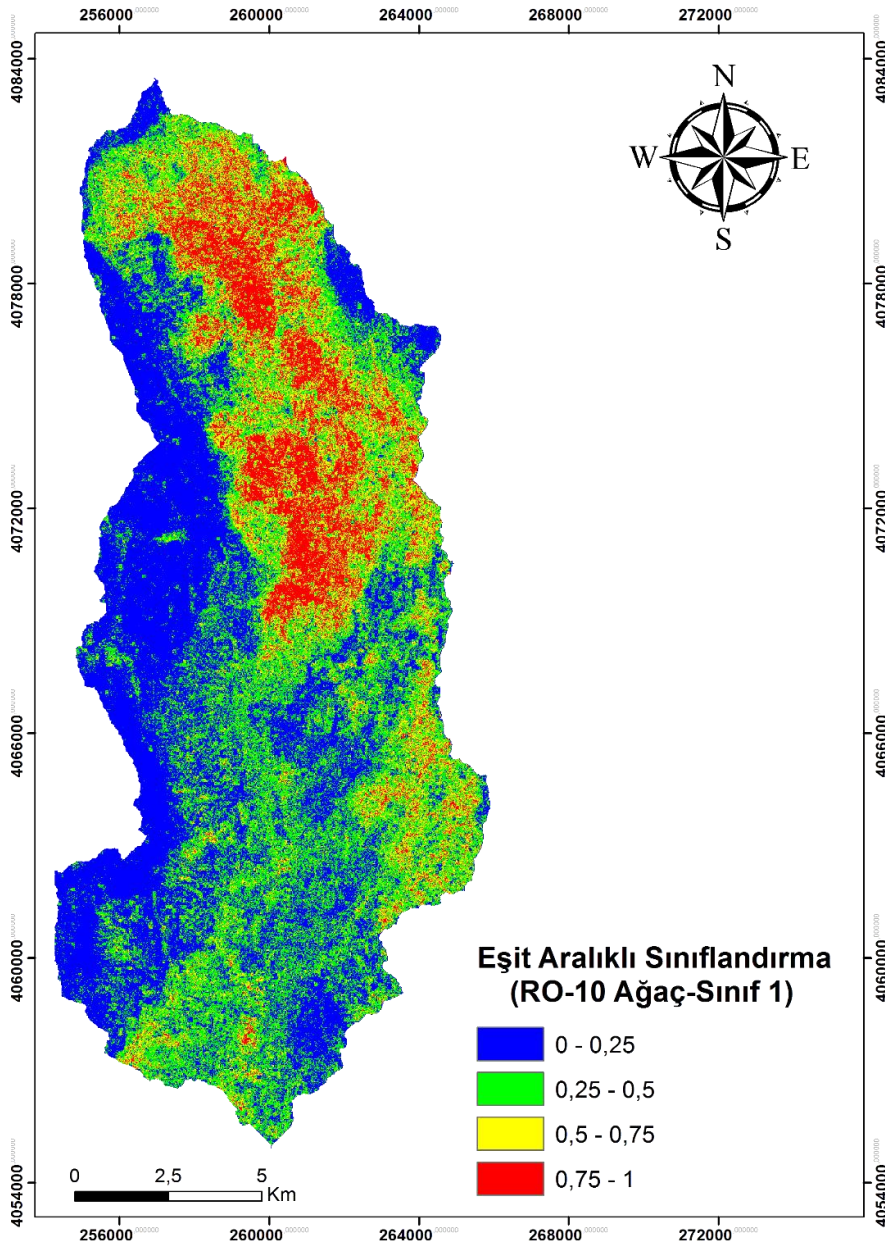
Çalışmada kullanılan diğer doğruluk değerlendirmesi, elde edilen 15 modelin mekânsal performansı ve bunların doğruluklarının karşılaştırılması için uygulanmıştır.

Modellerin mekansal performansını gerçekleştirmek için Eğri Altındaki Alan (AUC) olarak tanımlanan Alıcı İşletim Karakteristiği (ROC) eğrisi altındaki alan hesaplanmıştır. Beguería (2006), ROC eğrisinin eşik bağımsız doğruluk değerlendirme tekniği olduğunu belirtmektedir ve tahmini modelleri onayladığını söyler.

Performans, yanlış pozitif ve gerçek pozitif oranlar eksenlerini içeren bir 2D grafiksel gösterimde bir eğri halinde çizildi. Gerçek pozitif oran ve yanlış pozitif oran eksenleri sırasıyla "duyarlılık" ve "1 özgünlük" olarak tanımlanabilir. Eksenlerin ölçeği 0.0 ve 1.0 ile sınırlandırıldı (% 0 ve % 100). Benzer şekilde, AUC değerleri 0.5 ile 1.0 arasında bir aralığa sahiptir. AUC değeri 1.0'a yaklaşırsa, modelin mekansal performansı yüksek olur (Lee ve Dan 2005). Çalışmada, tüm AUC değerleri, MS Excel yardımı ile ENVI yazılımı kullanılarak hesaplandı.

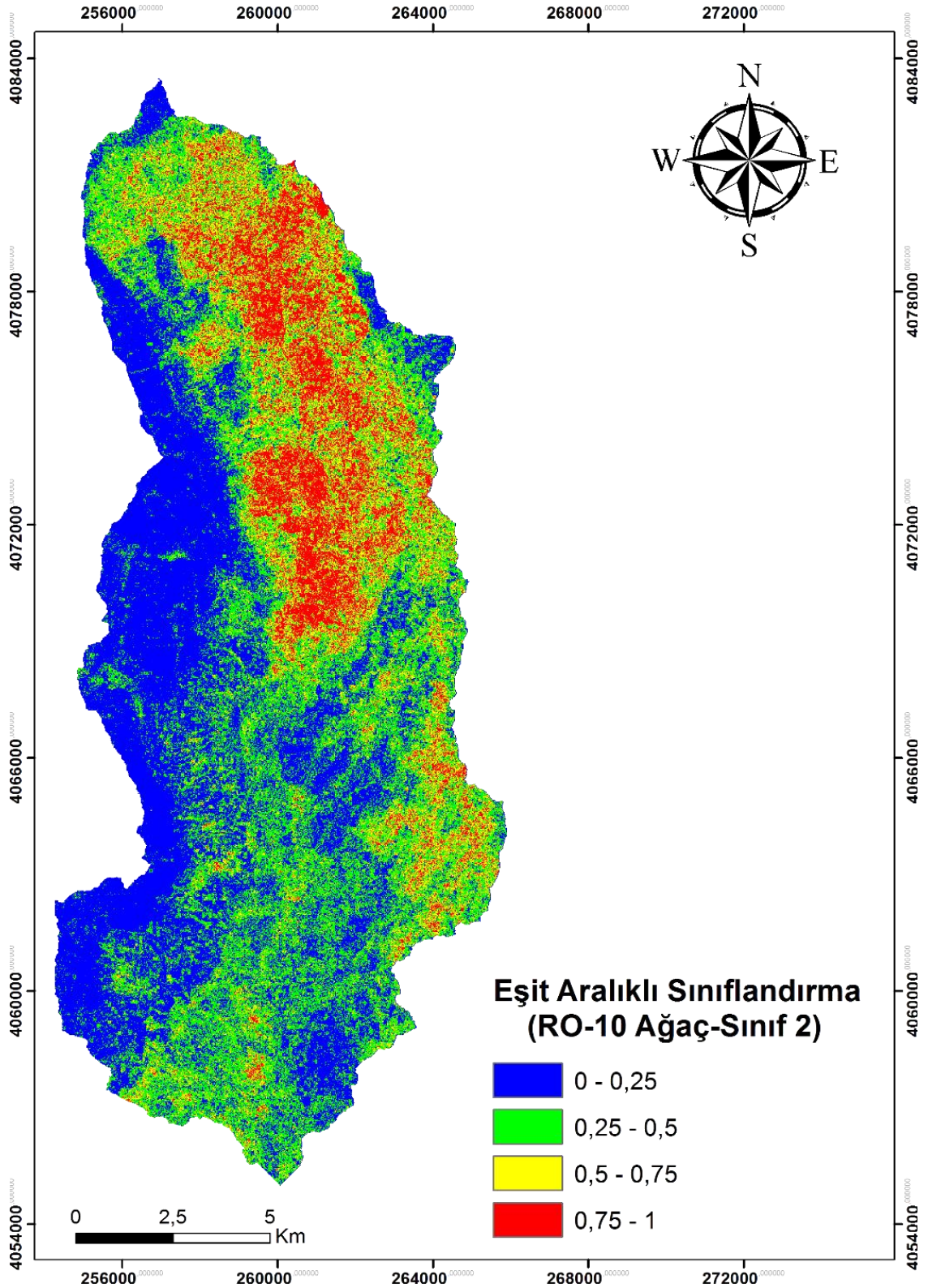
#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Piksel tabanlı olasılık görüntüleri ile iki makine öğrenme sınıflandırma algoritması kullanılarak 15 heyelan duyarlılık haritası üretildi. Bu haritalardaki her bir piksel, duyarlılık değerlerini göstermektedir. Duyarlılık değerleri aralığı 0.0 ile 1.0 arasındadır. Elde edilen duyarlılık haritalarının her biri; yüksek duyarlı, duyarlı, düşük duyarlı ve çok düşük duyarlı olmak üzere dört eşit aralıklı sınıfa ayrılmıştır. Heyelan duyarlılık sonuçlarının mekânsal dağılımının analizi, her sınıflandırma içerisindeki modeller arasında tutarlılık olduğunu ortaya koymaktadır. 15 adet sınıflandırma haritası, uygulanan algoritmalara göre çıktı halinde görsellerde yer almaktadır:

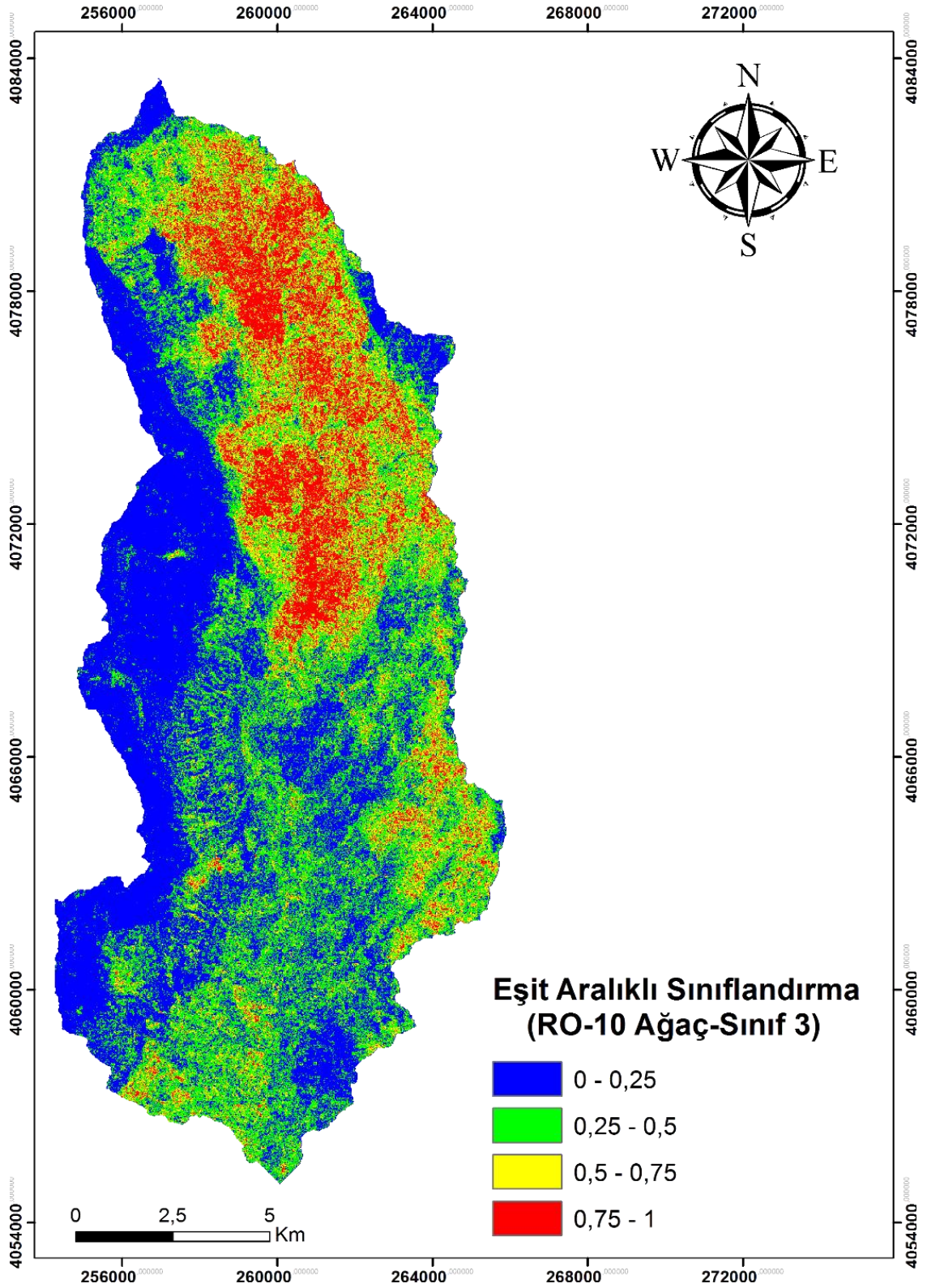


**Şekil 4.1.** RO algoritması-10 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 1 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası

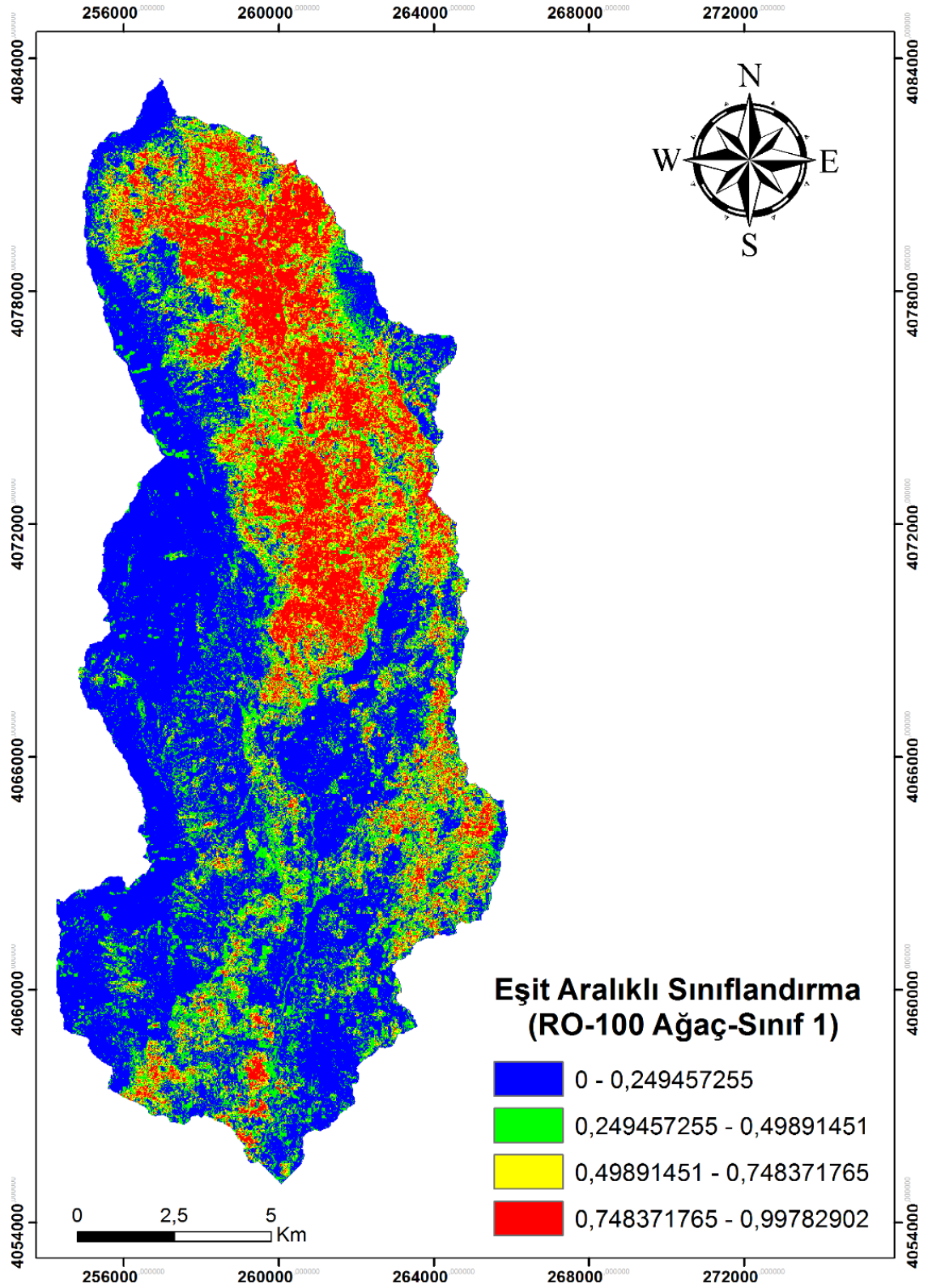




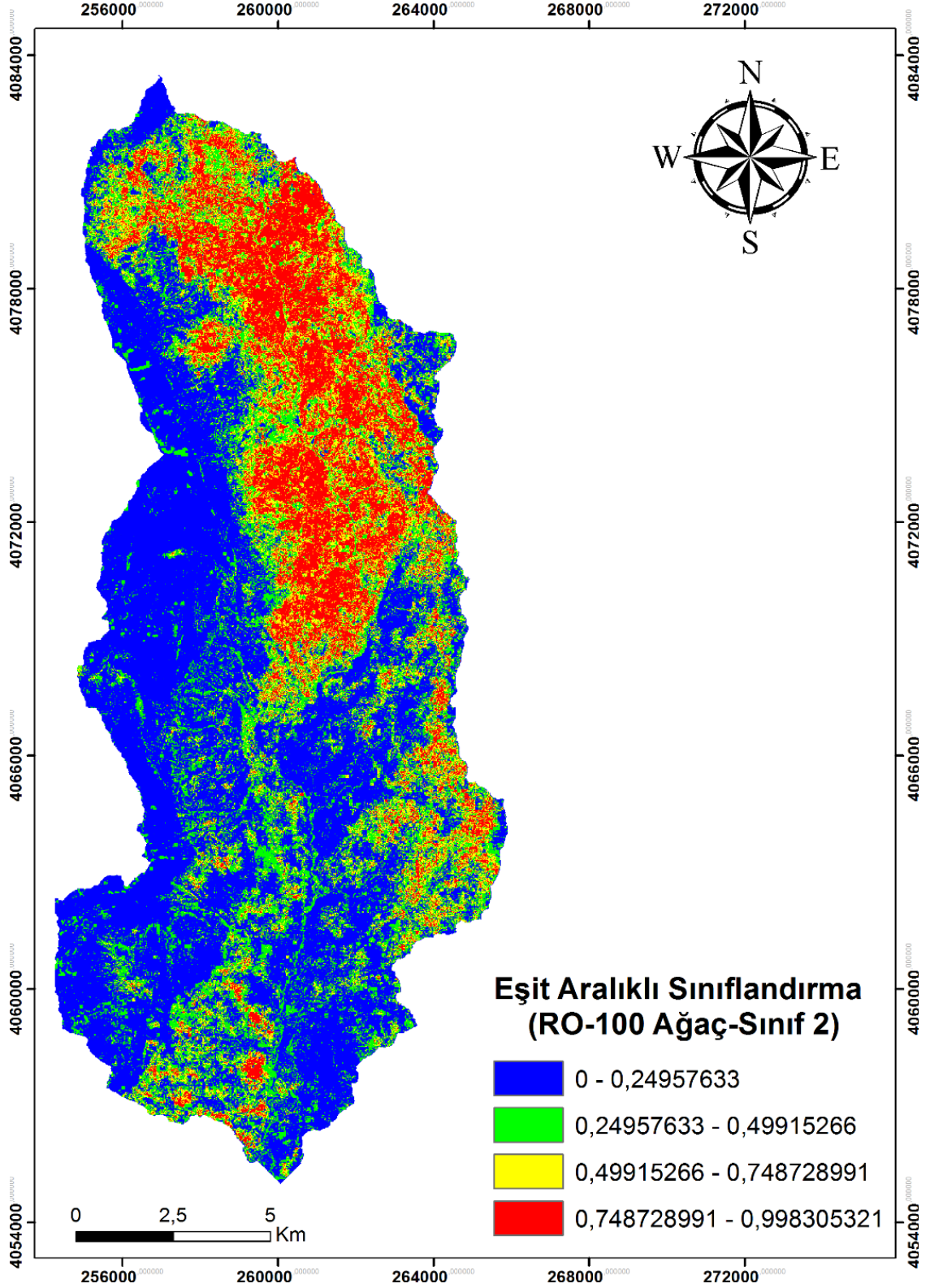
Şekil 4.2. RO algoritması-10 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 2 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası



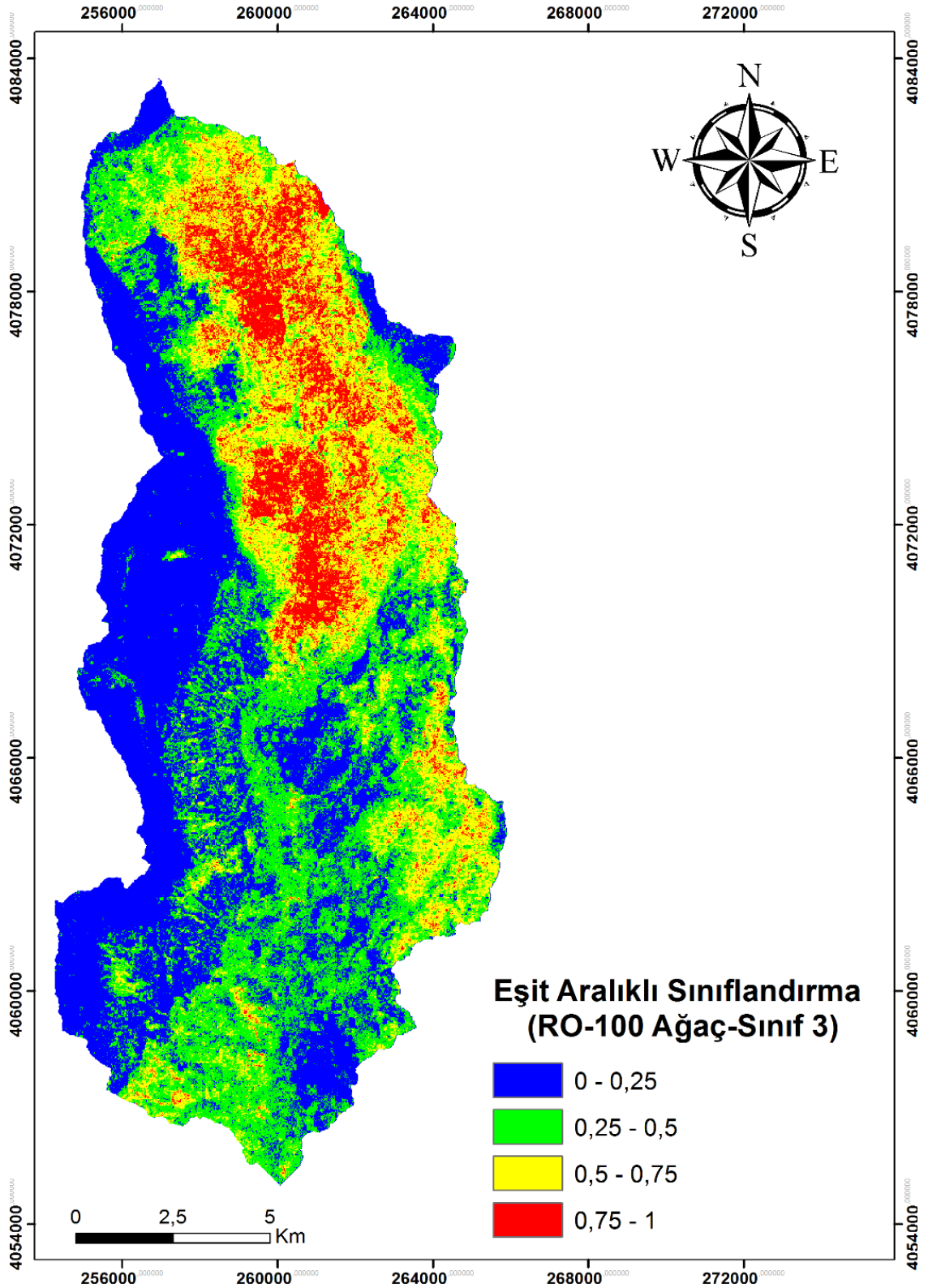
Şekil 4.3. RO algoritması-10 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 3 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası



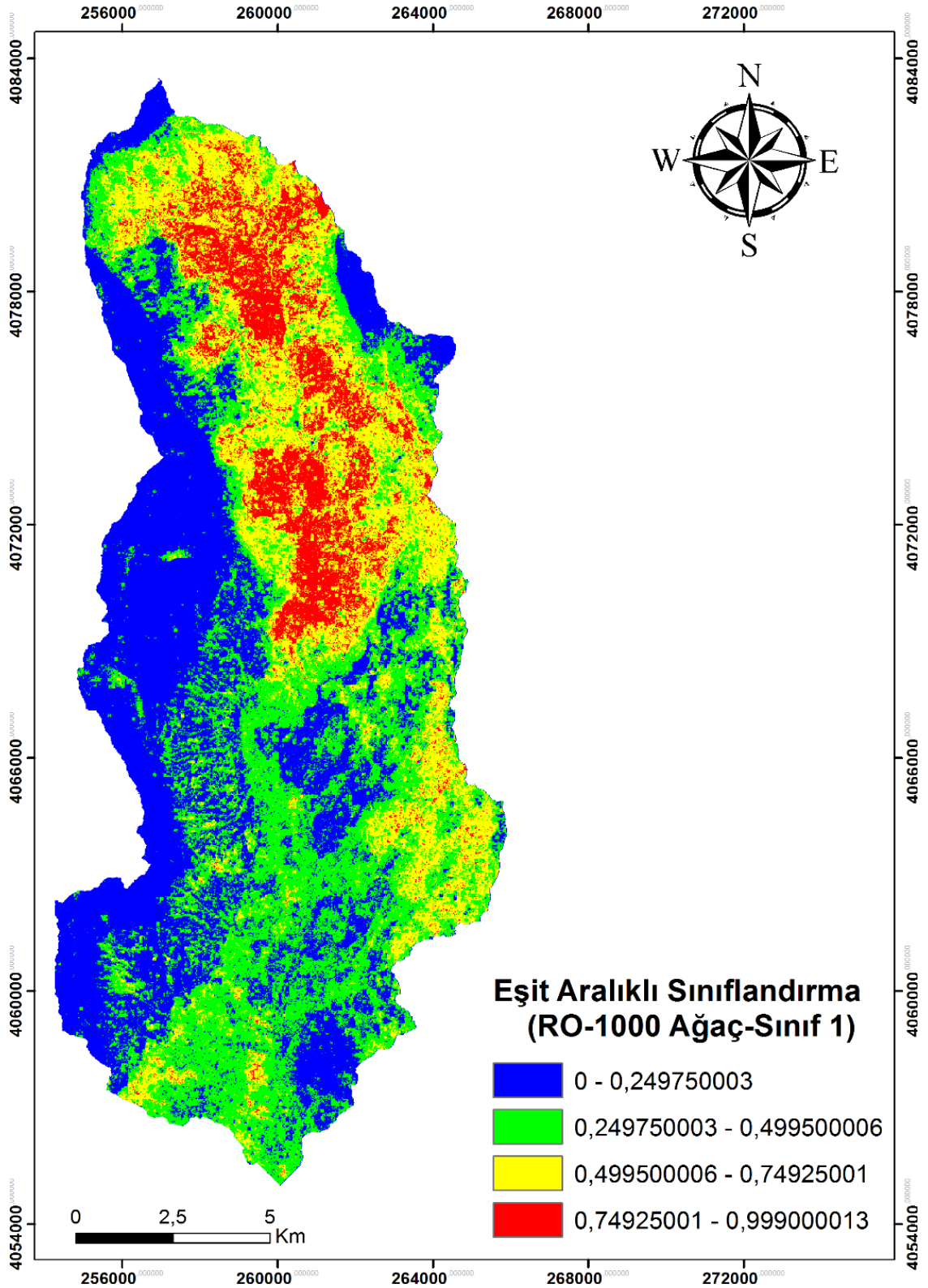
Şekil 4.4. RO algoritması-100 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 1 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası



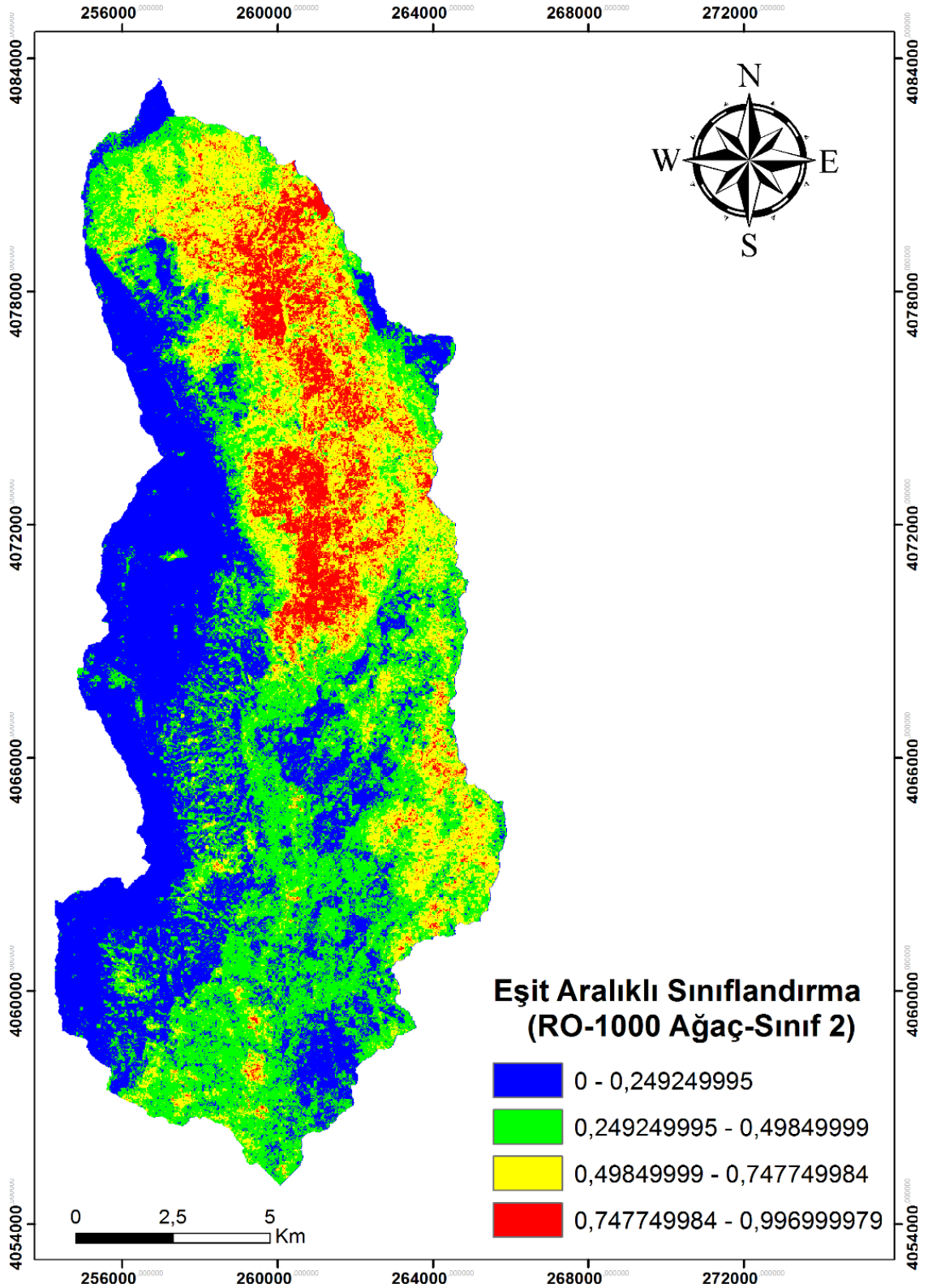
Şekil 4.5. RO algoritması-100 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 2 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası



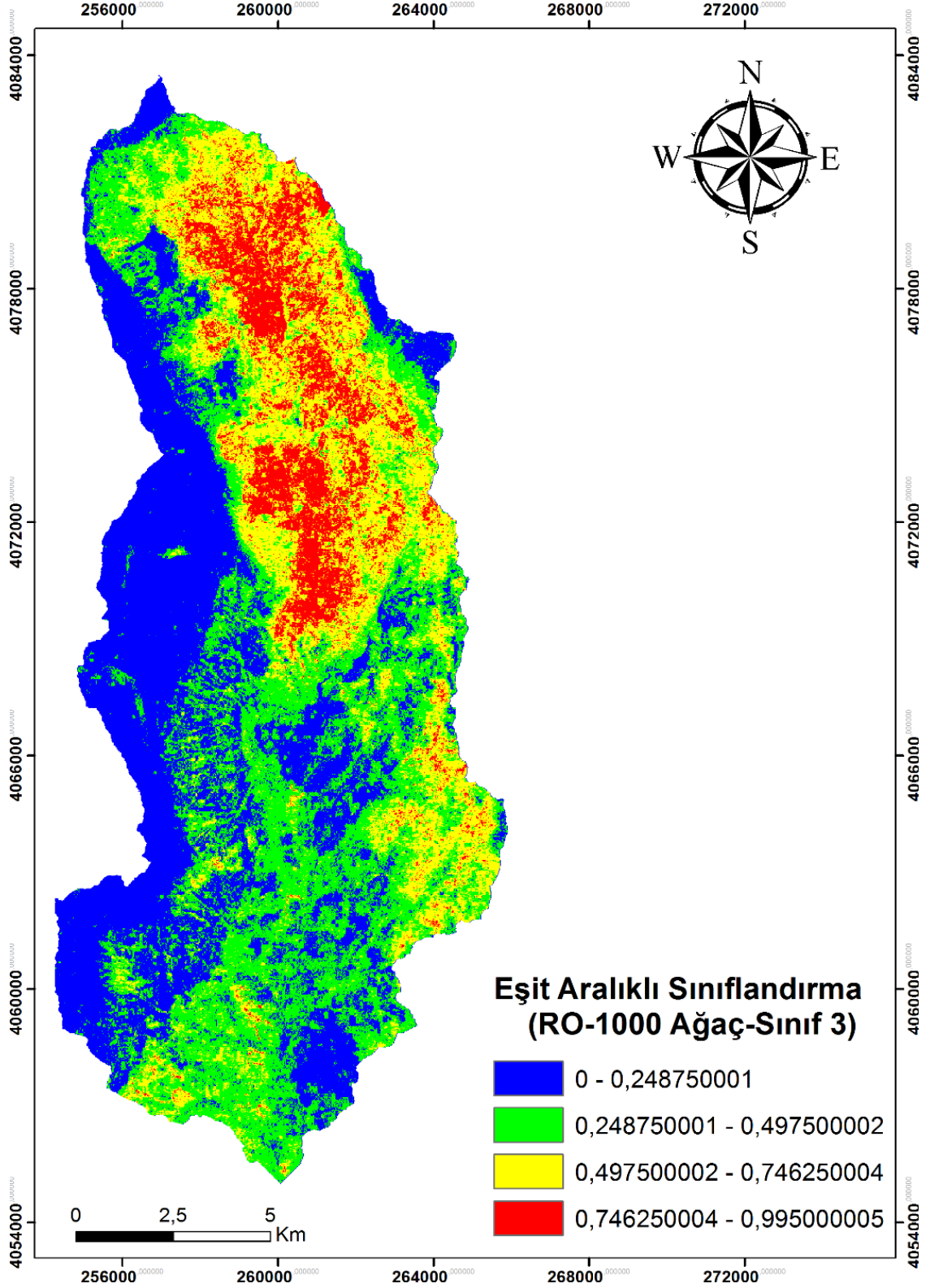
Şekil 4.6. RO algoritması-100 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 3 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası



Şekil 4.7. RO algoritması-1000 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 1 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası

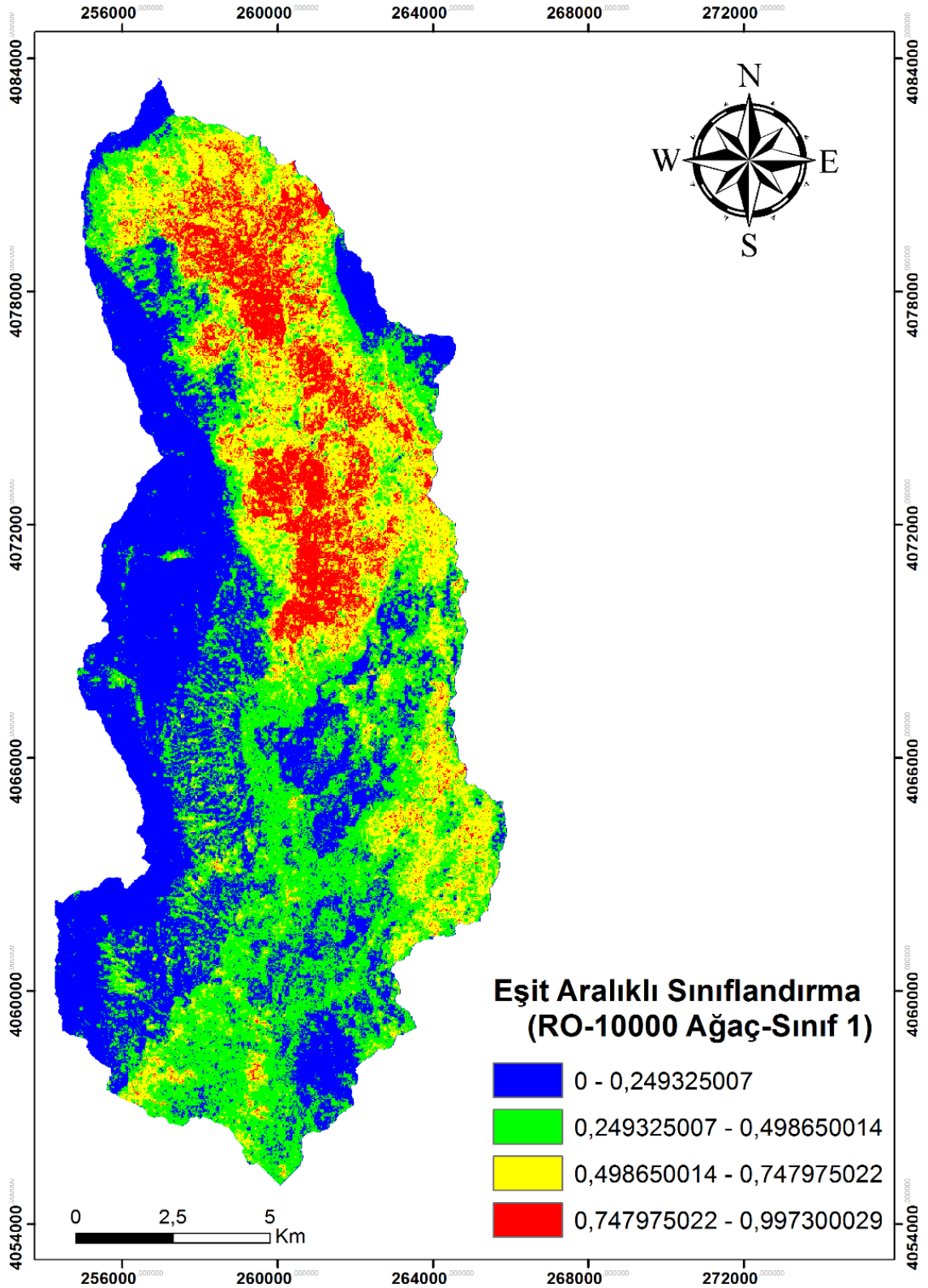


Şekil 4.8. RO algoritması-1000 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 2 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası

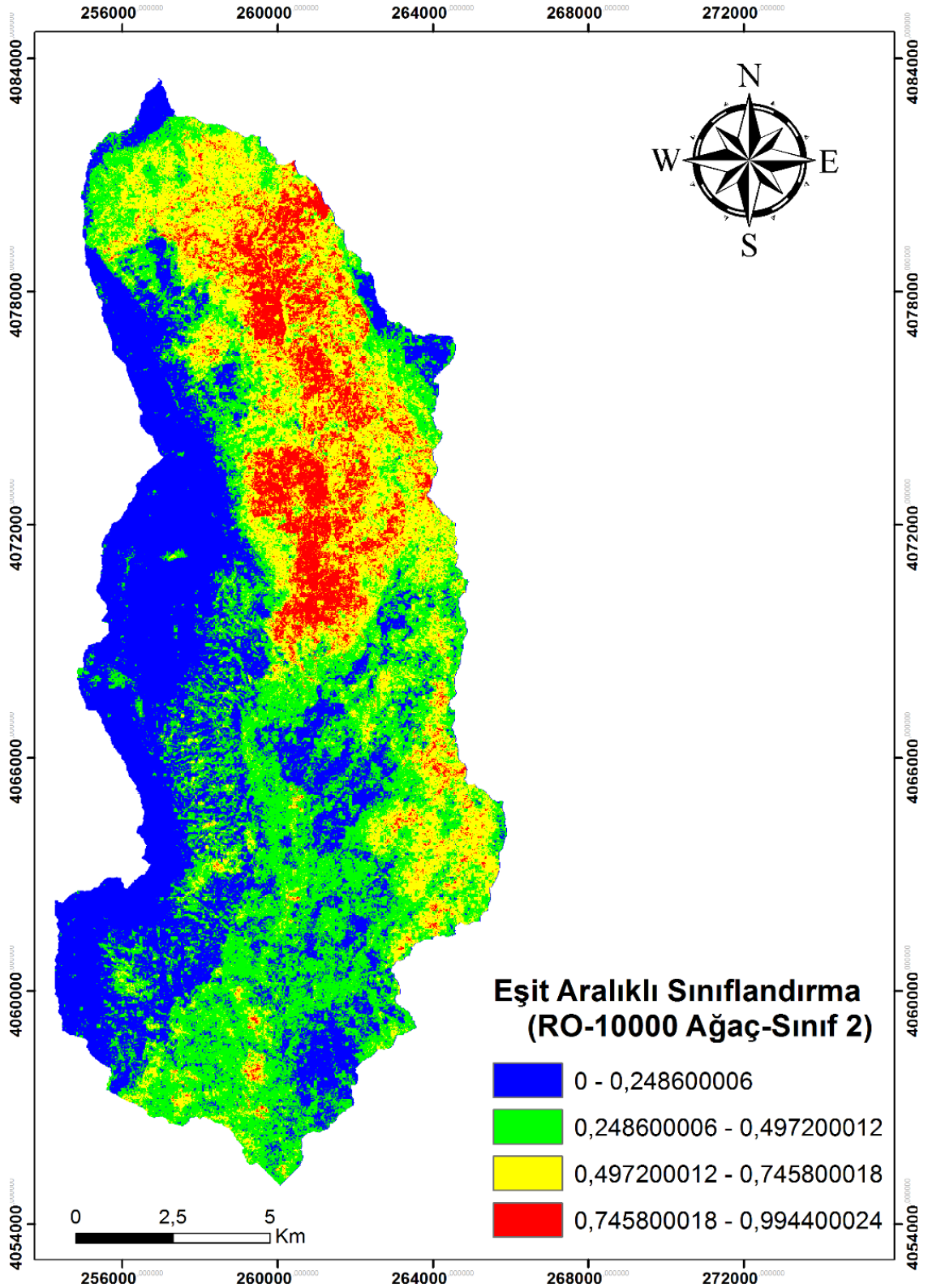


Şekil 4.9. RO algoritması-1000 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 3 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası

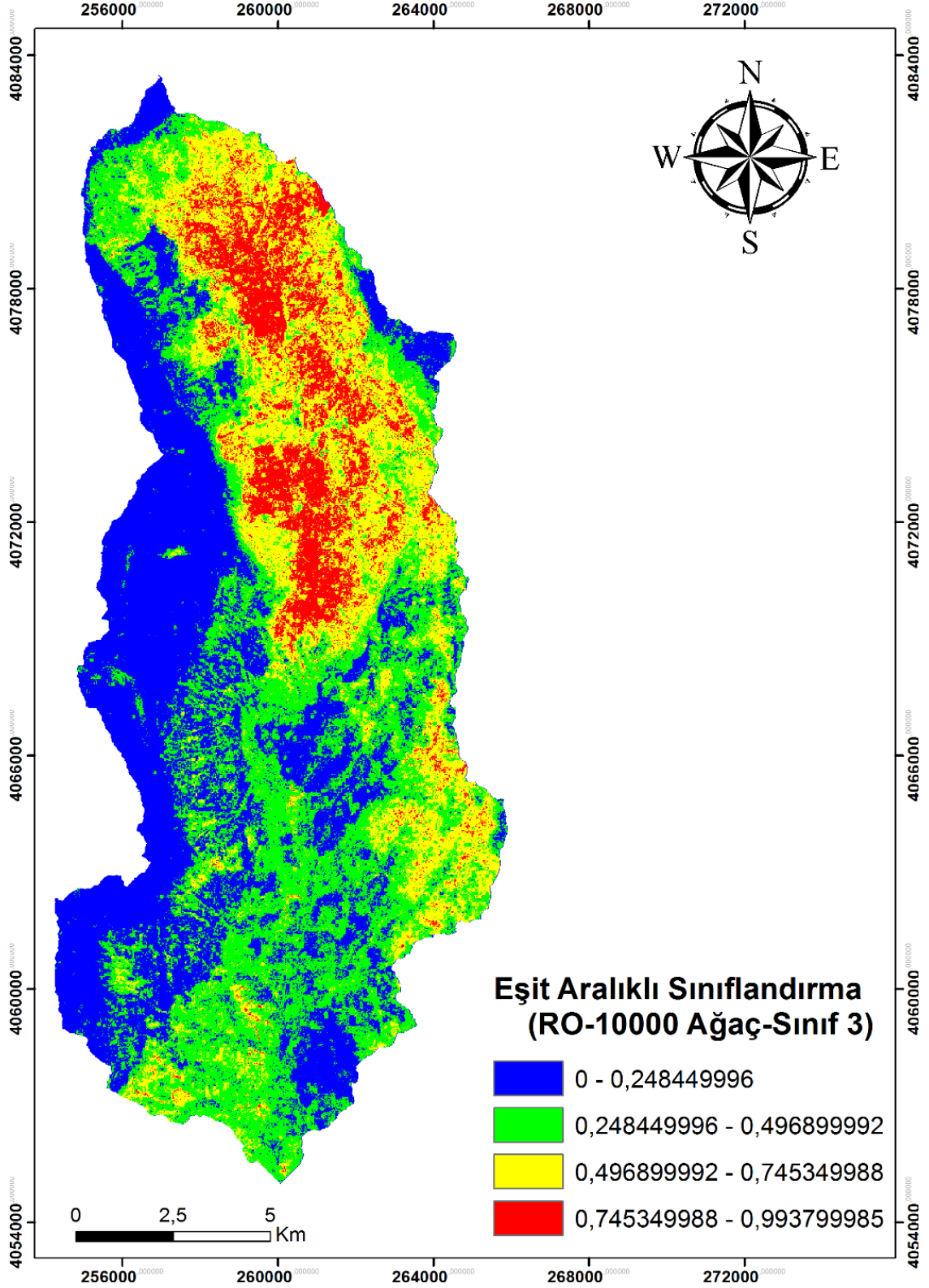




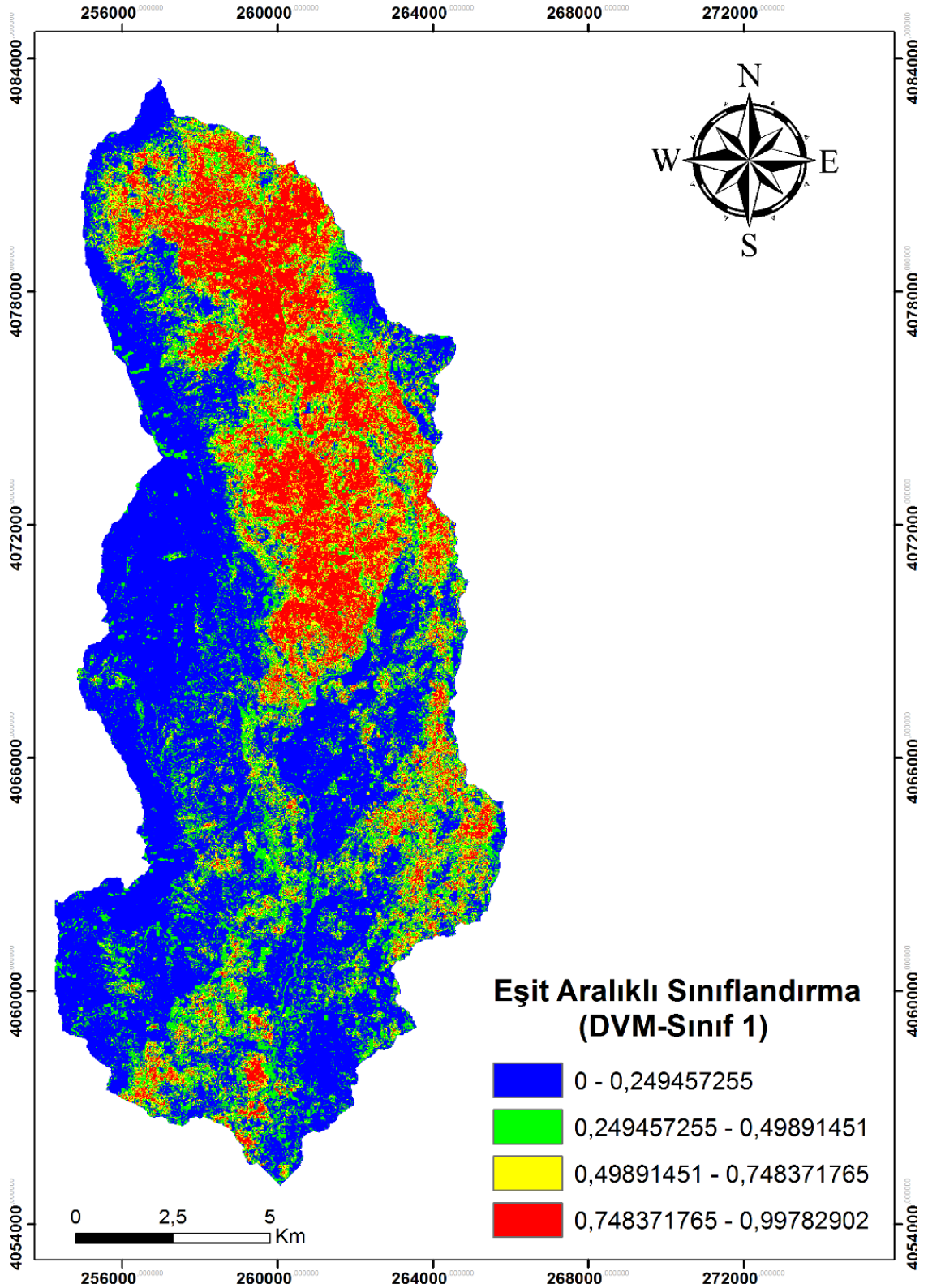
Şekil 4.10. RO algoritması-10000 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 1 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası



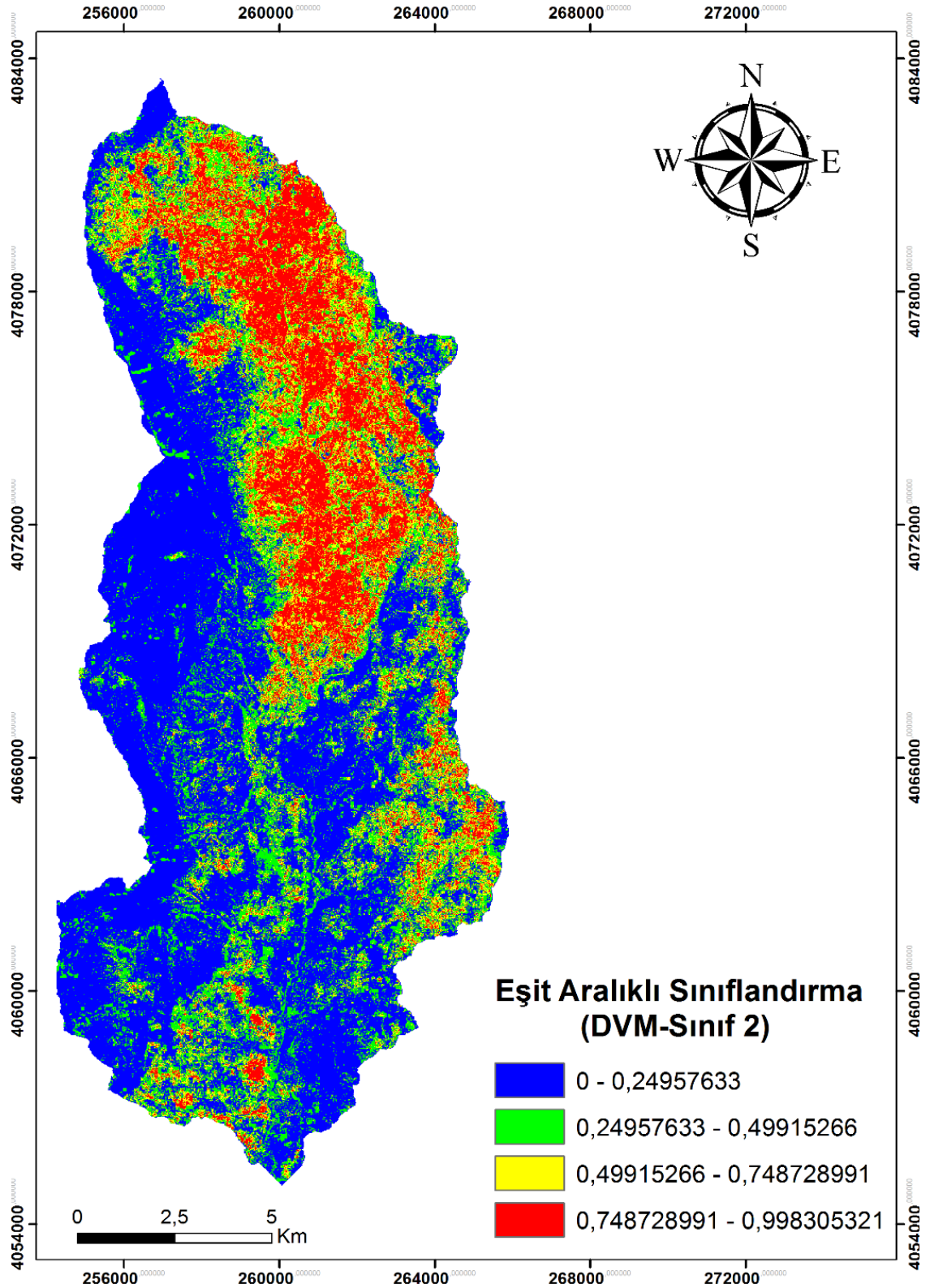
Şekil 4.11. RO algoritması-10000 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 2 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası



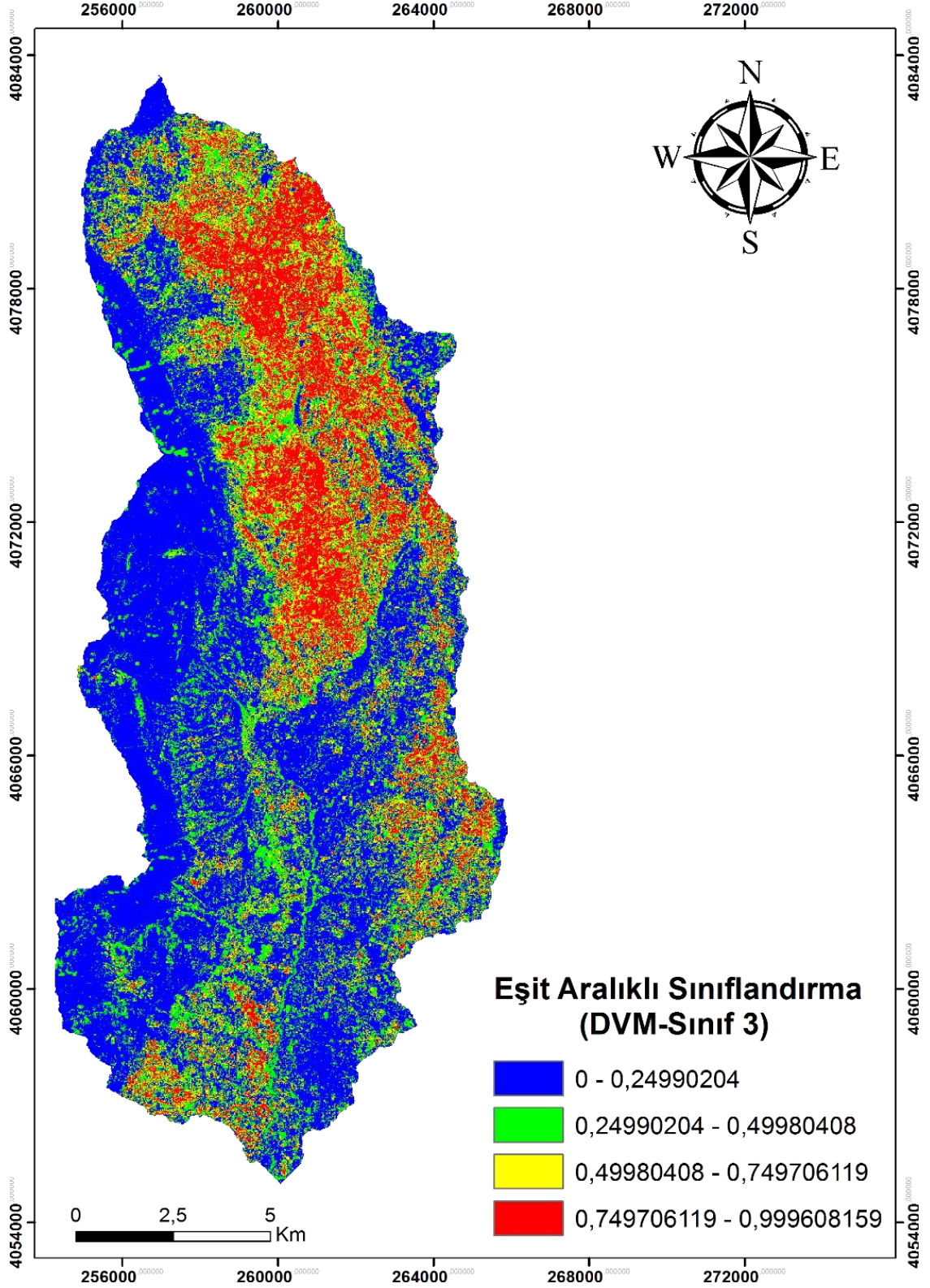
Şekil 4.12. RO algoritması-10000 ağaç sayısı kullanılarak sınıf 3 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası



Şekil 4.13. DVM algoritması kullanılarak sınıf 1 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası



Şekil 4.14. DVM algoritması kullanılarak sınıf 2 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası



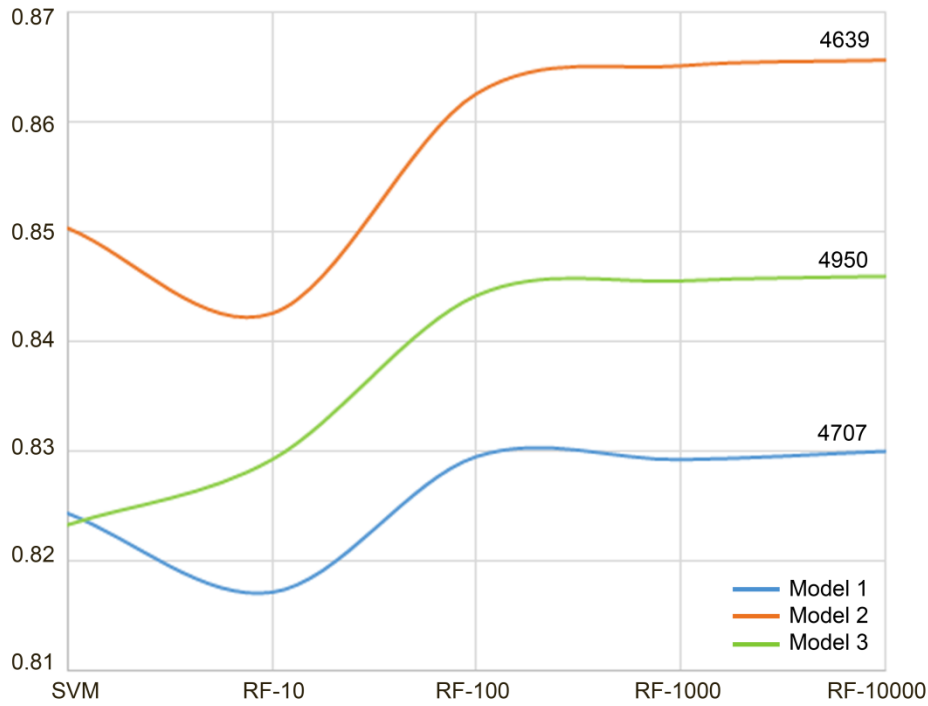
Şekil 4.15. DVM algoritması kullanılarak sınıf 3 verisinden üretilen heyelan duyarlılık haritası

Her bir modelin tüm sınıflandırmalar için model tahmin kapasiteleri Çizelge 6'da yer almaktadır. Bu tabloya göre, model 1,2 ve 3 için DVM sınıflandırmasının mekansal performansları sırasıyla 0.82, 0.85 ve 0.82'dir. Ağaç sayısı 10, 100, 1000 ve 10.000 olan RO sınıflandırmasının mekansal performansları kademeli olarak artmaktadır. Örneğin, üç model için 10.000 ağaçlık RO sınıflandırmasının mekansal performansı sırasıyla 0.83, 0.87 ve 0.85'dir (Çizelge 4.1).

**Çizelge 4.1.** Her bir sınıflandırma sonucu için AUC değerleri

Sınıflandırıcı	Model 1	Model 2	Model 3
DVM	0,82	0,85	0,82
RO – 10	0,82	0,84	0,83
RO – 100	0,83	0,86	0,84
RO – 1000	0,83	0,87	0,85
RO – 10000	0,83	0,87	0,85

Şekil 4.16'da mekânsal performansların (AUC değerlerinin) 2 boyutta grafiksel değerleri gösterilmektedir. 10,000 ağaçlı RO sınıflandırması, her ağaç modelinde en yüksek performansa sahiptir (Çizelge 4.1). Model 1 ve model 2 için 10 ağaçlı RO sınıflandırması dışında, DVM sınıflandırmasının mekânsal performansları genellikle RO sınıflandırma performanslarına göre daha düşük sonuçlar verdi.



**Şekil 4.16.** Model 1 (mavi), Model 2 (kırmızı) ve Model 3 (yeşil) için her sınıflandırmanın AUC değerleri

Şekil 4.16'da her model için eğitim örneklerinin sayısı gösterilmektedir. Model 1, Model 2 ve Model 3 için sırasıyla 2LRS algoritması kullanılarak 4707, 4639 ve 4950 eğitim örnekleri toplandı. Şekilden de anlaşılacağı gibi, Şekil 4.16'da eğitim örneklerinin sayısı heyelan duyarlılık haritalarının mekansal performansı üzerinde hiçbir etkiye sahip olmadığı gözlenmiştir. Bu duruma örnek olarak, model 2'nin performans değeri, sınıflandırma yöntemlerinin kalanından marjinal olarak daha yüksek bir performans değeri göstermektedir.

Sınıflandırma doğruluklarına ek olarak, dikkate alınması gereken bir başka faktör harcanan zamandır. Karşılaştırma için her iki sınıflandırma yönteminin işlem süreleri kaydedildi. Çalışma boyunca tüm analizler; 3.6 GHz CPU, 32 GB RAM ve 64 bit Windows 10 işletim sistemine sahip, Intel Xeon E3 1270v5 kullanan bir iş istasyonunda gerçekleştirildi (Ada ve San 2018).

RO sınıflandırmasında, ağaca boyutu uygulama zamanında önemli bir faktör olmasına rağmen, tüm modeller için RO sınıflandırması süresi hemen hemen aynıdır. Farklı modeller arasında harcanan zaman içindeki tek fark eğitim örneklerinin sayısıdır. Eğitim örneklerinin sayısı artarsa, hesaplama zamanı da benzer bir dereceye yükselir. (Ada ve San 2018). Örneğin, 10 ağaçlı RO'de sırasıyla 19, 20 ve 21 saniye olan model 1, 2 ve 3'ün RO sınıflandırma süreleri.

Ağaç boyutu RO sınıflandırmasında 100 olduğunda, elde edilen hesaplama süreleri sırasıyla 192 saniye, 190 saniye ve 209 saniyedir. RO sınıflandırmasındaki ağacın boyutu 1000 olduğunda, modellerin hesaplama zamanları sırasıyla 31.416, 30.633 ve 33.283 dakikadır. Son olarak, rastgele orman sınıflandırmasındaki ağaç boyutu 10.000 olduğunda, modellerin hesaplama zamanları sırasıyla 5.217, 5.143 ve 5.490 saat olarak elde edilir. Benzer şekilde, DVM parametre optimizasyonu ve DVM sınıflaması için harcanan zaman kaydedildi. DVM parametre optimizasyon işlemi, 1, 2 ve 3 modelleri için hesaplama süreleri sırasıyla 42.583, 41.7 ve 46.466 dakika olarak kaydedildi (Ada ve San 2018).

Üç modelde kullanılan DVM parametre optimizasyon işlemleri birbirine çok benzer sonuçlar verdi. Hesaplama periyodu, aynı zamanda en yüksek hesaplama süresine sahip, en çok eğitim örneğine karşılık gelen eğitim örnekleri sayısı da ilişkilidir. DVM parametre optimizasyon işleminden sonra her üç model için bir DVM sınıflandırması yapılarak sırasıyla 19.416 dakika, 19.1 dakika ve 20.183 dakika hesaplama zamanları üretildi (Ada ve San 2018).

Çalışmada girdi veri kaynağı çoğunlukla uydu görüntüleri idi. Bu durum, çalışmaların güncel veriler eşliğinde gerçekleştirildiği anlamına da gelmektedir. Bu bağlamda, elde edilen heyelan duyarlılık haritaları daha güvenilir olarak düşünülebilir.

Yaklaşımın bir diğer önemli yönü, girdi veri kümelerinin sürekli bir ölçekle kullanılması ve daha gerçekçi sonuçların üretilmesidir. Girilen veri kümeleri kategorik sınıflar içeriyorsa (Örnek, 5, 6 veya daha fazla aralıklarla sınıflandırılmış SYM, eğim, bakı veya jeoloji veri setleri vs.); daha sonra ortaya çıkan heyelan duyarlılık haritası, ayrı sınıfları içeren süreksiz verileri kapsar. Bu gibi durumlarda aşırı sınıflar (yani çok yüksek veya çok düşük duyarlılık sınıflarına sahip olanlar) komşu gibi görünebilir ve bu tip sınıf



değişiklikleri veya ortaya çıkan haritadaki aşırı sınıflar arasındaki sınırların varlığı doğal değildir.

Çalışmada, daha gerçekçi ve güvenilir haritalar üreten heyelan duyarlılık haritalarının üretimi için 2LRS örnekleme stratejisi uygulanmıştır (Ada ve San 2018). Önceki çalışmalarda, heyelan gövdelerinin örneklemesini kullanmıştır. Nefeslioğlu vd. (2008) ve San (2014) eğitim örneklerinin heyelan gövdelerinden ziyade tohum hücrelerinden toplanması gerektiğini iddia etmişlerdir.

Tekrar hatırlamak gerekirse, örnekler heyelan gövdesinden toplanırsa, ortaya çıkan harita aslında "**otomatik heyelan haritası**" olur. Örneklerin tohum hücrelerinden toplandığı durumlarda, eğitim ve test örnekleri farklı tohum hücresi poligonlarından toplanmalıdır. Aksi durumda elde edilen heyelana duyarlılık haritası gerçek heyelan duyarlılığı haritası olmayacak ve bu haritanın mekansal doğruluğu gerçek değerden çok daha yüksek sonuçlar çıkaracaktır.

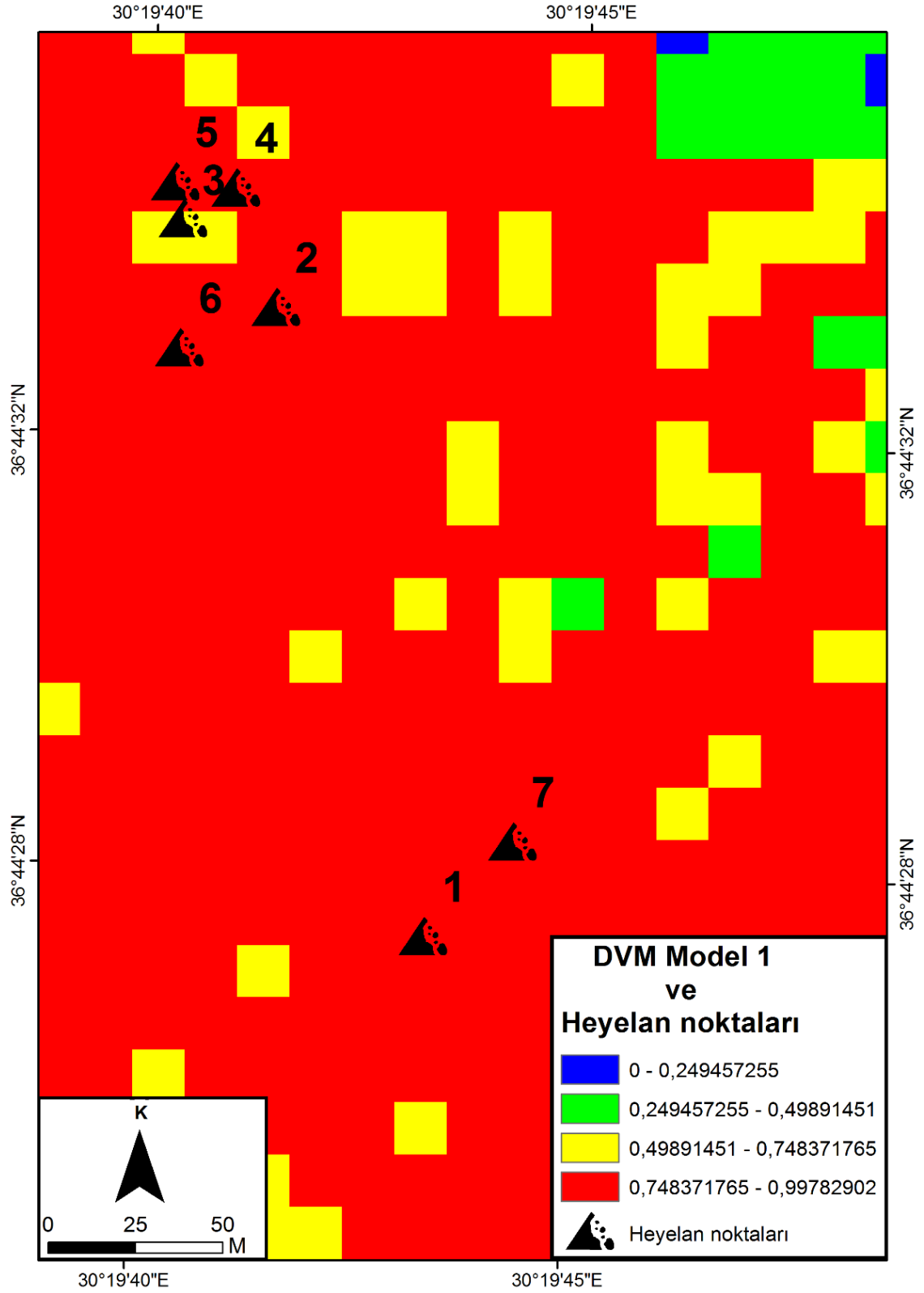
Bu çok yüksek değerlere sahip sonuçlar "sanal doğruluklar" olarak tanımlanmaktadır. Eğitim ve test verileri için yanlış örnekleme stratejisi kullanıldığından dolayı, bu gibi yöntemler güvenilir kabul edilmemelidir.

Duyarlılık haritaları üretildikten sonra doğruluğun en iyi değerlendirilmesini gerçekleştirmek için; analiz veya çalışma sonucunda tanımlanan yüksek hassasiyete sahip bir bölgede bir heyelan oluşması gerekmektedir. Duyarlılık haritalama analizlerinin hemen ardından, 14 Mart 2017'de çalışma alanının içerisinde gerçekleşen büyük bir heyelan meydana geldi.

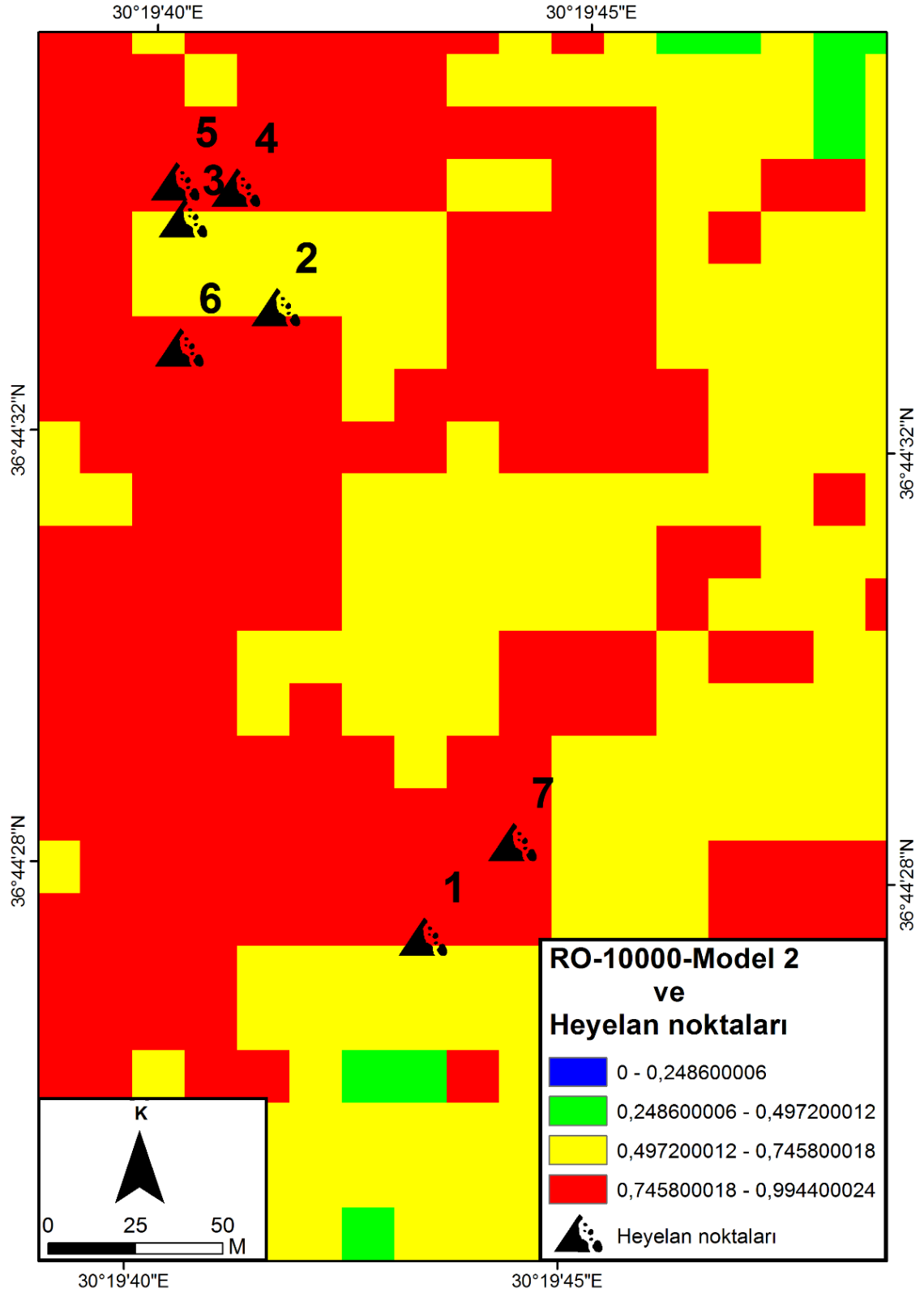
CNNTürk (2017) ve Milliyet (2017)'de heyelanın gerçekleştiği bölgedeki durum ile ilgili haber yayımlandı. Bölgede yer alan beş ev ve iki ahırın tamamen yıkıldığı ve bölgedeki ciddi hasarlardan dolayı 13 evin tahliye edildiği bilgisi alındı.

Önemli ölçüde hasara yol açan olayın sebepleri araştırılmaya başlandı. Bu bağlamda, çalışma alanı çevresindeki meteorolojik istasyonların sonuçlarına göz atıldı. İstasyondan alınan sonuçlara göre; üç gün boyunca yıllık yağış miktarından (MGM 2017) daha yüksek olan yaklaşık 88 mm / m<sup>2</sup> yağmur suyunu çalışma havzasına bırakmıştı. Bu değer kontrol edildiğinde, yıllık ortalama yağış miktarının yaklaşık % 12' sine eşit olduğu gözlemlendi (Ada ve San 2018).

Şekil 4.17 ve 4.18'de, sırasıyla DVM modeli 1 ve RO 10,000 ağaç model 2 için en düşük ve en yüksek AUC değerlerine sahip heyelan duyarlılık haritaları yer almaktadır. Sahada çekilen fotoğrafların coğrafi noktaları, heyelan heyelan duyarlılık haritaları üzerinde rakamlı bir şekilde konumlandırılmıştır. Meydana gelen tahribat, 7 adet fotoğraf ile gösterilemeye çalışıldı.



Şekil 4.17. DVM algoritması-model 1 sonucu ve meydana gelen heyelana ait noktalar



Şekil 4.18. RO algoritması-1000 ağaç-model 2 sonucu ve meydana gelen heyelana ait noktalar



**Şekil 4.19.** Meydana gelen heyelana ait tahribat görüntüleri (1 nolu heyelan noktası)



**Şekil 4.20.** Meydana gelen heyelana ait tahribat görüntüleri (2 nolu heyelan noktası)



**Şekil 4.21.** Meydana gelen heyelana ait tahribat görüntüleri (3 nolu heyelan noktası)



**Şekil 4.22.** Meydana gelen heyelana ait tahribat görüntüleri (4 nolu heyelan noktası)



**Şekil 4.23.** Meydana gelen heyelana ait tahribat görüntüleri (5 nolu heyelan noktası)



**Şekil 4.24.** Meydana gelen heyelana ait tahribat görüntüleri (6 nolu heyelan noktası)



**Şekil 4.25.** Meydana gelen heyelana ait tahribat görüntüleri (7 nolu heyelan noktası)

Görüntülerden de anlaşılacağı üzere, heyelanların insan hayatına etkisi oldukça fazladır. Türkiye’de, depremden sonra en fazla mal ve can kaybına sebep veren doğal afetin heyelan olduğu ve bu doğal afetin ne kadar tehlikeli sonuçlar doğurduğu bir kez gözlemlenmiştir.

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, uzaktan algılama teknikleri ile üretilmiş 28 girdi veri kümesi kullanıldı. Bu durum, sürekli ölçekli heyelan duyarlılık haritalarını korur. Eğer giriş veri kaynakları sürekli bir ölçekte bulunursa, elde edilen sonuçlar kesintisiz olacak demektir ve bu sayede nihai sonuç daha gerçekçi olacaktır.

Bu çalışma için, heyelan duyarlılık haritalandırılması için iki makine öğrenme algoritması (DVM ve RO), "İki Düzeyli Rastgele Örneklem (2LRS)" olarak bilinen yeni bir örnekleme stratejisi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu örnekleme algoritmasında, eğitim ve test numuneleri birbirinden tamamen bağımsızdır. Ve diğer örnekleme yöntemlerine göre daha az sayıda toplanan numune gereklidir. Bu sayede makine-öğrenme sınıflandırmalarının hesaplanması için zamandan tasarruf sağlanmıştır gözlemlendi.

Çalışmada toplanan eğitim örneklerinin sayılarının, heyelan duyarlılık haritalarının mekansal performansı üzerinde etkiye sahip olmadığı varılan sonuçlar arasındadır. Bu sonucun örneğini model 2'de gözlemleyebiliriz. Model 2'nin performans değeri, sınıflandırma yöntemlerinin kalanından marjinal olarak daha yüksek bir performans değeri gösterdi.

Her iki makine-öğrenme algoritması, yüksek mekansal performansa sahip sonuçlar vermiştir ve bu değer %82-87 arasında değişmektedir. RO sınıflamasındaki ağaç sayısındaki bir artış, mekansal doğruluk değerlerinin %2-3 arasında artmasına neden olmuştur. Kısacası, ağaç boyutlarının sayısı arttıkça, mekansal performans da artış gösterdiği sonucuna ulaşıldı.

Elde edilen sonuçlardan, DVM ve RO sınıflandırmalarında mekansal performanslarının birbirine yakın doğruluk değerleri taşıdığı ortaya koyuldu. RO'da ağaç sayısı arttıkça mekansal performans değerlerinin arttığı gözlemlendi. Ancak 100, 1000 ve 10.000 ağaç boyutları arasında belirgin bir fark gözlemlenmedi.

Gerçekleştirilen çalışmanın teknik kısmıyla ilgili olarak; tohum hücre poligonlarının hazırlanması ve 2LRS'nin gerçekleştirilmesi zaman alıcı bir durum olarak gözlemlendi. Dolayısıyla gelecekte yapılacak olan çalışmalar, heyelan duyarlılık haritalanması çalışmalarında otomatik veya yarı otomatik bir yeni örnekleme algoritması prosedürünün geliştirilmesi yönelik olabilir. Bu sayede, mevcut heyelanlar üzerinden farklı algoritma sonuçlarını değerlendirmek için fazlasıyla zaman kazanılabilir.

Heyelan duyarlılık haritalaması çalışmaları, afet yönetimi ve duyarlı alanların korunması açısından çok önemli bir unsur olarak görülmelidir. Mekansal doğruluklarından emin olunan duyarlılık haritaları ile, insan yaşamına olumsuz etki eden heyelan afetinden korunmak için alt yapı ve üst yapı mühendislik çalışmalarında ciddi önlemler alınabilir.



Hali hazırda, mevcut durum göz önüne alınarak; yerel yönetimler ve özel kuruluşların ortak çalışmaları artırılabilir. Farklı teknikler ve yöntemler uygulanarak üretilcek olan yeni duyarlılık haritaları, ülke gelişimine hem bilimsel hem de ekonomik açıdan fayda sağlayabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Abrams, M. 2000. The advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER): data products for the high spatial resolution imager on NASA's Terra platform. *Int J Remote Sens*, 21:847–859.
- Ada, M. San, B.T. 2018. Comparison of machine-learning techniques for landslide susceptibility mapping using two-level random sampling (2LRS) in Alakir catchment area, Antalya, Turkey. *NATURAL HAZARDS*, 90(1):237-263.
- Akgun, A. Sezer. E.A. Nefeslioglu, H.A. Gokceoglu, C. Pradhan, B. (2012). An easy-touse MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm. *Comput Geosci*, 38:23–34.
- Anonymous 1: American society of çivil engineers. <http://www.asce.org> [Son eriřim tarihi: 05.08.2018].
- Anonymous 2: Association of Engineering Geologists. <http://www.aegweb.org> [Son eriřim tarihi: 05.08.2018].
- Anonymous 3: Landslide Hazards Program. <http://landslides.usgs.gov> [Son eriřim tarihi: 05.08.2018].
- Anonymous 4: U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. <http://www.ncgc.nrcs.usda.gov/> [Son eriřim tarihi: 05.08.2018].
- Ayalew, L. Yamagishi, H. 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65:15–31.
- Baeza, C. Corominas, J. 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surf Proc Land*, 26:1251–1263.
- Begueri'a, S. 2006. Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management. *Nat Hazards*, 37:315–329.
- Breiman, L. 2001. Random forests. *Mach Learn*, 45(1):5–32.
- Brenning, A. 2005. Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation. *Nat Hazards Earth Syst Sci*, 5:853–862.
- Bui, D. Pradhan, B. Lofman, O. Revhaug, I. Dick, O. 2012. Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro fuzzy inference system and GIS. *Comput Geosci*, 45:199–211.
- Can, T. Nefeslioglu, H.A. Gokceoglu, C. Sonmez, H. Duman, T.Y. 2005. Susceptibility assessments of shallow earthflows triggered by heavy rainfall at three subcatchments by logistic regression analyses. *Geomorphology*, 72:250–271.
- Chen, C.W. Chen, H. Oguchi, T. 2016. Distributions of landslides, vegetation, and related sediment yields during typhoon events in northwestern Taiwan. *Geomorphology*, 273:1–13.
- Chen, W. Peng, J. Hong, H. Shahabi. Pradhan, B. Liuc, J. Zhu, A.X. Pei, X. Duana, Z. 2018. Landslide susceptibility modelling using GIS-based machine learning

- techniques for Chongren County, Jiangxi Province, China. *Science of the Total Environment*, 626:1121-1135.
- Chen, W. Xie, X. Wang, J. Pradhan, B. Hong, H. Bui, DT. Duan, Z. Ma, J. 2017. A comparative study of logistic model tree, random forest, and classification and regression tree models for spatial prediction of landslide susceptibility. *CATENA*, 151:147–160.
- CNNTurk. 2017. Heyelan Antalya'da 8 evi yıktı. <http://www.cnnturk.com/video/turkiye/antalyada-heyelan-8-evi-yikti>. Türkiye.
- Dagdelenler, G. Nefeslioglu, H.A. Gokceoglu, C. 2016. Modification of seed cell sampling strategy for landslide susceptibility mapping: an application from the Eastern part of the Gallipoli Peninsula (Canakkale, Turkey). *Bull Eng Geol Env*, 75:575–590.
- Das, I. Sahoo, S. Van W.C. Stein, A. Hack, R. 2010. Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India). *Geomorphology*, 114:627–637.
- Das, I. Stein, A. Kerle, N. Dadhwal, V.K. 2012. Landslide susceptibility mapping along road corridors in the Indian Himalayas using Bayesian logistic regression models. *Geomorphology*, 179:116–125.
- Dominguez-Cuesta, M. Jimenez-Sánchez, M. Berrezueta, E. 2007. Landslides in the Central Coalfield (Cantabrian Mountains, NW Spain): geomorphological features, conditioning factors and methodological implications in susceptibility assessment. *Geomorphology*, 89:358–369.
- Duman, T.Y. Can, T. Emre, O. Kecer, M. Dogan, A. Ates, S. Durmaz, S. 2005. Landslide inventory of northwestern Anatolia, Turkey. *Eng Geol*, 77:99–114.
- Duman, T.Y. Can, T. Gokceoglu, C. Nefeslioglu, H.A. Sonmez, H. 2006. Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area, Istanbul, Turkey. *Environ Geol*, 51:241–256.
- Duman, T.Y. Olgun, S. Can, T. Nefeslioglu, H.A. Hamzacebi, S. Elmaci, H. Durmaz, S. Corekcioglu, S. 2009. 1:500,000 Scaled Landslide Inventory Maps of Turkey, Konya Quarter. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara. 22.
- Dumont, J. F. Kerey, E. 1975. Eğirdir gölü güneyinin temel jeolojik etüdü. *Türkiye Jeol. Kur. Bült.* 18(2):169-174.
- Dumont, J.F. 1976. Etudes géologiques dans les Taurides occidentales: Les formations Paléozoïques et Mésozoïques de la couplede Karacahisar (Province d'Isparta, Turquie): These 3 cycle, Univ. Paris-Sud. Orsay, 213.
- Ercanoglu, M. Gokceoglu, C. 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Eng Geol*, 75:229–250.
- Foody, G.M. Mathur, A. Sanchez-Hernandez, C. Boyd, D.S. 2006. Training set size requirements for the classification of a specific class. *Remote Sens Environ*, 104:1–14.

- Gillespie, A. Kahle, A. Walker, R. 1987. Color enhancement of highly correlated images. I. Decorrelation and HSI contrast stretches. *Remote Sens Environ*, 20:209–235.
- Gislason, P.O. Benediktsson, J.A. Sveinsson, J.R. 2006. Random forests for land cover classification. *Pattern Recogn Lett*, 27(4):294–300.
- Goetz, J.N. Brenning, A. Petschko, H. Leopold, P. 2015. Evaluating machine learning and statistical prediction techniques for landslide susceptibility modeling. *Comput Geosci*, 81:1–11.
- Gokce, O. Ozden, S. Demir, A. 2008. Spatial and statistical distribution of disasters in Turkey. In: *Inventory of disaster data*. The Ministry of Public Works and Settlement, General Directorate of Disaster Affairs, Department of Disaster Investigation and Damage Assessment, 126.
- Gokceoglu, C. Ercanoglu, M. 2001. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Yerbilimleri*, 23:189–206
- Gomez, H. Kavzoglu, T. 2005. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Eng Geol*, 78:11–27.
- Gonzalez-Ollauri, A. Mickovski, S.B. 2017. Hydrological effect of vegetation against rainfall-induced landslides. *J Hydrol*, 549:374–387.
- Guzzetti, F. Carrarra, A. Cardinali, M. Reichenbach, P. 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31:181–216.
- Günay, Y. Bölükbaşı, A. S. Yoldemir, O. 1982. Beydağlarının stratigrafisi ve yapısı: Türkiye Altıncı Petrol Kong. *Teb*, 90-101.
- Heakmann, T. Gegg, K. Gegg, A. Becht, M. 2014. Sample size matters: investigating the effect of sample size on a logistic regression susceptibility model for debris flows. *Nat Hazards Earth Syst Sci*, 14:259–278.
- Hirano, A. Welcha, R. Langb, H. 2003. Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment. *ISPRS J Photogramm Remote Sens*, 57(5–6):356–370.
- Hussin, H.Y. Zunpano, V. Reichenbach, P. Sterlacchini, S. Micu, M. Van, W.C. Balteanu, D. 2016. Different landslide sampling strategies in a grid-based bi-variate statistical susceptibility mode. *Geomorphology*, 253:508–523.
- Juteau, T. Marcoux, J. 1973. Un exemple de volcanisme sous-marin au Trias superieurle strato-volcano du Kara Dere, Çaban dağ (Ophiolites des nappes d'Antalya-Taurides occidentales-Turquie): *Int. Sym. uber die stra. der Alpin-Medit. Trias*, Wien. 238-239.
- Juteau, T. 1975. Les ophiolites des nappes d'Antalya (Taurides occidentales, Turquie): *These, Sc., Nancy, Mem.*, 32: 692.
- Kalafatçioğlu, A. 1973. Antalya Körfezi batı kısmının jeolojisi. *MTA. Derg.* 81.82-131.
- Lefevre, R, 1967, Un nouvel element de la geologie du Taurides Lycien: Les nappesD'Antalya (Turquie): *C. R. A. Sp, Paris*, 263:1365-1368.
- Kiss, R. 2004. Determination of drainage network in digital elevation model, utilities and

- limitations. *J Hung Geomath*, 2:16–29.
- Koc-San, D. 2013. Evaluation of different classification techniques for the detection of glass and plastic greenhouses from WorldView-2 satellite imagery. *J Appl Remote Sens*, 7:073553-1–073553-20.
- Lee, S. Dan, N.T. 2005. Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: focus on the relationship between tectonic fractures and landslides. *Environ Geol*, 48:778–787.
- Lee, S. Min, K. 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environ Geol*, 40(1095–1113):263.
- Lee, S. Pradhan, B. 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4:33–41.
- Lee, S. Ryu, J. Won, J. Park, H. 2004. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. *Eng Geol*, 71:289–302.
- Marcoux, J. 1977. Geological sections of the Antalya region. In Güvenç, T. and others (ed.), *Western, Taurus excursion geological guide book: Vi Colloquium on the Geology of Aegean Redion*.
- Marjanovic, M. Kovacevic, M. Bajat, B. Vozeni'lek, V. 2011. Landslide susceptibility assessment using SVM machine learning algorithm. *Eng Geol*, 123:225–234.
- Mathur, A. Foody, G.M. 2007. Crop classification by support vector machine with intelligently selected training data for an operational application. *Int J Remote Sens*, 29(8):2227–2240.
- MGM. 2017. General directorate of meteorology, Turkey. On-line Meteorological Access <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ANTALYA>. Accessed 17 Aug 2017
- Milliyet, 2017a. 12 houses evacuated due to landslide in Kumluca (County), <http://www.milliyet.com.tr/kumluca-da-heyelan-nedeniyle-12-ev-gundem-2417651/>. Accessed 21 March 2017 (in Turkish).
- Milliyet. 2017b. The landslide's hurt in Kumluca County, <http://www.milliyet.com.tr/kumluca-dakiheyelanin-yaralari-sariliyor-antalya-yerelhaber-1925025/>. Accessed 22 March 2017 (in Turkish).
- Maazel, M.R. Pradhan, B. 2018. An improved algorithm for identifying shallow and deep-seated landslides in dense tropical forest from airborne laser scanning data. *Catena*, 167:147-159.
- Moore, I.D. Burch, G.J. 1986. Sediment transport capacity of sheet and rill flow: application of unit stream power theory. *Water Resour Res*, 22:1350–1360.
- Moore, I.D. Grayson, R.B. Ladson, A. 1991. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrol Process*, 5:3–30.
- Moore, I.D. Wilson, J.P. 1992. Length-slope factors for the revised universal soil loss equation: simplified method for estimation. *J Soil Water Conserv*, 47:423–428.

- Mountrakis, G. Im, J. Ogole, C.(2011. Support vector machines in remote sensing: a review. *ISPRS J Photogramm Remote Sens*, 66:247–259.
- Nefeslioglu, H.A. Gokceoglu, C. Sonmez, H. 2008. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Eng Geol*, 97:171–191.
- Nefeslioglu, H.A. Gokceoglu, C. Sonmez, H. Gorum, T. 2011. Medium-scale hazard mapping for shallow landslide initiation: the Buyukkoy catchment area (Cayeli, Rize, Turkey). *Landslides*, 8:459–483.
- Nefeslioglu, H.A. San, B.T. Gokceoglu, C. Duman, T.Y. 2012. An assessment on the use of Terra ASTER L3A data in landslide susceptibility mapping. *Int J Appl Earth Obs Geoinf*, 14:40–60.
- Nefeslioglu, H.A. Sezer, E. Gokceoglu, C. Bozkir, A.S. Duman, T.Y. 2010. Assessment of landslide susceptibility by decision trees in the metropolitan area of Istanbul, Turkey. *Math Probl Eng*, 2010:1–15.
- Oh, H.J. Pradhan, B. 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Comput Geosci*, 37:1264–1276.
- Olaya, V. 2004. A Gentle introduction to SAGA GIS. Reference list. <http://www.saga-gis.org/en/about/references.html>. Accessed 21 March 2017
- Petschko, H. Bell, R. Leopold, P. Heiss, G. Glade, T. 2013. Landslide inventories for reliable susceptibility maps. In: Margottini C, Canuti P, Sassa K (eds) *Landslide science and practice*, vol. 1: landslide inventory and susceptibility and hazard zoning. Springer, Berlin.
- Petschko, H. Brenning, A. Bell, R. Goetz, J. Glade, T. 2014. Assessing the quality of landslide susceptibility maps—case study Lower Austria. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 14:95–118. doi:10.5194/nhess-14-95-2014.
- Pham, B.T. Pradhan, B. Bui, D.T. Prakash, I. Dholakia, M.B. 2016, A comparative study of different machine learning methods for landslide susceptibility assessment: a case study of Uttarakhand area (India). *Environ Model Softw*, 84:240–250.
- Poisson, A. 1977. *Recherches geologies dans les Taurides occidentales(Turquie)*: These Univ. Paris-sud orsay, 795.
- Pour, A.B. Hashim, M. 2011. Application of advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data in geological mapping. *Int J Phys Sci*, 6(33):7657–7668.
- Pourghasemi, H.R. and Rahmati, O. 2018. Prediction of the landslide susceptibility: Which algorithm, which precision. *Catena*, 162(1): 177-192.
- Pourghasemi, H.R. Mohammady, M. Pradhan, B. 2012. Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. *Catena*, 97:71–84.
- Pradhan, B. 2013. A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS. *Comput Geosci*, 51:350–365.

- Pradhan, B. Lee, S. 2010. Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environ Model Softw*, 25:747–759.
- Pradhan, B. Lee, S. Buchroithner, M. 2009. Use of geospatial data for the development of fuzzy algebraic operators to landslide hazard mapping: a case study in Malaysia. *Appl Geomat*, 1:3–15.
- Rabe, A. Van der Linden, S. Hostert, P. 2010. imageSVM, Version 2.1. [www.hu-geomat.de](http://www.hu-geomat.de). Accessed 23 Aug 2013.
- Rodriguez-Galiano, V.F. Ghimire, B. Rogan, B. Chica-Olmo, M. Rigol-Sanchez, J.P. 2012. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification. *ISPRS J Photogramm Remote Sens*, 67:93–104.
- Rowan, L. Mars, J. 2003. Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data. *Remote Sens Environ*, 84:350–366.
- Saito, H. Nakayama, D. Matsuyama, H. 2009. Comparison of landslide susceptibility based on a decision-tree model and actual landslide occurrence: the Akaishi Mountains, Japan. *Geomorphology*, 109:108–121.
- San, B.T. 2014. An evaluation of SVM using polygon-based random sampling in landslide susceptibility mapping: the Candir catchment area (western Antalya, Turkey). *Int J Appl Earth Obs Geoinf*, 26:399–412.
- San, B.T. Suzen, M.L. 2005. Digital elevation model (DEM) generation and accuracy assessment from ASTER stereo data. *Int J Remote Sens*, 26(22):5013–5027.
- San, B.T. Sumer, E.O. Gurcay, B. 2004. Comparison of band ratioing and spectral indices methods for detecting alunite and kaolinite minerals using aster data in Biga region, Turkey. In: XXth ISPRS Congress, July 12–23 2004 Istanbul, Turkey, Commission, 7:77–82.
- Santini, M. Grimaldi, S. Nardi, F. Petroselli, A. Rulli, M.C. 2009. Pre-processing algorithms and landslide modelling on remotely sensed DEMs. *Geomorphology*, 113:110–125.
- Shen, P. Zhang, L.M. Chen, H.X. Gao, L. 2017. Role of vegetation restoration in mitigating hillslope erosion and debris flows. *Eng Geol*, 216:122–133
- Suzen, M.L. Doyuran, V. 2004. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Eng Geol*, 71:303–321.
- Suzen, M.L. Kaya, B.S. 2012. Evaluation of environmental parameters in logistic regression models for landslide susceptibility mapping. *Int J Dig Eart*, 5:338–355.
- Şenel, M. 1997. 1:100,000 scaled geological maps of Turkey, No. 7, Antalya—L10 Map. General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey (in Turkish).
- Şenel, M. Selçuk, H. Bilgin, A. Z. Şen, M. A. Karaman, T. Dinçer, M. A. Durukan, E. Arbas, A. Örçen, S. Bilgi, C. 1989. Çameli (Denizli)-Yeşilova (Burdur)-Elmalı

- (Antalya) ve dolayının jeolojisi; MTA Rap. 9429,344s. Ankara (yayımlanmamış).
- Şenel, M. Serdaroğlu, M. Kengil, R. Ünverdi, M. Gözler, M. Z. 1981. Teke Toroslarının güneydoğusunun jeolojisi: MTA Derg, 95-96, 13-43.
- Şenel, M. 1986. Alakırçay grubu, Kumluca zonunun litostratigrafi özellikleri ve yaşı: Güneybatı Antalya-Türkiye.MTA Derg,103/104:151-153.
- Şenel, M. 1997. 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Antalya-L10 paftası. No: 7. MTA. Ankara. Şenel. M. 1997. 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Antalya-L10 paftası. No: 7. MTA. Ankara.
- Tax, D. Duin, E. 1999. Support vector domain description. *Pattern Recogn Lett*, 20:1191–1199.
- Trigila, A. Iadanza, C. Esposito, C. Scarascia-Mugnozza, G. 2015. Comparison of Logistic Regression and Random Forests techniques for shallow landslide susceptibility assessment in Giampilieri (NE Sicily, Italy). *Geomorphology*, 249:119–136.
- Tsangaratos, P. Ilia, I. 2016. Comparison of a logistic regression and Naïve Bayes classifier in landslide susceptibility assessments: the influence of models complexity and training dataset size. *CATENA*, 145:164–179.
- Turker, M. Koc-San, D. 2010. Building detection from pan-sharpened IKONOS imagery through support vector machines classification. *Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci*, XXXVIII (Part 8):841–846.
- Turker, M, Koc-San, D. 2015. Building extraction from high-resolution optical spaceborne images using the integration of support vector machine (SVM) classification, Hough transformation and perceptual grouping. *Int J Appl Earth Obs Geoinf*, 34:58–69.
- Turner, K.A. Schuster, R.L. 1996. Landslides—Investigation and mitigation: Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press.
- Van der Linden, S. Rabe, A. Wirth, F. Suess, S. Okujeni, A. Hostert, P. 2010. *Image SVM regression, application manual: imageSVM Version 2.1*. Humboldt Universita't zu Berlin, Berlin.
- Van der Meer, F.D. Van der Werff, H.M.A. Van Ruitenbeek, F.J.A. Hecker, C.A. Bakker, W.H. Noomen, M.F. Van der Meijde, M. Carranza, E.J.M. Smeth, J.B. Woldai, T. 2012. Multi- and hyperspectral geologic remote sensing: a review. *Int J Appl Earth Obs Geoinf*, 14:112–128.
- Vapnik, V. 1995. *Nature of statistical learning theory*. Wiley, New York.
- Varnes, D. 1978. Landslides types and processes, landslides and engineering practice. In: Eckel E (ed) *Highway research board spec report*. National Research Council, Washington, 20–47.
- Varnes, D.J. 1978. Slope movement types and processes, in Schuster, R.L., and Krizek, R.J., eds., *Landslides—Analysis and control*: National Research Council, Washington, D.C., Transportation Research Board, Special Report, 176: 11–33.
- Wan, S. 2009. A spatial decision support system for extracting the core factors and



- thresholds for landslide susceptibility map. *Eng Geol*, 108:237–251.
- Waske, B. van der Linden, S. Oldenburg, O. Jakimow, B. Rabe, A. Hostert, P. 2012. ImageRF—a user-oriented implementation for remote sensing image analysis with random forests. *Environ Model Softw*, 35:192–193.
- Wilson, J. Gallant, J. 2000. *Terrain analysis principles and applications*. Wiley, Canada
- Yamaguchi, Y. Fujisada, H. Kudoh, M. Kawakami, T. Tsu, H. Kahle, A. Pniel, M. (1999). ASTER Instrument characterization and operation scenario. *Adv Space Res*, 23:1415–1424.
- Yao, X. Tham, L.G. Dai, F.C. 2008. Landslide susceptibility mapping based on support vector machine: a case study on natural slopes of Hong Kong, China. *Geomorphology*, 101:572–582
- Yeon, Y.K. Han, J.G. Ryu, K.H. 2010. Landslide susceptibility mapping in Injae, Korea, using a decision tree. *Eng Geol*, 116:274–283.
- Yesilnacar, E. Topal, T. 2005. Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Eng Geol*, 79:251–266.
- Yilmaz, I. 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat, Turkey). *Comput Geosci*, 35:1125–1138.
- Zhu, A.X. Miao, Y. Yang, L. Bai, S. Liu, J. Hong, H. 2018. Comparison of the presence-only method and presence-absence method in landslide susceptibility mapping. *Catena*, 171:222-233.

## ÖZGEÇMİŞ

**METEHAN ADA**

**metehanada1@gmail.com**



## ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2015-	Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2009-2015	Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya

## MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

### ESERLER

#### Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makale

1- Ada, M. and San, B.T. 2018. Comparison of machine-learning techniques for landslide susceptibility mapping using two-level random sampling (2LRS) in Alakir catchment area, Antalya, Turkey. Natural Hazards, 90(1):237-263.

#### Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiri

1- Akcal, A.N. Acar, M.H. Ada, M. 2017. GIS Based Geotechnical Microzoning of Antalya Muratpasa (Turkey) District. International Conference on Applied Sciences and Engineering.