

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ORTAHİSAR (TRABZON) İLÇESİNİN OLASILIKSAL YÖNTEM TABANLI HEYELAN
DUYARLILIK DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Müh. Oğuzhan KALAFAT

**MART 2021
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ORTAHİSAR (TRABZON) İLÇESİNİN OLASILIKSAL YÖNTEM TABANLI HEYELAN
DUYARLILIK DEĞERLENDİRMESİ**

Jeoloji Mühendisi Oğuzhan KALAFAT

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"JEOLOJİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 / 02 / 2021

Tezin Savunma Tarihi : 15 / 03 / 2021

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Aykut AKGÜN

Trabzon 2021

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarıyla bana yol gösteren, tecrübesini, bilgisini ve desteğini benden esirgemeyen tez danışmanım Prof. Dr. AYKUT AKGÜN'e teşekkür etmeyi borç bilirim.

Tezimin başlangıcından bitimine kadar yardımlarını esirgemeyen, bildiklerini paylaşan, arazi çalışmalarında ve tez düzenleme aşamasında yardımcı olan kardeşim Jeoloji Mühendisi Metehan Yaşar KALAFAT'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu çalışmanın oluşmasında varlığıyla beni cesaretlendiren ve olumlu yönde etkileyen bütün yakın arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak; yüksek lisans tezimin hazırlanması aşamasında bana moral ve destek vererek varlıklarını her zaman yanımda hissettiğim aileme teşekkürlerimi sunarım.

Oğuzhan KALAFAT

Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ortahisar (Trabzon) İlçesinin Olasılıksal Yöntem Tabanlı Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Aykut AKGÜN’ün sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 15/03/2021

Oğuzhan KALAFAT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	3
1.3. Çalışma Alanının Coğrafik Konumu	3
1.4. Morfoloji.....	4
1.5. Yerleşim ve Ulaşım	5
1.6. İklim ve Bitki Örtüsü	5
1.7. Önceki Çalışmalar.....	8
1.8. Kütle Hareketleri ve Genel Özellikleri	11
1.8.1. Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılmaları	12
1.9. Heyelanların Jeomorfolojik Karakteristikleri ve Heyelan Duyarlılık Analizi..	14
1.9.1. Heyelanların Jeomorfolojik Karakteristikleri.....	14
1.9.2. Heyelan Duyarlılık Analizlerine İlişkin Genel Değerlendirme.....	15
1.9.3. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametreler..	16
1.9.3.1. Yamaç Eğimi	17
1.9.3.2. Litoloji ve Ayrışma.....	17
1.9.3.3. Yamaç Yönelimi (Bakı).....	19
1.9.3.4. Arazi Örtüsü.....	19
1.9.3.5. Yükseklik.....	20
1.9.3.6. Drenaj Ağı	21
1.9.3.7. Topoğrafik Nemlilik İndeksi.....	21

1.9.3.8.	Eğim Uzunluğu	22
1.9.3.9.	Ana Faylara Yakınlık.....	23
1.9.3.10.	Yola Yakınlık.....	23
1.9.4.	Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)	24
1.9.4.1.	Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Veri Modelleri.....	24
1.9.4.1.1.	Vektörel Veri Modelleri.....	24
1.9.4.1.2.	Raster Veri Modelleri	26
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	29
2.1.	Giriş	29
2.2.	Arazi ve Büro Çalışmaları	29
3.	BULGULAR.....	31
3.1.	Giriş	31
3.2.	İnceleme Alanının Genel Jeolojisi	31
3.2.1.	Mesozoyik Dönem.....	34
3.2.1.1.	Üst Jura-Alt Kretase.....	34
3.2.1.1.1.	Kızılkaya Formasyonu (Krü2)	34
3.2.1.1.2.	Çağlayan Formasyonu (Krü3).....	35
3.2.1.1.3.	Bakırköy Formasyonu (Krü5a).....	36
3.2.1.1.4.	Kaçkar Granitoidleri (Y2, Y3).....	37
3.2.2.	Senozoyik Dönem.....	37
3.2.2.1.	Tersiyer.....	37
3.2.2.1.1.	Kabaköy Formasyonu (Ev).....	37
3.2.2.1.2.	Beşirli Formasyonu (PLB).....	38
3.2.2.1.3.	Konglomera (PIC).....	40
3.2.2.2.	Kuvaterner	40
3.2.2.2.1.	Alüvyon (Aly).....	40
3.2.2.2.2.	Kaymaklı Formasyonu (My)	41
3.2.2.2.3.	Kırmızı Killer (Kk)	41
3.3.	Heyelan - Jeoloji İlişkisi	42
3.4.	Yapısal Jeoloji.....	44
3.5.	Çalışma Alanı ve Çevresinin Depremselliği	45
3.6.	Heyelanların Alansal Dağılım Karakteristiklerinin Belirlenmesi	46

VI

3.6.1.	Giriş	46
3.6.2.	İstatistiksel Yaklaşımlar	47
3.6.3.	Heyelanların Alansal Dağılım Karakteristiklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Yazılım	48
3.6.4.	Yazılımın Kullanım Yöntemi	50
3.6.5.	İnceleme Alanında Yapılan Çalışmalar	52
3.7.	Heyelan Duyarlılık Değerlendirilmesi ve Yöntem	56
3.7.1.	Heyelan Duyarlılık Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler	57
3.7.2.	Frekans Oranı (FR) Yöntemi	58
3.7.2.1.	Frekans Oranı Yönteminin Çalışma Alanına Uygulanması	60
3.7.3.	Parametre Haritalarının Oluşturulması ve Heyelan Duyarlılık Haritası	61
3.7.3.1	Topoğrafik Yükseklik	61
3.7.3.2.	Yamaç Eğimi	64
3.7.3.3.	Yamaç Yönelimi (Bakı)	66
3.7.3.4.	Yamaç Eğriselliği	69
3.7.3.5.	Litoloji	71
3.7.3.6.	Drenaj Ağlarına Uzaklık	74
3.7.3.7.	Topoğrafik Nemlilik İndeksi	77
3.7.3.8.	Kapalı Çöküntüler	80
3.7.3.9.	Bağıl Eğim Konumu	83
3.7.3.10.	Vadi Derinliği	85
3.7.3.11.	Eğim Uzunluğu ve Diklik Faktörü (LS Faktörü)	88
3.7.3.12.	Yakınsama İndeksi	91
3.7.3.13.	Drenaj Ağı Temel Seviyesi	94
3.7.4.	FR Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi	97
3.7.5.	Entropi Endeksi (EE) Yöntemi	100
3.7.5.1.	Entropi Endeksi Yönteminde Kullanılan Parametreler	101
3.7.6.	Entropi Endeksi Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi	107
3.7.7.	Heyelan Duyarlılık Modellerinin Doğrulanması	110
4.	SONUÇLAR	111
5.	KAYNAKLAR	115

ÖZGEÇMİŞ



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ORTAHİSAR (TRABZON) İLÇESİNİN OLASILIKSAL YÖNTEM TABANLI HEYELAN DUYARLILIK DEĞERLENDİRMESİ

Oğuzhan KALAFAT

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Aykut AKGÜN
2021, 121 Sayfa

Heyelanlar, günümüzde meydana gelen doğal kaynaklı afetler arasında en yaygın olarak gözlemlenen kütle hareketi türlerinden olup, önemli sayıda can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Ülkemizde özellikle Karadeniz Bölgesi'nde heyelan oluşumları yaygın bir şekilde meydana gelmektedir. Heyelanların oluşumu sonucunda meydana gelen etkinin en aza indirgenmesi için yeterli ve etkin çözümlerin üretilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, Ortahisar (Trabzon) ilçesinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve olasılıksal yöntem tabanlı heyelan duyarlılık değerlendirmesinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Ortahisar ilçesine ait 1:25.000 ölçekli genel jeoloji haritası Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA) Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiş olup, yüzeyleme gösteren kayaların stratigrafik dizilimi kontrol edilmiştir. Alanda gözlenen heyelanlara ait envanter haritası yine 1:25.000 ölçekli olarak MTA Genel Müdürlüğü'ne ait Türkiye Heyelan Envanter Haritası'ndan elde edilmiştir. Sahada gözlenen heyelanların alansal istatistiklerinin değerlendirilmesi için maksimum olabilirlik tahmini (MLE) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde çift pareto (DP), çift pareto basitleştirilmiş (DPS) ve ters gama (IG) dağılımına ait katsayı ve bunlara ait olasılık yoğunluk grafikleri belirlenmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. İnceleme alanında heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi amacıyla frekans oranı (FR) ve entropi endeksi (EE) yöntemleri kullanılmıştır. Bu duyarlılık haritalarında; çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük duyarlı olmak üzere beş farklı duyarlılık sınıfı belirlenmiştir. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluk değerlendirmeleri yapılmış, birbirleriyle karşılaştırılarak etkinlik durumu irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, Alansal Olabilirlik, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Duyarlılık

Master Thesis

SUMMARY

PROBABLISTIC METHOD-BASED LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT OF ORTAHİSAR (TRABZON) DISTRICT

Oğuzhan KALAFAT

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geological Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Aykut AGÜN
2021, 121 Pages

Landslides are one of the most commonly observed types of mass movement among natural disasters that occur today, causing significant loss of life and property. Landslides occur widely in our country, especially in the Black Sea Region. Sufficient and effective solutions should be produced in order to minimize the impact caused by the formation of landslides.

In this study, it is aimed to carry out landslide susceptibility assessment based on Geographical Information Systems (GIS) and probabilistic method of Ortahisar (Trabzon) district. In this context, 1: 25.000 scaled general geology map of Ortahisar district was obtained from Mineral Research and Exploration Institute (MTA) General Directorate, and stratigraphic sequence of rocks showing outcrop was checked. inventory map of landslides observed in the area again 1: 25.000 as the General Directorate of Turkey were obtained from the MTA Landslide Inventory Map. Maximum likelihood estimation (MLE) method was used to evaluate the areal statistics of the landslides observed in the field. In this method, the coefficient of double pareto (DP), double pareto simplified (DPS) and inverse gamma (IG) distributions and their probability density graphs were determined and compared with each other. Frequency ratio (FR) and entropy index (EE) methods were used to produce landslide susceptibility maps in the study area. In these sensitivity maps; Five different sensitivity classes have been identified as very high, high, medium, low and very low sensitivity. The accuracy evaluations of the produced landslide susceptibility maps were made and the efficiency status was examined by comparing them with each other.

Keywords: Landslide, Areal Probability, Geographical Information Systems, Susceptibility

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	İl ölçeğine göre ölümcül heyelan olaylarının sayısı (Fidan ve Görüm, 2020). 2
Şekil 2.	2005-2008 yılları arasında Trabzon ilinde meydana gelen heyelanları gösteren lokasyon haritası (Bayrak ve Ulukavak, 2009) 3
Şekil 3.	Çalışma alanına ait yer bulduru haritası 4
Şekil 4.	Trabzon iline ait ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı (1927-2019)..... 7
Şekil 5.	Trabzon iline ait yağış değerlerinin aylara göre dağılımı (1927-2019) 7
Şekil 6.	Trabzon ili arazi örtüsü haritası (URL-6, 2018) 8
Şekil 7.	Yamaç üzerine etki eden kuvvetler (Monroe ve Wicander, 2005) 11
Şekil 8.	Varnes'in sınıflamasına göre hareket tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların görünümü (KGM, 2015) 13
Şekil 9.	İdeal bir heyelana ait blok diyagram (toprak kayması ve akma-karmaşık hareket) Cruden ve Varnes'dan (1996) değiştirilmiştir 14
Şekil 10.	Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametreler (Dağ, 2007)..... 18
Şekil 11.	Koordinat çiftlerine dayalı vektörel veri modeli (Fazal, 2008)..... 25
Şekil 12.	Nokta, çizgi ve poligonun geometrik detay gösterimi (Fazal, 2008)..... 25
Şekil 13.	Raster hücre bilgileri ve raster görüntülerdeki piksellerin karşılığındaki gerçek dünyadaki öznelik bilgileri (Fazal, 2008) 26
Şekil 14.	Ortahisar ilçesinin genel jeolojisi (MTA Genel Müdürlüğü'ne ait Yerbilimleri Portalı'ndan değiştirilerek)..... 32
Şekil 15.	Trabzon ilinin stratigrafik dikme kesiti (MTA Genel Müdürlüğü, 2006)..... 33
Şekil 16.	Tüflerin inceleme alanındaki görünümü 35
Şekil 17.	Dasitik tüflerin inceleme alanındaki görünümü 36
Şekil 18.	Bazaltların inceleme alanındaki görünümü 38
Şekil 19.	Volkanik breşlerin inceleme alanındaki görünümü 39
Şekil 20.	Elemanları çakıl ve blok boyutunda olan aglomeraların inceleme alanındaki görünümü 39
Şekil 21.	Alüvyonların inceleme alanındaki görünümü 40
Şekil 22.	Kırmızı killerin inceleme alanındaki görünümü 42
Şekil 23.	İnceleme alanında gözlenen kırmızı killer üzerinde yer yer kalınlığı değişen organik bileşen içeren toprak örtüsü 42

Şekil 24.	Trabzon ili genelinde meydana gelen heyelanların jeoloji ile olan ilişkisini gösteren harita (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2001)	43
Şekil 25.	Trabzon ili genelinde meydana gelen heyelanların jeoloji ile olan ilişkisinin yüzde olarak dağılımı.....	44
Şekil 26.	Türkiye Deprem Tehlike Haritası (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2019).....	46
Şekil 27.	İnceleme alanındaki büyük heyelan olasılığını tahmin etmek için akış diyagramı.....	50
Şekil 28.	Heyelan İstatistikleri (LStats) yazılım aracı toplu arayüzünün bir R komut dosyasına dayalı ekran görüntüsü.....	51
Şekil 29.	İnceleme alanında gözlenen heyelanlar (Duman vd., 2011).....	52
Şekil 30.	İnceleme alanında tespit edilen bir heyelan alanı	53
Şekil 31.	Meydana gelen heyelan olasılık yoğunluğunun maksimum olabilirlik tahmininin karşılaştırılması	54
Şekil 32.	Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemler (Ayalew vd., 2005).....	57
Şekil 33.	İnceleme alanının yükseklik haritası	62
Şekil 34.	İnceleme alanının eğim haritası.....	65
Şekil 35.	İnceleme alanının yamaç yönelimi haritası	67
Şekil 36.	İnceleme alanının eğrisellik haritası	70
Şekil 37.	İnceleme alanının litoloji haritası	72
Şekil 38.	İnceleme alanının drenaj ağlarına uzaklık haritası.....	75
Şekil 39.	İnceleme alanının topoğrafik nemlilik indeksi haritası.....	78
Şekil 40.	İnceleme alanının kapalı çöküntüler haritası	81
Şekil 41.	İnceleme alanının bağlı eğim konumu haritası.....	84
Şekil 42.	İnceleme alanının vadi derinliği haritası.....	86
Şekil 43.	İnceleme alanının eğim uzunluğu ve diklik faktörü haritası.....	89
Şekil 44.	İnceleme alanının yakınsama indeksi haritası	92
Şekil 45.	İnceleme alanının drenaj ağı temel seviyesi haritası.....	95
Şekil 46.	FR yöntemine göre heyelan duyarlılık derecelerinin yüzdelik dağılımları.....	98
Şekil 47.	İnceleme alanının FR yöntemine göre üretilen heyelan duyarlılık haritası ...	99
Şekil 48.	EE yöntemine göre heyelan duyarlılık derecelerinin yüzdelik dağılımları..	108
Şekil 49.	İnceleme alanının EE yöntemine göre üretilen heyelan duyarlılık haritası..	109
Şekil 50.	Frekans oranı ve entropi indeksi modellerinin kestirim performans grafiği AUC).....	110

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.	Trabzon iline ait uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama değerler (1927-2019).....	6
Tablo 2.	Trabzon iline ait uzun yıllar içinde gerçekleşen en yüksek ve en düşük değerler (1927-2019)	6
Tablo 3.	Kütle hareketlerinin sınıflandırılması (EPOCH, 1993).....	12
Tablo 4.	Vektör ve raster veri modellerinin karşılaştırılması (URL-3, 2020).....	27
Tablo 5.	Üç boyutlu dağılım modeli ve üç farklı tahmin yöntemi için LStats yazılımı tarafından tahmin edilen parametre örneği	49
Tablo 6.	İnceleme alanında gözlenen heyelanların meydana gelme olasılığının MLE yöntemi kullanılarak karşılaştırılması	55
Tablo 7.	Yükseklik alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri.....	63
Tablo 8.	Yamaç eğimi alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri.....	66
Tablo 9.	Yamaç yönelimi alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri.....	68
Tablo 10.	Eğrisellik alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri.....	71
Tablo 11.	Litoloji alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri	73
Tablo 12.	Drenaj ağlarına uzaklık alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri	76
Tablo 13.	Topoğrafik nemlilik indeksi alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri	79
Tablo 14.	Kapalı çöküntüler alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri.....	82
Tablo 15.	Bağıl eğim konumu alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri.....	85
Tablo 16.	Vadi derinliği alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri	87
Tablo 17.	Eğim uzunluğu ve diklik faktörü alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri	90
Tablo 18.	Yakınsama indeksi alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri.....	93
Tablo 19.	Drenaj ağı temel seviyesi alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri	96

Tablo 20.	Frekans oranı yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıflarına ait alansal oran değerleri.....	98
Tablo 21.	Entropi endeksi yöntemiyle heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan parametreler ve üretilen veriler.....	104
Tablo 22.	EE yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıflarına ait alansal oran değerleri.....	108



SEMBOLLER DİZİNİ

AUC	: Area Under the Curve
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CTI	: Topoğrafik Nemlilik İndeksi
DEM	: Sayısal Yükseklik Modeli
DMIGM	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DP	: Çift Pareto
DPS	: Çift Pareto Basitleştirilmiş
EE	: Entropi Endeksi
EPOCH	: European Community Programme
FR	: Frekans Oranı
GIS	: Geographical Information Systems
GPS	: Global Konum Belirleme
GUI	: Grafıksel Kullanıcı Arayüzü
HDE	: Histogram Yoğunluk Tahmini
IDE	: Entegre Geliştirme Ortamı
IG	: Ters Gama
KAF	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KDE	: Kernel Yoğunluk Tahmini
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KS	: Kolmogorov – Smirnov
LS Factor	: Eğim Uzunluğu ve Diklik Faktörü
MLE	: Maksimum Olabilirlik Tahmini
MTA	: Maden Teknik ve Arama Enstitüsü
NFR	: Normalize Edilmiş Frekans Oranı
OGC	: Açık Jeo-Uzamsal Konsorsiyum
PR	: Tahmin Oranı
RF	: Göreceli Frekans
ROC	: Receiver Operating Characteristic
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli

TWI	: Topoğrafik Nemlilik İndeksi
UNISDR	: Birleşmiş Milletler Afet Risk Azaltımı Ofisi
USLE	: Universal Soil Loss Equation
UTM	: Urchin Tracking Module
WGS	: Coğrafi Koordinat Sistemi
WPS	: Web İşleme Hizmeti
Krü2	: Kızılkaya Formasyonu
Krü3	: Çağlayan Formasyonu
Krü5a	: Bakırköy Formasyonu
Y2	: Kaçkar Granitoyidi I
Y3	: Kaçkar Granitoyidi II
Ev	: Kabaköy Formasyonu
PLB	: Beşirli Formasyonu
My	: Kaymaklı Formasyonu
PLC	: Konglomera
Aly	: Alüvyon
Kk	: Kırmızı Killer
AL	: Alan
VL	: Hacim
DY	: Drenaj Yoğunluğu
L	: Akarsu Uzunluğu
A	: Havza Alanı
As	: Akış Toplama Modelinden Elde Edilen Veriler
B	: Derece Olarak Eğim Değeri
L	: Eğim uzunluğu faktörü
L	: Arazi Eğim Uzunluğu
M	: Eğim Uzunluğu ve Derecesi İlişkisi
Std. Err.	: Standart Hata
t_value	: Tahmini Hata Varyansı
Pr (> t)	: Parametreler Arasındaki Korelasyonlar
k _{2pn}	: Üst Kretase-Paleosen Neritik Kireçtaşı
g ₆₋₇	: Paleosen Yaşlı Plütonik Kayaçlar
n	: Ayrılmamış Volkanitler

en	: Eosen Yaşlı Ayrılmamış Volkanitler
k ₂	: Üst Kretase Yaşlı Kırıntılılar ve Karbonatlar
pl	: Pliyosen Yaşlı Ayrılmamış Karasal Kırıntılılar
k _{2q}	: Üst Kretase Yaşlı Dasit, Riyolit, Riyodasit
e ₁₋₂	: Alt-Orta Eosen Yaşlı Kırıntılılar (Yer Yer Karasal)
e ₂₋₃	: Orta-Üst Eosen Yaşlı Volkano-Sedimanter Birimler
k _{2pn}	: Üst Kretase-Paleosen Yaşlı Kırıntılılar ve Karbonatlar
k ₂	: Üst Kretase Yaşlı Volkano-Sedimanter Birimler
ş	: Paleozoyik Yaşlı Ayrılmamış Şist, Mermer, Kuvarsit
j _{1-2b}	: Alt-Orta Jura Yaşlı Volkanitler ve Sedimanter Birimler
g ₆	: Paleosen-Eosen Yaşlı Diyorit, Kuvars Diyorit, Tonalit
Q	: Kuvaterner-Ayrılmamış Kuvaterner
k _{2s}	: Senoniyen Yaşlı Kırıntılılar ve Karbonatlar
j _{3k1}	: Üst Jura-Alt Kretase Yaşlı Neritik Kireçtaşı
? ₆₋₇	: Paleosen-Eosen Yaşlı Granitoyid (Bazen Üst Kretase Dahil)
LStats	: Heyelan İstatistikleri
α	: Yüksek Değerler Açısından Dağılımın Eğimini Kontrol Eden Parametre
β	: Düşük Değerler Bakımından Eğim
η	: Düşük Değerler Bakımından Eğim
t	: Dağılım Fonksiyonlarının Maksimum Pozisyonunu Kontrol Eden Etken
λ	: Dağılım Fonksiyonlarının Maksimum Pozisyonunu Kontrol Eden Etken
c	: Minimum Boyut Değeri
m	: Maksimum Boyut Değeri
pdf	: Olasılık Dağılım Fonksiyonu
r	: Tam Devrilme Konumu
a	: Parametreye Ait Alt Grupta Yer Alan Heyelanlı Piksel Sayısının, Toplam Heyelanlı Piksel Sayısına Oranı
b	: Parametreye Ait Alt Grupta Dikkate Alınan Alandaki Piksel Sayısının, Dikkate Alınan Alandaki Toplam Piksel Sayısına Oranı
LSI	: Heyelan Duyarlılığı
ΣFR	: Oluşturulan Parametrelerin Her Birinin Alt Gruplarına Ait Olan Normalize Edilmiş Frekans Oranı Değerleri İle Yeniden Sınıflandırılarak Meydana Gelen Parametre Haritaların Toplamı
a	: Birincil Sınıflandırma Yapıldıktan Sonra Sınıfın Kapsadığı Alan

b	: Verilen Sınıfa Ait Olan Heyelanlı Alan
P_{ij}	: Olasılık Yoğunluğu
H_j	: Entropi Değerleri
H_{jmax}	: Maksimum Entropi Değerleri
S_j	: Sınıf Sayısı
I_j	: İlgili Katmanın Katsayısı
W_j	: İlgili Katmanın Tamamını İfade Eden Ağırlık Değeri
P_j	: ($j = 1,2,...,n$) İçin Heyelan Olasılığı
i	: İlgili Katmanın Sınıfları
z	: En Fazla Sınıf Sayısını İçeren Katmanın Sınıf Sayısı
m_i	: İlgili Katmanın Sınıf Sayısı
C	: İkincil Sınıflandırma Yapıldıktan Sonra Sınıfın Değeri
HDH_{EE}	: Nihai Haritadaki Heyelan Duyarlılığı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanoğlu teknolojinin gelişmesiyle, çevresel olaylara daha duyarlı bir hale gelmektedir. İlk insanlardan günümüze kadar geçen zamanda, insanların en büyük ihtiyaçlarından biri elverişli bir yaşam yeri bulma, edinilen yaşam yerini muhafaza etmektir. Geçmişte insanlar, doğal kaynaklı afetlerin oluşturduğu etkilerden kolaylıkla etkilenmek zorunda kalmışlardır. Fakat günümüze kadar geçen zaman boyunca gerçekleşen birçok bilimsel gelişme, insanoğlunun çevre üzerindeki hâkimiyetini güçlendirmiştir. Günümüzde, geçmişte ölümcül olarak algılanan ve önlenemez olarak görülen doğal kaynaklı afetler insanlığın geliştirdiği güçlü yapılar, afet öncesi yapılan planlamalar, erken tahmin sistemleri ve birçok teknolojik gelişmeyle birlikte belli seviyede karşı koyulabilir noktaya gelmiştir.

Doğal kaynaklı afetler, insan yaşamına olumsuz etki eden, büyük oranlarda can ve mal kayıplarına yol açan, yerel ve küresel bakımdan büyük zararlar oluşturan doğal olay ya da olaylar bütünüdür. Yaşadığımız yeryüzünde aktif olarak gerçekleşen doğal kaynaklı afetler (depremler, heyelanlar, su baskınları, volkanik patlamalar, tsunami vb.) geçmişten günümüze kadar çok sayıda can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Ülkemizde meydana gelen doğal kaynaklı afetlerin başında deprem, heyelan, sel-taşkın, erozyon ve çığ felaketi gelmektedir. Ülkemizin en fazla yağış alan bölgesi olan Doğu Karadeniz Bölümünde ise heyelan, kaya düşmesi ve taşkınlar nedeniyle çok sayıda doğal kaynaklı afet meydana gelmekte ve bu afetler birçok can kaybına ve oldukça büyük ekonomik zararlara yol açmaktadır. Doğu Karadeniz Bölümündeki heyelanlar, başlıca Trabzon ve Rize illerinde daha yoğun olarak görülmektedir. Doğu Karadeniz Bölümünde, 645 (%48) ölüme sebep olan 107 (%27,5) heyelan olayı tespit edilmiştir. Trabzon (38 olay, 336 ölüm) ve Rize (30 olay, 191 ölüm) olay ve ölüm sayısının en yüksek olduğu illerdir. Giresun (19 olay) ve Artvin (12 olay) ise ölümcül heyelanların sıkça gözlendiği diğer illerimizdir (Şekil 1). Bu veriler vasıtasıyla, bölgede heyelan araştırmaları yapılarak, meydana gelebilecek can ve mal kayıplarına engel olmak çok büyük önem arz etmektedir (Fidan ve Görüm, 2020)



Şekil 1. İl ölçeğine göre ölümcül heyelan olaylarının sayısı (Fidan ve Görüm, 2020)

Doğu Karadeniz Bölümündeki topoğrafyanın sarp olması ve dağların hemen kıydan başlaması nedeniyle bölgede yerleşim alanları oldukça sınırlıdır. Günümüzde giderek artan nüfus artışı ve ekonomik büyüme, dağ eteklerinin de yerleşime açılmasını gerekli hale getirmiştir. Bu yerleşim alanlarının, genellikle doğal ya da insan kaynaklı heyelan duyarlılığı yüksek yamaçlarda olduğu görülmektedir.

Trabzon ili sınırlarında gerçekleşmiş olan heyelanlar ilçeler açısından incelendiğinde heyelanlardan etki gören yapılar göz önüne alındığında; Trabzon ili 2005–2008 yılları arasındaki heyelan incelemesinde, ilin doğu kesiminde meydana gelen heyelan gelişiminin daha yoğun olduğu görülmektedir (Şekil 2).



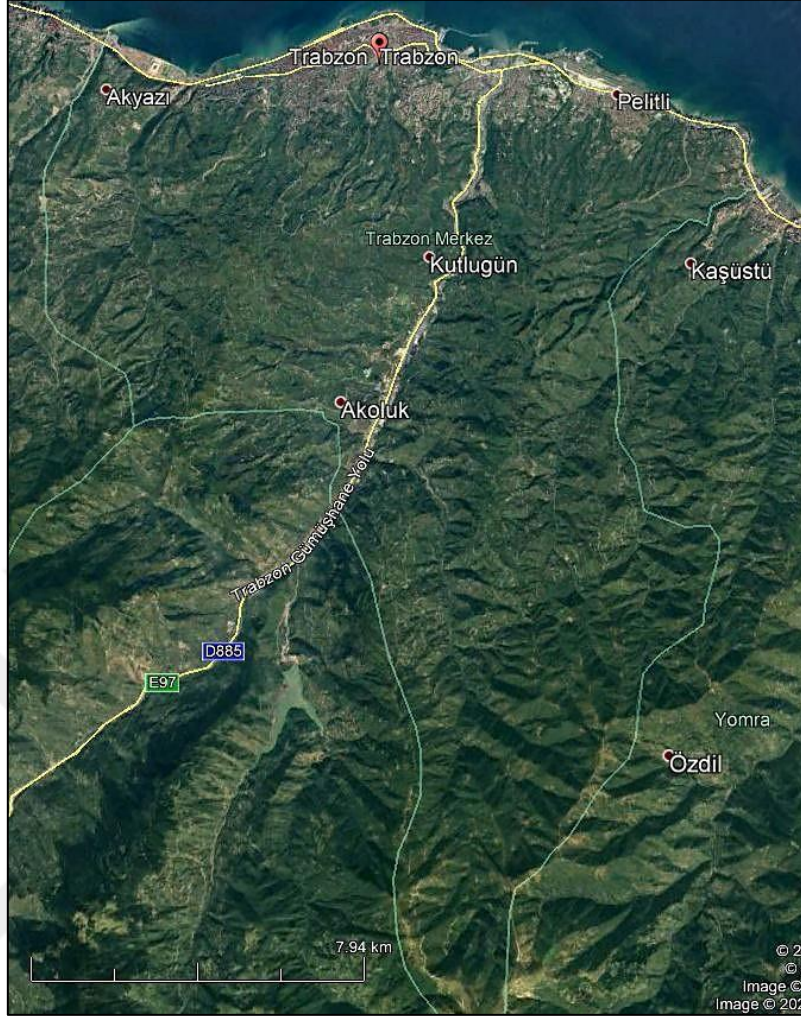
Şekil 2. 2005-2008 yılları arasında Trabzon ilinde meydana gelen heyelanları gösteren lokasyon haritası (Bayrak ve Ulukavak, 2009)

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesinin, Doğu Karadeniz Bölümünde yer alan, Trabzon ili, Ortahisar ilçe merkezinde meydana gelen heyelanlardan yola çıkarak, sahanın Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve olasılıksal yöntem tabanlı heyelan duyarlılık değerlendirmesinin yapılması ve gözlenen heyelanların alansal karakteristikleri kullanılarak alansal olabilirlik değerlendirmesi amaçlanmıştır.

1.3. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu

Çalışma alanı olarak seçilen Trabzon ili, Ortahisar ilçesi Türkiye'nin Doğu Karadeniz Bölümünde yer almaktadır. Trabzon ili, Ortahisar ilçesi 1:25.000 ölçekli F43-G43 paftasının sınırları içerisinde bulunmakta olup yaklaşık olarak 189 km²'lik alanı kapsar (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası (URL-1, 2021)

1.4. Morfoloji

Trabzon ili, Ortahisar ilçesi 189 km² yüzölçümüne sahiptir ve ilçede toplam 42 mahalle bulunmaktadır. Ortahisar ilçesi, Trabzon ilinin tipik topoğrafya yapısını yansıtmakta olup, genel olarak engebeli bir topoğrafyaya sahiptir. İlçede kuzeyden güney yönüne doğru ilerlendikçe yükseltinin ve engebeli arazinin oldukça arttığı gözlemlenmektedir. Arazide yükseltinin oldukça fazla olması ve arazinin elverişsiz bir yapı göstermesinden dolayı heyelan ve erozyon olayları meydana gelmektedir. Topoğrafyanın elverişsiz olması yerleşim, ulaşım, tarım ve hayvancılık gibi alanlarda problem oluşturmakta ve bu nedenle dağınık yerleşmeleri ortaya çıkarmaktadır. Ortahisar ilçesinin en yüksek yeri güney kısmında bulunurken (~1800 m), en alçak yerini ise deniz kenarları (0 m) oluşturmaktadır. İlçedeki akarsu ağı incelendiğinde genel olarak güneyden

kuzey yönüne doğru kerkik vadiler boyunca akmaktadırlar. İlçenin en büyük akarsuyunu, ilçeyi güney-kuzey hattı boyunca bölen ve Karadeniz'e dökülen Değirmendere oluşturmaktadır.

İnceleme alanının büyük bir kısmını genellikle kuzeyden güneye doğru uzanan sıra dağlar oluşturmaktadır. İnceleme alanında yer alan en önemli yükseltilerinden biri ilçenin güney kısmında yer alan Ziganoy Yaylasındadır (~1800 m).

1.5. Yerleşim ve Ulaşım

Trabzon ili, Ortahisar ilçesi, Doğu Karadeniz Bölümünün tipik yerleşim ve ulaşım yapısını yansıtmaktadır. İlçede ulaşım hattını doğu-batı ve kuzey-güney doğrultusunda uzanan devlet karayolları oluşturmaktadır. Bölgeye ulaşım, Karadeniz devlet sahil yolu aracılığıyla kolaylıkla sağlanmaktadır. Ortahisar ilçesi Doğu Karadeniz Dağları'nın kuzeyinde yerleşmiş olup, kuzeyden Karadeniz, batıdan Trabzon iline bağlı olan Akçaabat ilçesi, doğudan Yomra ilçesi, güneyden ise Maçka ilçesi ile sınırdır.

1.6. İklim ve Bitki Örtüsü

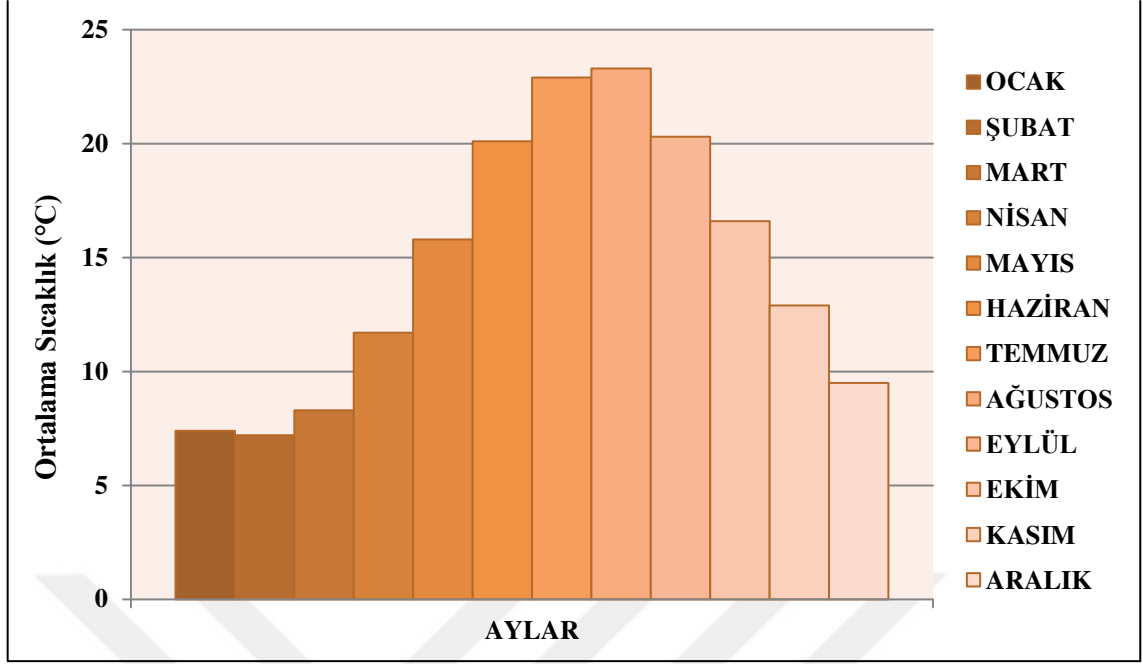
Karadeniz Bölgesinin, Doğu Karadeniz Bölümünde yer alan Trabzon ilinde 14.6 °C derecelik ortalama sıcaklık, 843.3 mm'lik yıllık ortalama yağış ve %64.76 oranındaki nem değeriyle Doğu Karadeniz kıyı illeri arasındaki en sıcak, en az yağış alan ve en düşük nem yüzdesine sahip ilidir. Bölgede meydana gelen yağışlar genellikle yağmur şeklinde düşmesine karşın, Ocak ve Şubat aylarında ise kar yağışı şeklinde olabilmektedir (URL-4, 2020).

Tablo 1. Trabzon iline ait uzun yıllar içinde gerçekleşen ortalama değerler (1927-2019)

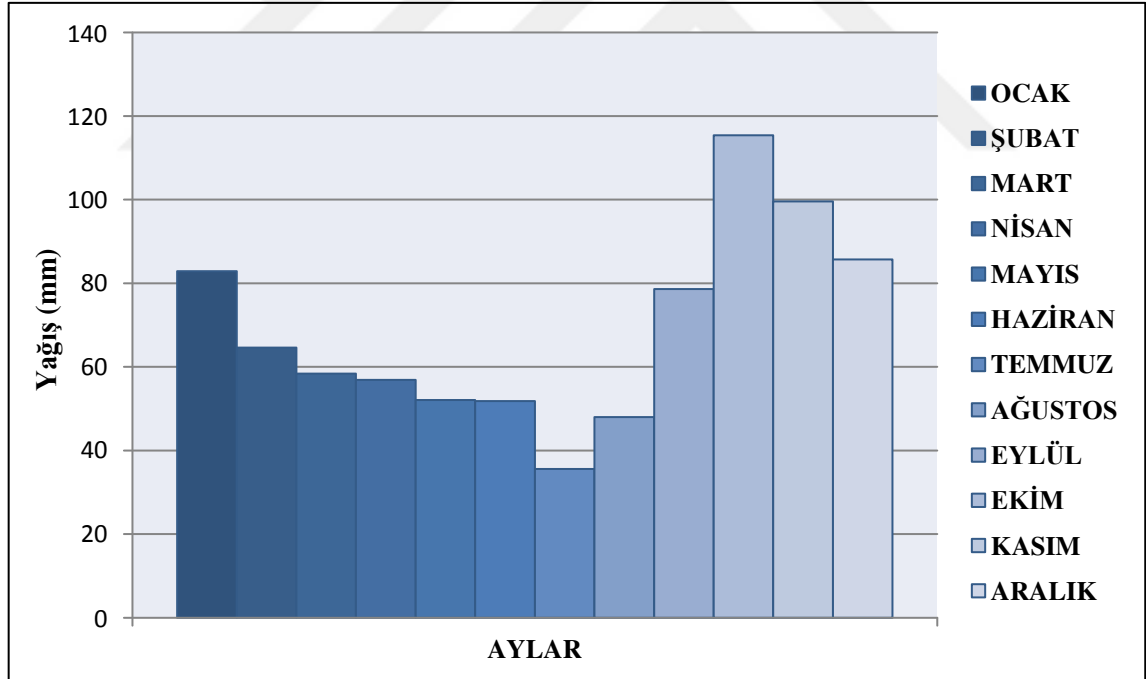
	AYLAR											
TRABZON	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ortalama Sıcaklık (°C)	7.4	7.2	8.3	11.7	15.8	20.1	22.9	23.3	20.3	16.6	12.9	9.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	10.7	10.7	11.9	15.5	19.1	23.1	25.9	26.5	23.7	20.0	16.5	12.9
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4.6	4.3	5.4	8.6	12.9	17.0	19.9	20.3	17.3	13.6	10.0	6.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.6	3.2	3.4	4.3	5.5	7.0	5.9	5.6	4.9	4.5	3.6	2.6
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.8	11.7	12.6	12.4	12.3	10.3	7.6	8.3	10.4	11.8	11.3	12.0
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	82.9	64.6	58.4	56.9	52.1	51.8	35.6	48.0	78.6	115.4	99.6	85.7

Tablo 2. Trabzon iline ait uzun yıllar içinde gerçekleşen en yüksek ve en düşük değerler (1927-2019)

	AYLAR											
TRABZON	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
En Yüksek Sıcaklık (°C)	25.9	30.1	35.2	37.6	38.2	36.7	37.0	38.2	37.9	33.8	32.8	26.4
En Düşük Sıcaklık (°C)	-7.0	-7.4	-5.8	-2.0	4.2	9.2	11.0	13.5	7.3	3.4	-1.6	-3.3



Şekil 4. Trabzon iline ait ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı (1927-2019)

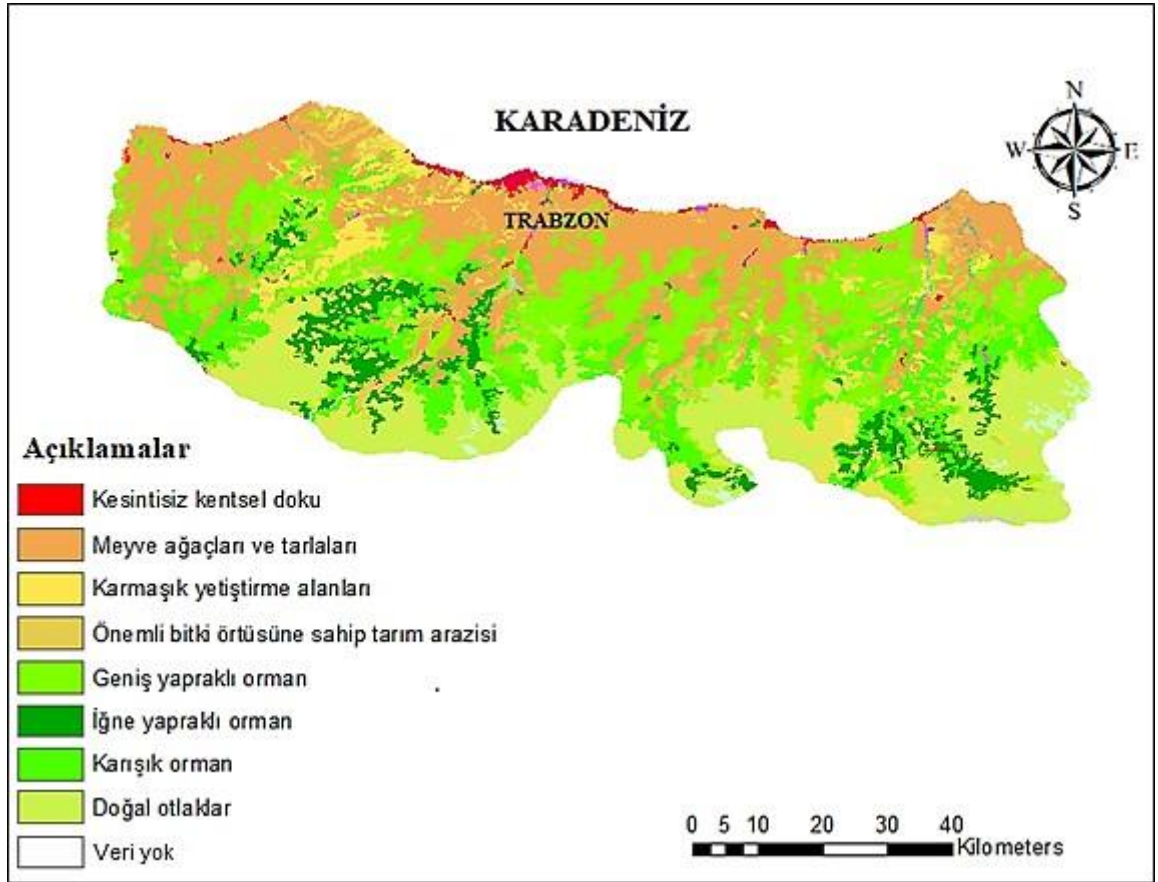


Şekil 5. Trabzon iline ait yağış değerlerinin aylara göre dağılımı (1927-2019)

Trabzon ilinde elverişli iklim koşulları nedeniyle zengin bir orman ve orman altı bitki topluluğu gelişmiştir. Orman sınırı 2300 m'ye kadar yükselir. 400 m yükseltiye kadar geniş yapraklı ve kışın yaprağını döken ağaç türleri (kızılağaç, kestane, meşe, kayın, gürgen) ve orman altı bitki türleri yoğundur. İlde yükseltinin giderek artışına bağlı olarak

tür sayısı azalmakta olup, orman yoğunluğu artmaktadır. Kıyı kesimi ve yerleşim alanları çevresinde ise ormanların alanı daralmış ve doğal dengesi bozulmuştur.

Geniş yapraklı ağaç türleri 1500 m yükseltiye kadar karışık olarak yükselmekte olup 1500-2000 m arasında sarıçam, karaçam, göknar, ladin gibi iğne yapraklı ağaçlardan oluşan ormanlar yaygınlık kazanmaktadır. Fındık tarımının son 20 yılda artması, orman alanlarının daralmasına yol açmıştır. 2000 m'nin üzerinde seyrekleşen ağaçların yerlerini, 2300 m'den sonra çayırlar alır.



Şekil 6. Trabzon ili arazi örtüsü haritası (URL-6, 2018)

1.7. Önceki Çalışmalar

Önalp (1980), “Doğu Karadeniz Heyelanları Tanımlanması-Analizi Araştırma Raporu” adlı çalışmada meydana gelen heyelanların daha iyi kavranması amacıyla ilk olarak ayrışma/yıpranma mekanizmalarının bilinmesinin gerekli olduğunu vurgulamıştır. İlave olarak belirli yamaçlar üzerinde yer altı suyunun araştırılarak özellikle gerilme ve basınçların ölçülmesinin gerekli olduğunu belirtmiştir. İnceleme alanında heyelan

envanter haritalarının üretilmesinin gerekli olduğuna ve ayrıca ayrışma haritasının da üretilmesini önermiştir.

Önalp vd. (1987), Doğu Karadeniz heyelanlarının meydana gelme şartlarını araştırarak, meydana gelen heyelanların türlerini tespit etmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda heyelanların meydana gelmesindeki en önemli etkenin yağışlar ve bölgede yapılan kazıların olduğunu belirtmiştir.

Tarhan (1991), “Doğu Karadeniz Heyelanlarına Genel Bir Bakış” isimli çalışmasında; farklı kökenli kayalarda meydana gelen farklı türdeki 100’e yakın kütle hareketini jeolojik ve jeotektonik açıdan incelemiş olup bu hareketlerin nedenlerini ortaya koymaya çalışmıştır. Yaptığı çalışmalar sonucunda, kütle hareketlerinin meydana gelmesinde başlıca, bölgenin morfolojik ve jeolojik özellikleri, bölgeye ait olan iklim özellikleri ile birlikte bölgede gözlenen kayalarda meydana gelen ayrışmalar, bölgede gözlenen bitki örtüsünün tahrip edilmesi ve doğal olmayan sarsıntıların etkili olduğunu belirtmiştir.

Genç (1993), Çatak (Maçka) heyelanının yapısal ve jeomorfolojik görünümünü incelemiş; başlıca, faylanmanın, eklem sistemlerinin, yaygın ayrışmanın, bitki örtüsünün, aşırı yağışların, akarsuyun yamaç topuğunu oymasının ve mühendislik amaçlı açılan şevlerin bu heyelana neden olduğunu belirlemiştir.

Yılmaz (1995), “Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanlarının Genel Özellikleri, Nedenleri ve Önlenme Yolları” isimli çalışmasında; bölgede heyelanları etkileyen faktörlerin başlıcalarını; yağışlar, morfolojik durum, akarsu oymaları ve yapılan kazılar, kayalarda meydana gelen ayrışmalar, bitki örtüsünün tahrip edilerek değiştirilmesi, zemin özellikleri ve diğer nedenler (atık sular kaynaklar, yükleme vb.) olarak belirlemiştir. Ayrıca aktif veya potansiyel heyelanların önlenmesi için başlıca, bu alanlarda morfolojinin etkisiyle birlikte yüzey ve yer altı suyu drenajı olduğunu açıklamış ve alınması gereken diğer önlemleri sıralamıştır.

Öztürk (2002), “Heyelanlar ve Türkiye’ye Etkileri” adlı çalışmasında; yeryuvarında meydana gelen doğal afet türlerinden biri olan heyelanları araştırmıştır. Heyelanların Türkiye’de neden olduğu etkileri, meydana gelme sebeplerini, heyelanların önlenmesi ve mümkün olan tahribatın en aza indirilmesi için nasıl önlemler alınması gerektiği üzerinde durulmuştur.

Erçikdi vd. (2006), Araklı Taşönü kireçtaşı sahasında 19 Ekim 2006’da meydana gelen heyelan sonucu oluşan şevin duraylılığını deterministik yöntem aracılığıyla

araştırılmışlardır. Bu araştırmada yer altı su durumu için iki farklı model belirlenmiş olup, yapılan analizler sonucunda elde ettikleri güvenlik katsayısı değerlerinin genel itibariyle şevlerin uzun dönemde duraylı kalması için güvenlik sınırı olarak kalması kabul edilen 1.2 limit değerinin genelde altında olduğunu, bu nedenle incelenen şevin uzun dönemde duraylı kalmayacağını ve önemli risk taşıdığını belirtmişlerdir.

Akgün ve Bulut (2007), Coğrafi Bilgi Sistemlerinden yararlanarak Trabzon iline bağlı Yomra ve Arsin ilçeleri çevresinde heyelan duyarlılığına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma sonucu heyelan topoğrafik haritaların analizi detaylı arazi çalışmaları neticesinde hazırlanmıştır. Bölgede heyelan oluşumunda etkili oldukları düşünülen yamaç eğimi, drenaj ağına olan uzaklık, yola uzaklık, yamaç yönelimi ve litolojik birimlerin ayrışması gibi faktörler yapılan analizlerde değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalarda mantıksal regresyon ve ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme gibi istatistiksel yöntemler kullanılarak çalışma sahasının heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Araştırmacılar yapılan bu çalışmada sonuçları iki açıdan değerlendirmiş olup, bunlar; heyelanlara neden olan faktörlerin ve kullanılan yöntemlerin etkinliğidir. Elde edilen sonuçlara göre yapılan değerlendirme sonucunda, ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme modelinin mantıksal regresyon modeline göre heyelan duyarlılığının tespit edilmesinde daha uygun olduğu görülmüştür. Ayrıca heyelan duyarlılığının belirlenmesinde seçilen parametreler içerisinde jeoteknik birimler olarak incelenen litolojik birimlerin ayrışma durumları ile yamaç eğimi parametreleri heyelan duyarlılık değerlendirmesinde en etkili parametreler olarak belirlenmiştir.

Ersoy ve Bulut (2008) “Kütle Hareketlerinin Oluşumunda Yağışın Rolü” isimli çalışmalarında, Doğu Karadeniz Bölgesi’nde meydana gelen heyelanların oluşumunun büyük çoğunluğunun ani yağışlara bağlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Ulukavak ve Bayrak (2009), “Trabzon Heyelanları” adlı çalışmasında; bölgedeki yağış verilerini inceleyerek Trabzon il sınırları ve çevresinde meydana gelen heyelanların nedenlerini incelemiş, yağış ve iklim etkisi altında heyelan incelemelerini ortaya koymuştur.

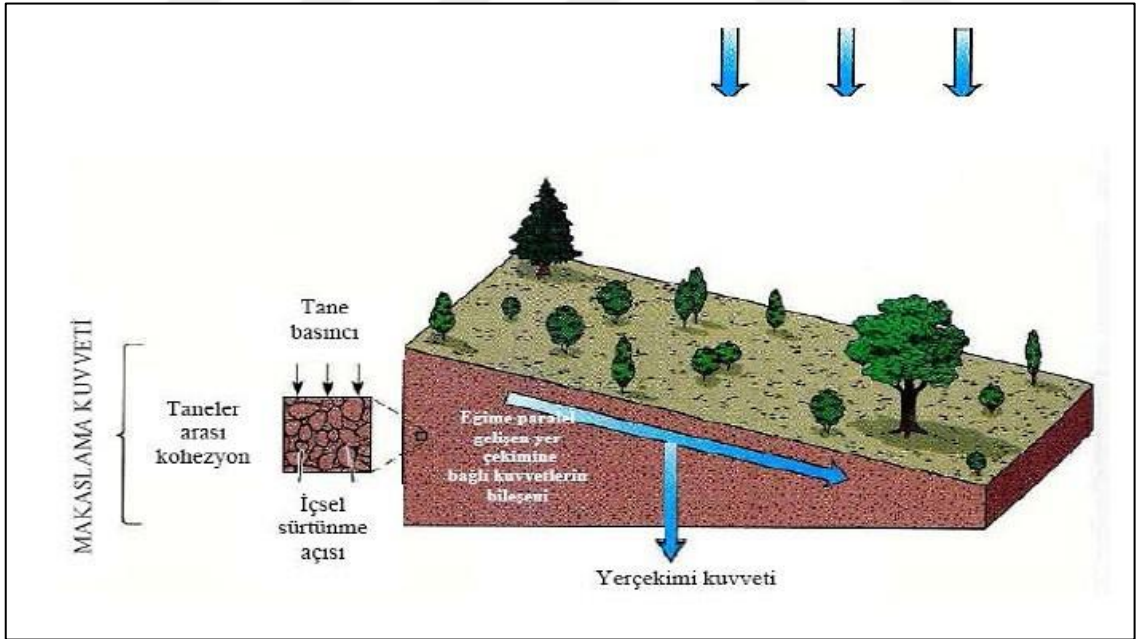
Kul ve Ersoy (2011), “Yeşilyurt (Trabzon) Heyelanının Mühendislik Jeolojisi Özelliklerinin İncelenmesi” isimli çalışmalarında; heyelan alanında gözlenen zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini inceleyerek bölgenin heyelan potansiyeli hakkında değerlendirmelerde ve önerilerde bulunmuşlardır.

1.8. Kütle Hareketleri ve Genel Özellikleri

Kütle hareketleri başlıca jeolojik, jeomorfolojik, jeofiziksel vb. nedenler ve insan etkilerine bağlı bir şekilde yamaç dengesinin bozulması sonucunda oluşmaktadır. Literatür incelendiğinde heyelanlara ilişkin farklı tanımlamaların mevcut olduğu gözlemlenir.

Yapılan bu tanımlamalar içerisinde günümüzde yaygın olarak kullanılan ve ayrıca genel tanım olarak kabul edilen bir tanımlama Varnes (1978) tarafından yapılmıştır. Buna göre heyelan, bir yamacı meydana getiren kaya, toprak veya moloz türündeki farklı malzemelerin birçok farklı nedenden dolayı yer çekimi (gravite) etkisi ile birlikte yamaç aşağı doğru hareket etmesi şeklinde tanımlanmıştır.

Kütle hareketlerinin meydana gelmesinin en önemli nedeni yamaç dengesinin bozulmasıdır. Bunun sonucu olarak kütle hareketlerinin temel nedeninin yer çekimi etkisi olduğu söylenebilir. Bunun dışında doğal ve insan aktiviteleri sonucunda meydana gelen diğer nedenler ise kütle hareketini hazırlayıcı bir etki gösteren aynı zamanda tetikleyen ve hatta türünü belirleyen etkenlerdir.



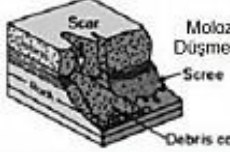
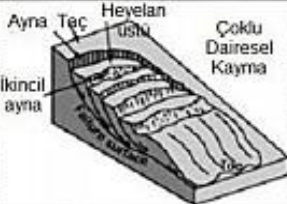
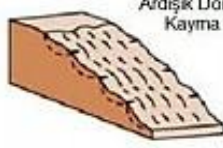
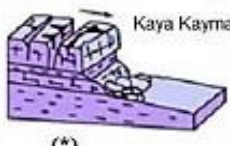
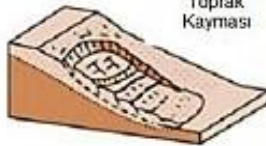
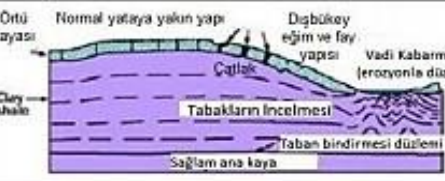
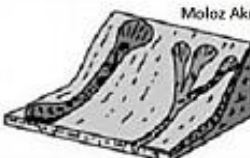
Şekil 7. Yamaç üzerine etki eden kuvvetler (Monroe ve Wicander, 2005)

1.8.1. Kütle Hareketlerinin Sınıflandırılmaları

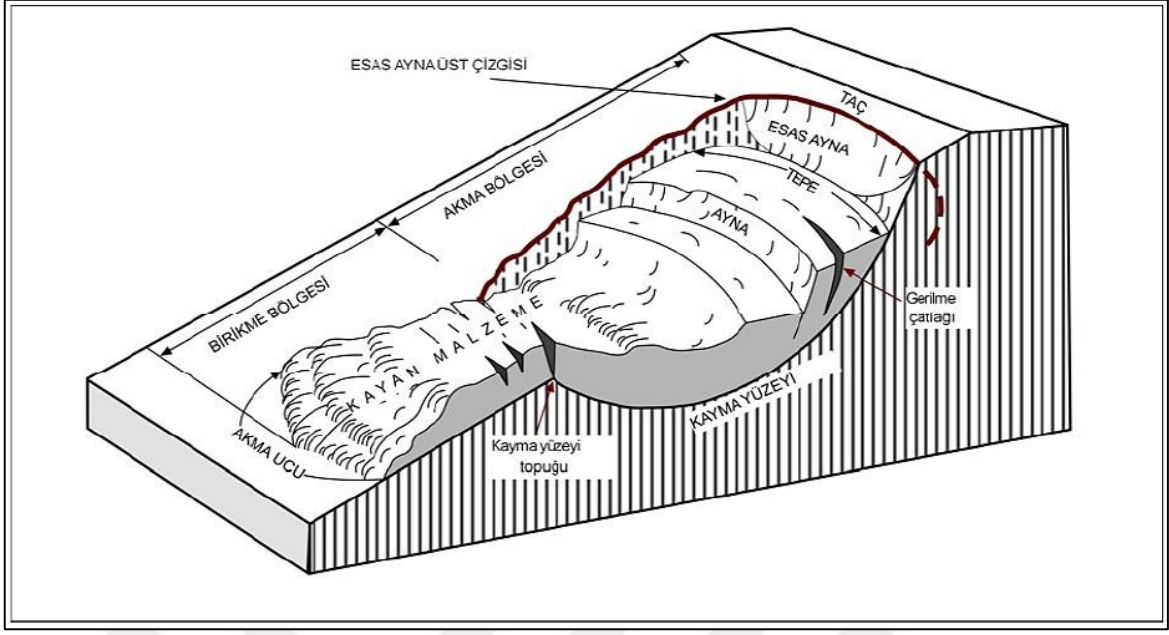
Kütle hareketlerini sınıflandırmak kolay bir iş değildir. Bunun nedeni kütle hareketlerinin farklı nedenler ve mekanizmalarla ilişkili bir şekilde oluşması ve birçok olayla bağlı olarak gelişmesidir. Ayrıca kütle hareketleri, meydana gelen hareketin hızı ve şekli, hareket eden bu malzemenin türü, oluşan kayma yüzeyinin şekli ve hareketin nedenleri gibi farklı özelliklere bağlı olarak farklı şekilde isimlendirilmektedir (Şekil 8). Kütle hareketleri ile ilgili yapılan çalışmalar sonucunda araştırmacılar, kütle hareketlerinin belirtilen bazı özelliklerini esas alarak, bu hareketlerle ilgili sınıflandırmalar yapmışlardır. Fakat kabul edilen en genel ve temel sınıflandırma ise Varnes (1978) ve ardından Hutchinson (1988) tarafından ifade edilmiştir. Yapılan bu çalışmalardan sonraki yıllarda European Community Programme (EPOCH) bu araştırmacıların daha önceden yapmış oldukları sınıflandırmalara dayanarak 1993 yılında kütle hareketlerinin sınıflandırılmasına ait güncel bir sınıflama sistemi önermişlerdir (Tablo 3).

Tablo 3. Kütle hareketlerinin sınıflandırılması (EPOCH, 1993)

TÜR	KAYAÇ	MOLOZ	TOPRAK
Düşme	Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Toprak Düşmesi
Devrilme	Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Devrilmesi
Kayma (Dairesel)	Tekil Çoklu Ardışık	Tekil Çoklu Ardışık	Tekil Çoklu Ardışık
Kayma (Düzlemsel)	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Toprak Kayması
Kayma (Düzlemsel Olmayan)	Blok Kayması	Blok Kayması	Dilimli Kayma
Yanal Yayılma	Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Toprak Yayılması
Akma	Kaya Akması	Moloz Akması	Toprak Akması
Karmaşık Kayma	2 veya daha fazla türdeki heyelan birlikte oluşmaktadır.		

Malzeme Hareketin Türü		KAYA	MOLOZ	ZEMİN
DÜŞMELER		 Kaya Düşmesi	 Moloz Düşmesi Scree Debris cone	 Toprak Düşmesi Soil Debris cone
		 Kaya Devrilmesi	 Moloz Devrilmesi Debris cone	 Toprak Devrilmesi Taç Çatlakları Debris cone
KAYMALAR	DÖNEL	 Tek Dairesel Kayma Failure surface	 Heyelan Ayna Taç İkincil ayna Çoklu Dairesel Kayma Failure surface	 Ardeşik Dönel Kayma
	ÖTELENMELİ (Düzlemsel)	 Kaya Kayması (*)	 Moloz Kayması	 Toprak Kayması
YAYILMALAR		 Örtü kayması Normal yataya yakın yapı Dışbükey eğim ve fay yapısı Çatlak Clay shale Tabakların incilmesi Taban bindirmesi düzlemi Sağlam ana kaya Vadi Kabarması (erazyonla düzleşmiş) Örnek: Bombelenme ve Vadi oluşumu		 Toprak yayılması
AKMALAR		 Kaya Akması Buzul moloz akması	 Moloz Akması	 Toprak Akması Çamur Akması
KARMAŞIK		 Kaya-Toprak akması ile kaya etek döküntüsü		 Örnek: Kompozit, dairesel olmayan, kısmen dönel/kısmen dülemsel ve eteğe doğru toprak akması şeklinde

Şekil 8. Varnes'in sınıflamasına göre hareket tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların görünümü (KGM, 2015)



Şekil 9. İdeal bir heyelana ait blok diyagram (toprak kayması ve akma-karmaşık hareket) Cruden ve Varnes'dan (1996) değiştirilmiştir

1.9. Heyelanların Jeomorfolojik Karakteristikleri ve Heyelan Duyarlılık Analizi

1.9.1. Heyelanların Jeomorfolojik Karakteristikleri

Günümüzde heyelanların meydana gelmesinde farklı nedenler mevcuttur. Heyelanlara depremlerin yanı sıra birçok farklı tetikleyicilerin de neden olduğu bilinmektedir. Heyelanlar genel olarak yağış ve hızlı kar erimesinden ayrıca topoğrafya, kaya ve toprak tipleri, kırıklardan ve nem içeriği gibi birden fazla faktörden etkilenir. Yapılacak olan bir çalışmada heyelanların sayısını, alanını ve çeşitli bileşenlerden elde edilen sonuçlarla yapılan hesaplamalarla elde edilebilen heyelan hacmini bilmek heyelan duyarlılığını ve tehlikesini belirlemek için son derece önemlidir.

Bir alanda meydana gelen heyelan sayısını elde etmek oldukça kolay bir bilgidir. Bu bilgiye bölgede oluşturulan doğru ve makul derecede eksiksiz heyelan envanter haritalarını kullanarak kolaylıkla ulaşabiliriz. Ayrıca heyelanların sayısı hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve saha denetimleri ile de elde edilebilir. Heyelan haritalarının dijital olarak mevcut bulunduğu yerlerde, birim alan başına düşen heyelan sayısı (yani heyelan yoğunluğu), bireysel heyelan alanları ve toplam heyelan alanları da hesaplanabilir.

Heyelan sayısı ve heyelan alanlarını hesaplamaya oranla heyelan hacmini belirlemek daha zor bir iştir. Heyelan hacmini belirlemek için yüzey ve yüzey altı geometrisi hakkında

oldukça önemli bilgiye ihtiyaç vardır. Bu bilgileri elde etmek zor ve pahalıdır. Ayrıca meydana gelebilecek eğim hataları da heyelanların hacim hesabında oldukça önemli bir faktördür. Fakat büyük bir heyelan topluluğu için eğim yenilmenin hacmini tahmin etme (yüzlerce ila birkaç bin yenilme) oldukça zor bir iştir. Heyelanların jeomorfolojik karakteristiklerinde heyelanların uzunluk, genişlik, alan ve hacim gibi geometrik özelliklerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle heyelanların alan (A_L) ve hacim (V_L) gibi ilişkilerinin incelenmesi gereklidir.

Günümüzde heyelanlarda dikkat çeken bir gözlem, birbirinden farklı mekanizmalar aracılığıyla tetiklenen, dünyanın farklı yerlerinde meydana gelmiş farklı boyutlardaki heyelanların, bir güç yasasını takiben hacim/yüzey alanı oranıyla ilişkilendirildiklerinde bağımsız şekillere sahip olmalarıdır. Yapılan bu gözlemin fiziksel temeli ise tam olarak anlaşılamamıştır. Heyelanların hacimlerinin tahmin edilmesinde özellikle heyelan alanları başta olmak üzere geometrik kopma ölçümlerine bağlı olan deneysel ilişkiler dikkate alınmalıdır. Heyelanın hacmi ve yüzey alanı arasında bulunan analitik ilişki, sahada yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlarla iyi uyum sağladığından daha önceden yapılan ve anlaşılamayan saha incelemelerine mekanik bir altyapı sağlar. Ayrıca planlama parametreleri, yaygın olarak kullanılan faktörlerin yanı sıra diğer jeomorfolojik parametrelerle birlikte heyelanların oluşturacağı doğal tehlikelerin değerlendirilmesi için çaba harcanmalıdır.

1.9.2. Heyelan Duyarlılık Analizlerine İlişkin Genel Değerlendirme

Heyelanlar üzerinde yapılan inceleme çalışmaları çok uzun bir süredir devam etmektedir. Geçmiş dönemlerde yapılan çalışmalar sadece yerel duraysızlık ile ilgili problemlerinin çözüm yollarını bulmak için yapılmıştır. Sonraki dönemlerde bölgesel planlamanın oldukça önemli bir duruma gelmesinden dolayı, heyelanlar üzerinde yapılan değerlendirmeler de belirli bir sınırdan ziyade bölgesel düzeyde yapılmaya başlamıştır. Günümüzde ise teknolojiye meydana gelen önemli gelişmeler sonucunda heyelanların değerlendirme çalışmaları daha kolay bir şekilde yapılmaktadır. Özellikle Coğrafi Bilgi Sistemleri ve uzaktan algılama teknolojilerindeki gelişmeler aracılığıyla sayısal veri tabanlı değişik amaçlar için üretilen haritalar heyelan değerlendirmelerinde kullanılmaktadır. Bu konuda özellikle doğal kaynaklı afetlerde önemli bir yer tutan duyarlılık haritalarının

üretilmesine ilişkin olarak yapılan çalışmalar çoğunluğu oluşturmaktadır (Akgün, 2007; Dağ, 2007).

Heyelan duyarlılık, risk ve tehlike haritalarının değerlendirmeleri özellikle karmaşık alanlarda uygulandığında çeşitli sınırlamalar meydana gelebilmektedir. Bu sınırlamalar özellikle yapılan genelleştirmelerden ve kullanılan yöntemlerin doğasından kaynaklansa da, bahsedilen analizler içerisinde yer alan belirsizliklerin temel kaynağını oluşturmaktadır. Her ne kadar sözü edilen belirsizlikler mevcut olsa da heyelan duyarlılık haritaları özellikle son dönemlerde gerçekleşen, verilerin düzenlenerek farklı biçimlerde değerlendirilip sunulmasına olanak sağlayan CBS'deki gelişmeler vasıtasıyla yaygın bir şekilde üretilmekte ve bölgesel ölçekte yapılan çalışmaların temellerini oluşturmaktadır.

Bu haritaların uygulamada yaygınlaşmasının aksine, uygulamacılar arasında kullanılan parametreler ve bu parametrelerin hazırlama yöntemleri üzerinde, henüz bir görüş birliği sağlanmamıştır. Bu görüş birliğinin sağlanamamasında, çalışılan sahaların büyük olması ve farklı alanlarda farklı parametrelerin dikkate alınması gerekmesi, ayrıca bu amaçla yararlı olabilecek mesleki deneyime dayalı yorumlamalar, bulanık mantık, çok değişkenli istatistiksel analiz, olasılık yaklaşımı vb. gibi çeşitli yöntemlerin bulunması gibi nedenler de etkili olmuştur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

1.9.3. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametreler

Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri ile ilgili yapılan çalışmalarda öncelikle heyelan envanter ve duyarlılık haritalarının oluşturulması gerekmektedir. Heyelan duyarlılık haritaları hazırlanırken, heyelanların meydana gelmesine neden olan birçok parametre kullanılmaktadır (Dağ, 2007). Kullanılan bu parametrelerin ortak özellikleri şu şekilde ifade edilebilir;

- Kullanılan parametrelerin heyelanların oluşmasında hayli tesirli olması gerekmektedir.
- Kullanılan tüm parametreler heyelan duyarlılığı açısından harita oluşturma özelliğini ortaya koymalıdır.
- Kullanılan tüm parametreler inceleme yapılan ve gözlemlenen alanın niteliklerini vermelidir.

1.9.3.1. Yamaç Eğimi

Heyelanların meydana gelmesinde etkili olan en önemli topoğrafik faktörlerden biri arazinin eğimidir. Bir sahada eğimlerin fazla olması heyelan duyarlılığının da oldukça artmasına neden olacaktır. Heyelanın oluşmasında en önemli faktör yamaç eğiminin değişmesi ve bununla ilişkili olarak, yamaçta bulunan malzemenin dengesinin bozulmasıdır. Yamaç eğiminin artmasına bağlı olarak kaya bloklarının ağırlığı da giderek artmaktadır. Bunun sonucunda yamaç dengesi bozulmaya başlar. Yamaç dengesinin bozulmasıyla birlikte kayma meydana gelir (Öztürk, 2002). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde birçok araştırmacı (Dai ve Lee, 2002; Ayalew vd., 2004; Gómez ve Kavzoglu, 2005; Akgün ve Bulut, 2007) eğim faktörünü heyelanı hazırlayıcı etkilere biri olarak kabul ederek, eğimi önemli bir veri olarak heyelan duyarlılık analizlerinde kullanmışlardır.

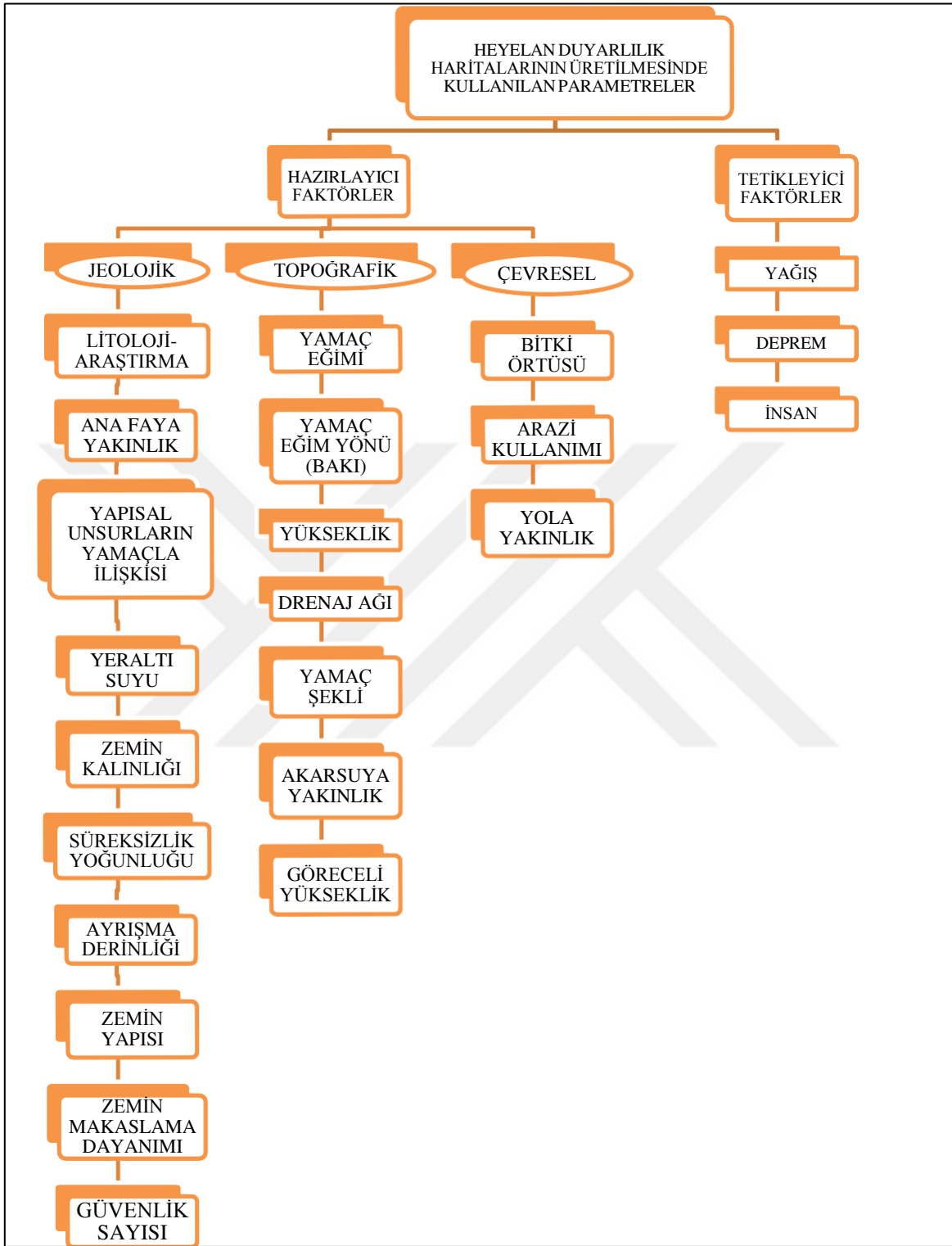
1.9.3.2. Litoloji ve Ayrışma

Heyelanların meydana gelebileceği materyalin jeolojik açıdan nitelikleri, heyelanların duraysızlık modellerine direkt olarak etki etmektedir. Bundan dolayı yapılacak olan çalışmalar duraysızlık modellerini dikkate alarak gerçekleştirilmelidir.

Litoloji, yamaç ya da şevlerin duraylılığını önemli ölçüde etkileyen parametrelerden biridir. Bunun nedeni farklı litolojik birimlerin kayma gerilmelerinin ve su iletme özelliklerinin birbirinden farklı olmasıdır. Bunun sonucunda bu birimlerin kaymaya karşı olan duyarlılığı da farklı olacaktır.

Heyelan duyarlılığında litolojik anlamda incelenen önemli bir diğer faktör de ayrışmadır. Çünkü litolojik özellikler bakımından birimler aynı olsa bile, bu birimler farklı ayrışma derecelerinde olup, farklı duraylılığa sahip olabilirler. Bu nedenle birimlerin ayrışma özellikleri de birimlerdeki kaymaya etki eden bir özellik olarak incelenmelidir.

Bir toprak zemini oluşturan malzemenin dane boyu büyümesi, zemindeki daneler arası boşluğun artmasına neden olur. Bunun nedeni yağmurun yüksek olması ile zeminin olduğundan çok su barındırmasına ve giderek kayma ihtimalinin çoğalmasına sebebiyet vermektedir. Bütün bunlar göz önünde tutulduğunda, heyelanlar için duyarlılık haritaları oluşturulurken inceleme sahasındaki ayrışma ve jeoloji faktörleri de özellikle incelenmeli, sahada yapılan çalışmalar titiz olarak gerçekleştirilmelidir (Dağ, 2007).



Şekil 10. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametreler (Dağ, 2007)

1.9.3.3. Yamaç Yönelimi (Bakı)

Bir yamacın yönelimi (bakı), saha yüzeyinin istikametini gösteren bir faktör olup yüzeyin üzerinde yer alan bir noktaya ait teğet düzleminin gösterdiği yön olarak belirtilir. Eğim yönü, duyarlılık haritalarının oluşturulmasında yaygın olarak tercih edilir. Yapılan incelemelerde çalışanlar istatistiksel değerlendirmeler sonucunda heyelanların açık yönelimlere ait olan yamaçlarda daha fazla gözlemlendiğini belirlemişlerdir (Van Westen ve Bonilla, 1990; Koukis ve Ziourkas, 1991; Anbalagan, 1992; Pachauri ve Pant, 1992; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Guzetti vd., 1999; Luzi ve Pergalani, 1999; Nagarajan vd., 2000; Lee ve Min, 2001; Dai vd., 2001; Temesgen vd., 2001; Baeza ve Corminas, 2001; Donatti ve Turrini, 2002; Ayalew vd., 2004; Ayalew ve Yamagishi, 2005). Bu araştırmacılar arasından Koukis ve Ziourkas (1991), Gökçeoğlu ve Aksoy (1996), Dai vd. (2001) ve Lee vd. (2002), heyelanların belirli yönelimlerde daha fazla meydana gelmesinin nedenini çoğunlukla yağışla ilişkilendirirken, Pachauri ve Pant (1992) ile Ayalew ve Yamagishi (2005) ise bu araştırmacıların aksine bu durumu sahanın genel morfolojik eğilimi ile ilişkilendirmektedir.

Heyelanların belli yönelimlerdeki yamaçlarda daha fazla meydana gelmesinde, özellikle bölgenin genel morfolojik yapısı, sahanın genel yağış yönü, bölgenin güneş ışığına çok maruz kalması gibi meteorolojik etkenler sebebiyet vermektedir. Özellikle yüksek yağmur düşen yamaçlar farklı faktörlerden ötürü (zeminin türü, geçirgenliği, gözenekliliği, eğim, bitki örtüsü, ıslaklık ve tabii madde miktarı ve yağışın olduğu zaman dilimi) daha düşük yağmur düşen yamaçlara göre doymuş özelliğe hızlı bir şekilde erişmektedir. Bu nedenle zeminde meydana gelen boşluk içerisindeki su basıncı, böyle yamaçları heyelan bakımından yüksek duyarlı şekle sokmaktadır. Bunun sonucunda yamaçlar için eğim yönünü kullanırken, yüksek yağış etkiyen yamaçlar az yağış alanlara göre daha duyarlı olarak tanımlanmaktadır (Dağ, 2007).

1.9.3.4. Arazi Örtüsü

Heyelan incelemeleri için yapılan analizlerde araştırmacılar, bitki örtüsünü veya saha kullanım gücünü etken olarak tercih etmektedirler. Aslına bakılırsa her iki etken de birbirine eş hususları (iskân sahaları, ormanlık alanlar, ziraat alanları, yüksek ve nadir bitki

örtüsü bulunduran alanlar vb.) kullanmaktadır. Bu nedenle çalışmada bu etkenler birbiri ile ortak olarak sayılarak, arazi örtüsü konusu içinde incelenmiştir.

Yamaç duraylılığında bitkilerin pozitif veya negatif tesirleri vardır. Büyük ve kuvvetli kök düzenleri ile bitki örtüsünün yüksek olarak gözlemlendiği sahalarda yamaç duraylılığına pozitif bir şekilde tesir etmektedir. Yeşilliklerin yapraklarını kullanarak suyu çekmesi ve buharlaştırmasından dolayı yağışın süzülme etkisi azalmaktadır. Aynı şekilde ağaç ya da bitkiler kökleri yardımıyla, zemin boşluklarında bulunan suyu azaltarak, bu suyu terleme vasıtasıyla uzaklaştırır. Yalnız, kök ile gövde kısımları ise zemin alanının geçirimsizliğini artırmasından dolayı, yüzey sularının zemin bünyesine hareket etmesini elverişli hale getirmektedir. Zemindeki nem miktarının azalması nedeniyle oluşan kuruma çatlakları, zeminin bünyesine katılan yağışlar ve zemindeki boşluk içerisindeki su basıncının artmasını sağlayabilmektedir. Bütün ifade edilen durumlar yamaç duraylılığına negatif etki yapmaktadır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Heyelan etkisi incelendiğinde bitki örtüsünün yüksek olarak gözlemlendiği ormanlık sahalarda, daha nadir bitki örtüsü içeren sahalara veya yerleşim ve tarım yerlerine göre heyelanlardan düşük oranda tesir görmektedir. Fakat bundan değişik araştırma da Lee ve Min (2001) tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar yaptıkları çalışma sonucunda genel olarak düşünülenin aksine ormanlık sahalarda yerleşim yerlerine göre yüksek heyelan oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Sebebinin ise yerleşim yerlerinin düz olması, fakat ormanlık alanların ise yerleşim alanlarına göre çok eğimli dağlık alanlardan meydana gelmesine ve heyelanların da özellikle eğimi yüksek alanlarda oluşmasıyla ilişkilendirmişlerdir (Dağ, 2007).

1.9.3.5. Yükseklik

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan bir diğer parametrede, deniz seviyesinden baz alınan yüksekliği esas alarak ifade eden topoğrafik yükseklik parametresidir. Genellikle yüksekliğin oldukça az olduğu alanlar (0-150 m), yamaç eğiminin düşük olması ve dolgun örtü materyali içermesinden dolayı, heyelanlar açısından oldukça az duyarlı bir şekilde ifade edilmektedirler.

Orta yüksekliklerdeki sahalarda ise (150-400 m), oldukça yüksek sahalardan getirilen materyal ve ayrışma sonucunda meydana gelecek toprak örtüsü sebebiyle, heyelanlar açısından yüksek duyarlı olarak ifade edilmektedir. Yüksekliğin fazla olduğu sahalarda ise (>

400 m), kayaç türü materyallerden meydana gelmesi ve düşük yükseklikteki materyallere oranla oldukça fazla dayanımda olmaları nedeniyle, yüksekliği orta ve az olan alanlara göre heyelanlara karşı daha az duyarlı oldukları kabul edilmektedir.

Yapılan araştırmalar incelenecek olursa; kullanılan yükseklik parametresi, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında çok kullanılan bir parametre olmasının yanında, bitki örtüsü, morfoloji ve yağış gibi diğer parametrelerle ilişkilendirilerek değerlendirilmektedir. Bu nedenle herhangi bir alanda meydana gelecek heyelanların hangi yüksekliklerde meydana geleceğinin belirlenmesi, birçok araştırmacı için yalnızca bir ön fikir verebilecek nitelikte veri olarak kabul edilmektedir (Dağ, 2007).

1.9.3.6. Drenaj Ağı

Yamaçların drenaj ağına olan yakınlığı duraylılık açısından oldukça önemli bir faktördür. Bunun nedeni akarsular, yamacı meydana getiren materyalin akarsu düzeyinin altında kalan kısmını suya doymuş şekle ulaştırarak ya da yamaç topuğunu erozyona uğratarak, yamaçların duraylılığını bozmaktadır (Dağ, 2007). Yamaçların drenaj hatlarına yakın konumda bulunması, yamacın durağanlığı bakımından önemli bir faktördür. Drenaj yoğunluğu ise, birim alana düşen akarsu uzunluğu olarak ifade edilmektedir (Bayazıt, 1982). Drenaj yoğunluğunun hesaplanmasında kullanılan bileşenler; alt havza alanları ile beraber toplam su yolları uzunluğuna ait verileri içeren drenaj ağlarıdır. Drenaj yoğunluk hesabı aşağıda ifade edilen formül aracılığı ile hesaplanmaktadır:

$$D_y = \sum LL/AA \quad (1)$$

Gösterilen eşitlikte D_y drenaj yoğunluğu, L akarsu uzunluğu, A ise havza alanını ifade etmektedir. Bu eşitliğe bağlı olarak drenaj yoğunluğunun artmasına bağlı olarak heyelan duyarlılığı da artmakta olup, drenaj yoğunluğunun azaldığı alanlarda ise heyelan duyarlılığı da azalmaktadır (Akgün ve Bulut, 2007).

1.9.3.7. Topoğrafik Nemlilik İndeksi

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan önemli faktörlerden bir diğeri de topoğrafik nemlilik indeksidir (Gökceoğlu vd., 2005; Gómez ve Kavzoglu, 2005). Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) haritalarının üretilmesinde yüzey akış modeline önemli

bir bileşen olup ayrıca bu haritalar bir alanın bağıl nemliliği sayesinde ne kadar ıslak olduğunu gösteren verilere sahiptir. Eğimin etkisiyle birlikte yamaçlardaki su muhtevasının artma ihtimalinin ve buna bağlı olarak suya doymuş ve kaymaya karşı daha duyarlı hale gelen zeminlerin tespit edilmesinde önemli bir değerlendirme parametresi olarak kullanılmaktadır. Topoğrafik nemlilik indeksi, aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$TWI = \ln(A_s / \tan\beta) \quad (2)$$

Gösterilen eşitlikteki A_s değeri akış toplama modelinden elde edilen verileri, β ise derece olarak eğim değerini göstermektedir.

1.9.3.8. Eğim Uzunluğu

Eğim uzunluğu, yüzey akışının başladığı yerden veya iyi bir şekilde tanımlanmış akışın başlangıcından itibaren, eğimin azaldığı ve birikmenin başladığı yere kadar devam eden eğim akışı uzunluğudur (Wischmeier ve Smith, 1978). Eğim uzunluğu faktörü (L) şu formülle ifade edilir:

$$L = (1/22.1)^m \quad (3)$$

Bu eşitlikte, L eğim uzunluğu faktörü, l arazi eğim uzunluğunu ve m ise eğim uzunluğu ve derecesi ilişkisini gösteren üstü belirtir. Eşitlikte kullanılan birimler metre cinsinden ifade edilmiştir.

Eğim mesafesi hesabında yüzeye yatay geçecek biçimde bulunan eş yükseklik eğrileri kullanılır. Bu ölçüm sonucu bize asıl olarak, yamaç yüzeyini takiben ölçülen eğim uzunluğunun yatay izdüşümünü verir. Eğim uzunluğunun heyelan tehlikesi için önemli bir faktör olmasının nedeni toprak kaymasını meydana getiren etmenleri etkilemesi ve toprakta bulunan materyallerin yamaç eğimi boyunca hareketini zorlaştıran bir bileşen olmasıdır. Bunun yanı sıra yamaç boyunca meydana gelen sel sularının hızı eğim boyunca giderek artmaktadır. Bu durum bize eğim uzunluğunun yamaç boyunca bulunan materyal hareketinin üzerine etki eden en önemli etken olduğunu gösterir (Gómez ve Kavzoglu, 2005).

1.9.3.9. Ana Faylara Yakınlık

Ana faylara yakınlık, heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında jeolojik parametreler başlığı altında değerlendirilen yapısal özelliklerdendir. Özellikle sismik aktivitenin etkin ve mühim olduğu sahalardaki incelemelerde çokça tercih edilen bir etkidir. Bu özelliklere sahip bölgelerde araştırmacıların çoğu haritalama yapılmak istenen bölgede bulunan ana fayları yapısal bir öge şeklinde değerlendirerek, faylara olan yakınlığı göz önüne alırlar.

Gupta ve Joshi (1990), fay zonlarından uzaklara doğru gidildikçe, meydana gelen heyelanlarda bir azalma gözlemlendiğini, aksine faylara yakın olan alanlarda ise heyelanların daha fazla meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Bunun nedenini faylara yakın olmanın sonucunda kayaçlarda parçalanmaların meydana geleceği ve bunun sonucunda da yamaçların duraylılığına olumsuz yönde etki edeceğini belirtmişlerdir (Dağ, 2007).

1.9.3.10. Yola Yakınlık

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında yamaçlardaki durağanlığı etkileyen doğal topoğrafyayı tahrip eden etkilerden birisi de mevcut olarak bulunan yol ağlarının durumudur. Eğimli arazi üzerinde inşa edilen yollar topoğrafya üzerinde mevcut olarak bulunan durağan yük durumunu bozmakta olup, meydana gelen topoğrafik değişiklikler ile birlikte yük azalmasına sebebiyet vermektedir. Bu alanlarda yol yapımı öncesinde denge halinde bulunan yamaçlar, yol yapımı sonrasında ise yamaç gerisinde oluşan gerilim artışına sebebiyet vererek çatlakların oluşmasına neden olur. Oluşan bu çatlaklar dışarıdan gelebilecek olan su girişi gibi negatif etkiler oluşturacağından heyelanların meydana gelmesini tetikleyebilir (Reis vd., 2009).

1.9.4. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi Bilgi Sistemleri, genel olarak ifade edilecek olursa konuma dayalı olarak yapılan gözlemler sonucunda elde edilen grafik ve grafik olmayan verilerin öncelikle toplanması, saklanması, işlenmesi ve bu verilerin kullanıcıya sunulması işlevlerini bütünlük içerisinde gerçekleştirebilen bir bilgi sistemidir (Yomralıoğlu, 2000).

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde konumsal verilerin toplanmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler şu şekilde sıralanabilir;

- Yersel ölçme yöntemleri;
- Fotogrametrik yöntem
- Uzaktan algılama tekniği
- Global konum belirleme (GPS)
- Mevcut verilerin değerlendirilmesi ile yapılan bilgi aktarımı
- Mevcut haritaların sayısallaştırılması işlemi
- Tarama sistemleriyle yapılan otomatik sayısallaştırma işlemi

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde kullanılan verinin özellikleri incelendiğinde bir takım farklılıkların bulunduğu gözlenmektedir. Gözlenen bu farklılıkların başını, farklı konumsal veri modelleri oluşturmaktadır. Veri modeli bilinen tanımıyla, bir plana göre verinin mantıksal organizasyonudur.

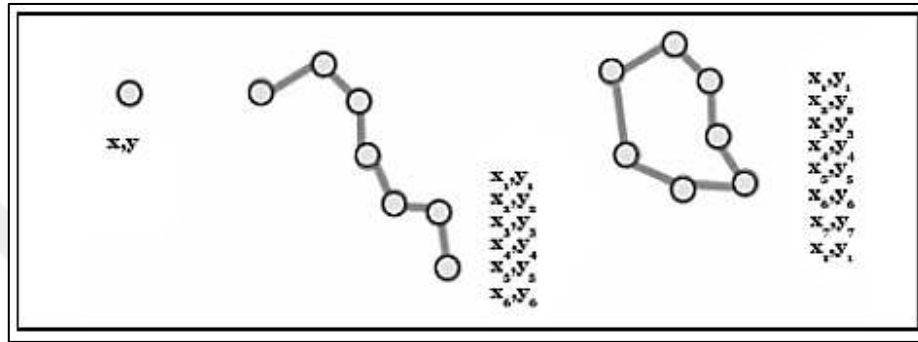
1.9.4.1. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Veri Modelleri

CBS’de kullanılmak üzere farklı yollarla düzenlenen konumsal veri modelleri, vektörel (vector) ve hücresel (raster) veri modelleri olarak iki şekilde bulunmaktadır.

1.9.4.1.1. Vektörel Veri Modelleri

Vektörel veri modeli, koordinat değerlerine sahip olarak başlangıç ve bitişi bulunan nokta, çizgi ve poligonlarla ifade edilebilen bir veri modelidir. Kullanılan her bir nokta iki veya üç değer ile ifade edilir. Noktalar tek bir koordinat sistemi ile temsil edilirken çizgiler ve poligonlar ise sıralı koordinatlar ile ifade edilmektedir (Şekil 11). Poligonların

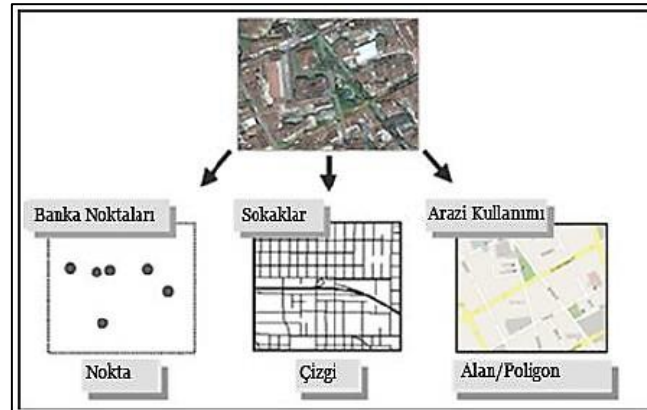
izgilerden farkı başlangıç ve bitiş koordinatlarının aynı olmasıdır. Bu sistem X,Y,Z koordinat sistemiyle ifade edilirken, ilk rakamı oluşturan X düzlemin sağından olan uzaklığı ifade ederken, Y düzlemin tepesinden olan uzaklığı ve Z ise bu noktanın düzlem üstünde veya altında oluşan yükseklik değerini verir. Grafik veriler, coğrafi veri elementleri olarak nokta, çizgi ve poligon şeklinde koordinatlandırılarak ifade edilirler (şekil 12).



şekil 11. Koordinat çiftlerine dayalı vektörel veri modeli (Fazal, 2008)

Vektör veriler aşağıdaki ifade edilen amaçlar ve uygulama problemlerini çözmek için kullanılır (Fazal, 2008);

- Doėruluėun yüksek olması gereken iřlerde,
- Harita için her bir ayrı özelliėinin analizine gereksinim duyulduėu durumlarda,
- Uygulamalarda dosya boyutlarının önemli olduğu durumlarda,
- Tanımlayıcı olan bilgilerin saklanması gerektiği durumlarda



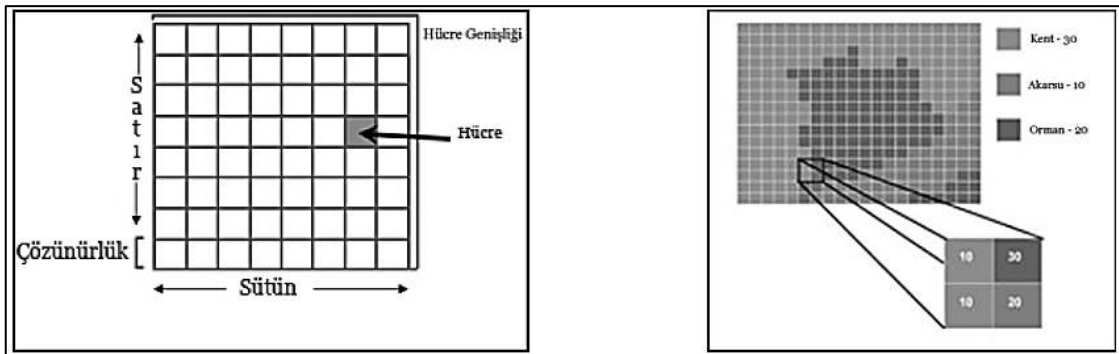
şekil 12. Nokta, izgi ve poligonun geometrik detay gösterimi (Fazal, 2008)

1.9.4.1.2. Raster Veri Modelleri

Raster veri modeli grafik objelerin tamamının hücreler veya piksel ile temsil edildiği ve ya gridlerden meydana gelen veri modelidir. Bu veri modelinde raster görüntüler, matris formunda belirtilen küçük kareler şeklindeki hücrelerden oluşur. Her bir hücrenin kendine ait öznelik ve konumsal verileri vardır (Şekil 13). Gridler aynı boyutlarda farklı renk ve renk tonlarında olabilirler. Raster gösterimlerde vektörel gösterimlerdekinden farklı olarak, farklı özellik ifade eden coğrafi varlıklar arasında herhangi bir sınır olmayıp, sürekli bulunan bir gösterim biçimi söz konusudur (Yomralıoğlu, 2000). Raster veri yapısıyla oluşturulmuş bir haritanın doğruluğunun ölçülmesi için öncelikle piksel boyutlarına bakmak gerekmektedir. Raster görüntüde piksel boyutu ile doğruluk ters orantılıdır. Yani piksel boyutunu ne kadar küçülürsek görüntüdeki doğruluk oranı o kadar yükselmektedir. Piksel boyutunu bilgisayar ölçeğinde incelediğimizde mikron biriminde iken, gerçekteki boyutu metre veya santimetre cinsinden ifade edilir. Ayrıca pikselin gerçekteki boyutuna da yersel ya da konumsal çözünürlük adı verilir.

Raster veriler aşağıda ifade edilen amaçlar için kullanılır (Fazal, 2008);

- Çok detaylı bir çalışma gerektiren işlemlerde,
- Genellikle maliyetin daha düşük tutulması gerektiren işlemlerde,
- Haritada yer alan her bir detayın analizine ihtiyaç olmayan işlemlerde,
- Yapılan çalışma için altlık bir harita ihtiyacı duyulan işlemlerde



Şekil 13. Raster hücre bilgileri ve raster görüntülerdeki piksellerin karşılığındaki gerçek dünyadaki öznelik bilgileri (Fazal, 2008)

Yapılan bir çalışmada vektör ve raster veri setleri arasında seçim yaparken, öncelikle CBS uygulamasının amaçlarının ve gereksinimlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Tablo 4). Raster veri modellerinin basit olması, işlem operasyonlarındaki hızlı bir şekilde davranabilme özelliği, tampon bölge ve bindirme gibi işlemlerdeki hızı nedeniyle tercih edilen bir veri modelidir. Fakat bunun yanında raster veri modelleri ile üretilen haritalarda incelenecek birçok detay kaybolmaktadır ve göz ardı edilmektedir. Eğer kartografik işlemlerin önem kazandığı bir uygulama yapılacaksa bu özelliğinden dolayı tercih edilmemektedirler. Raster veri modellerine göre vektör veri modelleri ise harita gösterimlerinde daha hassas veriler göstermesi nedeniyle tercih edilen bir veri modelidir. Fakat vektör verilerin en büyük dezavantajı ise verilerin hazırlanmasındaki zorluklar ve yüksek maliyetlerdir (Tablo 4).

Tablo 4. Vektör ve raster veri modellerinin karşılaştırılması (URL-3, 2020)

RASTER VERİ MODELİ	VEKTÖR VERİ MODELİ
Avantajları	
Basit veri yapısına sahiptir Kolay ve kullanışlı çakıştırma işlemi yapılabilir Uzaktan Algılama ürünleriyle karşılaştırılması kolaydır Aynı piksel büyüklüklerine sahip olmasından dolayı simülasyon işlemi daha kolaydır Değişik şekilde konumsal analizlerin yapılması kolaydır	Bütün lük arz eden bir veri yapısına sahiptir Ağ analizleri için uygundur Projeksiyon dönüşümlerine uygundur Mekansal verilerin gösteriminde, ölçeğe bağlı doğruluğuna sahiptir Mekansal ve mekansal olmayan veriye ulaşma, güncelleme ve genelleme mümkündür Alan, uzunluk , çevre uzunluğu gibi ölçüm değerleri gerçeğe daha yakındır Topoloji için uygundur
Dezavantajları	
Bilgisayarda çok geniş hacim kaplar Mekansal verinin çevre uzunluğu, alan ve şeklinde bozulmalar ve hatalar oluşur Ağ analizleri çok zordur Projeksiyon dönüşümleri için uygun değildir Hücre büyüklükleri arttıkça mekansal veride kayıplar artar Topoloji için uygun değildir	Veri yapıları karmaşıktır Çakıştırma analizleri için kullanışsızdır Yüksek mekansal değişkenlerin analizi için uygun değildir Uzaktan Algılama ürünleriyle karşılaştırılması zordur Güncelleştirmesi fazladır

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde kullanılan ham verinin yararlı bir bilgiye dönüştürülmesi ve kullanıcının kullanımına sunulması için birçok konumsal analiz yapılması gerektirmektedir. Konumsal analiz, dönüşümler, işlemler ve coğrafi verilere değer veren, kararları destekleyen ve açık bir şekilde belli olmayan örnekleri ortaya çıkaran metotlardır. Konumsal analiz kapsamında, coğrafi alanların, potansiyel yapıların incelenmesi, konumsal olayların çevre üzerindeki etkilerinin tahmin edilmesi ve bu olayların yorumlanarak daha anlaşılır bir hale dönüştürülmesi gibi uygulamalar değerlendirilir. Konumsal veri tabanının içerdiği katmanlardan yararlanarak farklı disiplinlerin kullanabilmesi için birçok analiz yapılabilir. Bu analizlere örnek olarak yerleşime uygun yerlerin belirlenmesi, heyelana duyarlı alanların tespit edilmesi ya da farklı tarımsal üretim sahalarının tespit edilmesine yönelik çalışmalar verilebilir (Dağ, 2007).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

İnceleme alanının genel jeolojisinin belirlenmesi amacıyla MTA Genel Müdürlüğü'nden elde edilen Trabzon ilinin 1:25.000 ölçekli haritası kullanılmış olup, bu harita üzerinde tanımlanan kaya birimleri tez çalışmasında dikkate alınmıştır.

Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesinin, Doğu Karadeniz Bölümünde yer alan, Trabzon ili, Ortahisar ilçesinin olasılıksal yöntem ve CBS'ye dayalı heyelan duyarlılık değerlendirmesi yanı sıra, alanda gözlenen heyelanların alansal büyüklüklerinden yola çıkılarak ileride meydana gelecek olası heyelanların alansal büyüklükleri yine olasılık yoğunluk fonksiyonu çerçevesinde incelenmiştir.

2.2. Arazi ve Büro Çalışmaları

Trabzon ili, Ortahisar ilçesinde meydana gelen heyelanları belirlemek amacıyla arazi çalışmaları yapılmıştır. Yapılan arazi çalışmalarının ilk aşamasında genel jeoloji amaçlı çalışmalar yapılarak sahadaki litolojik birimlerin yanı sıra alanda gözlenen heyelan alanları gözlemsel olarak incelenmiştir. Alanda yer alan heyelanlar, MTA Genel Müdürlüğü'ne ait Yerbilimleri Portalı'nda sunulan verilerin yeniden sayısallaştırılması ile elde edilmiş, sayısallaştırılan heyelanların bazıları arazide yerinde gözlemlenmiştir.

Trabzon ili, Ortahisar ilçesi sınırları içinde gözlenen heyelanların alansal olabilirlik karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla heyelanların alansal geometri istatistiklerinin belirlenmesi gerektiğinden, R istatistiksel yazılım ortamında (URL-5, 2014) çalışan LStats yazılımı (Rossi ve Malamud, 2014) kullanılarak üç olasılık yoğunluk fonksiyonunun parametreleri olan histogram yoğunluk tahmini (HDE), kernel yoğunluk tahmini (KDE) ve maksimum olabilirlik tahmini (MLE) yöntemleriyle alansal büyüklük olabilirliği incelenmiştir. Sahada gözlenen heyelanların alansal istatistiklerinin değerlendirilmesi için MLE yöntemi kullanılmıştır. Her bir parametreye ait, değerinin bir tahmini, standart hata (Std. Err.), tahmini hata varyansı (t_value) ve parametreler arasındaki korelasyonlar ($Pr(> |t|)$) belirlenerek çift pareto (DP), çift pareto basitleştirilmiş (DPS) ve ters gama (IG) dağılımına ait katsayı ve bunlara ait olasılık yoğunluk grafikleri oluşturulmuş ve birbirleri

ile karşılaştırılmıştır.

İnceleme alanı üzerinde yapılan heyelan duyarlılık değerlendirmesi için ilk olarak bir sayısal yükseklik modeli (SYM) elde edilmiştir. Bunun için, NASA tarafından sağlanan (URL-7, 2020) ve ücretsiz olarak elde edilebilen ALOS Palsar uydu platformu tarafından sağlanan ve 12.5 m konumsal çözünürlüğe sahip SYM verisi kullanılmıştır. Bu çalışmada yapılan tüm işlemlerde ArcGIS yazılımı kullanılmıştır. Öncelikle bu işlemlerde kullanılmak amacıyla MTA Genel Müdürlüğü'nden 1:25.000 ölçekli Ortahisar ilçesi sınırlarını içeren sayısal jeoloji haritası alınmıştır.

İnceleme alanının heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla ilk olarak literatürde sıkça tercih edilen yöntemlerden biri olan Frekans oranı (Frequency Ratio, FR) metodu kullanılmıştır (Akgün vd., 2007). Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi için yapılan bu analizde üretilen ve kullanılan raster ve vektör haritaların tamamının koordinatı WGS 1984 UTM 37 N koordinat sisteminde tanımlıdır. Analizde üretilen ve kullanılan parametre haritalarının tamamı ile heyelan duyarlılık haritasının piksel boyutu 12.5x12.5 m olarak tanımlanmıştır. İnceleme alanının heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla ikinci yöntem olarak entropi endeksi (EE) yöntemi kullanılmıştır. Yapılan bu değerlendirme sonucunda tüm parametrelerin ağırlık değerleri ayrı olarak hesaplanmış ve on üç adet analize giren parametre haritası CBS ortamında toplanarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Üretilen bu heyelan duyarlılık haritalarında beş adet duyarlılık sınıfa ayrılmıştır.

Çalışmada kullanılan etkenleri ifade eden haritalar CBS ortamında hazırlandıktan sonra, bu parametreler ile inceleme alanında daha önce gerçekleşmiş olan heyelanlar arasındaki ilişkiler belirlenmeye çalışılmıştır. Bu nedenle parametrelere ait her bir harita ile heyelan envanter haritası ArcGIS yazılım ortamında birbirleriyle karşılaştırılarak her bir parametrenin her bir alt sınıfına ait olan heyelanlı ve heyelansız piksel sayıları bulunmuştur.

3. BULGULAR

3.1. Giriş

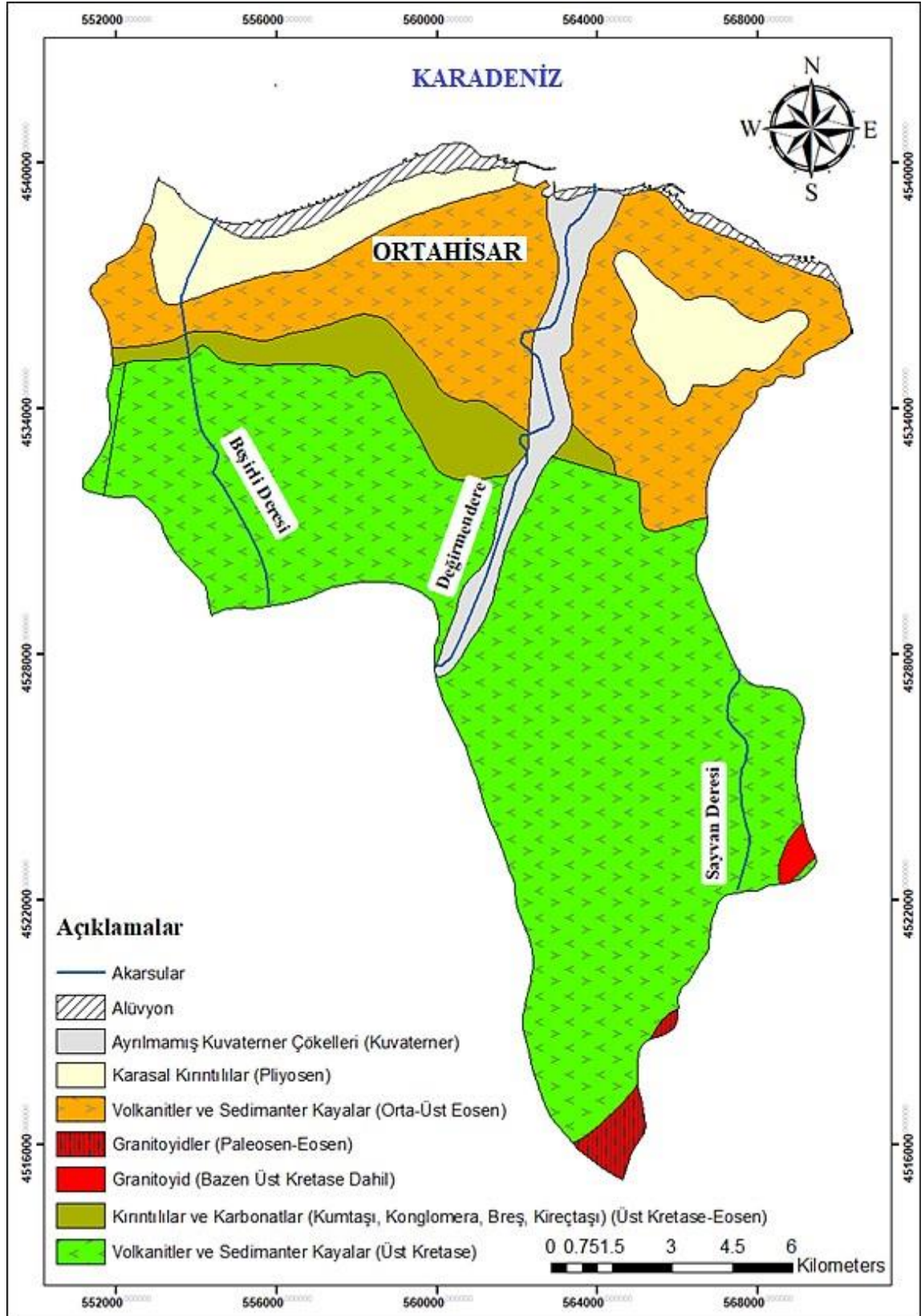
Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesinin, Doğu Karadeniz Bölümünde yer alan, Trabzon ili, Ortahisar ilçe merkezi ve çevresinde meydana gelen heyelanların alansal özelliklerin yanı sıra ikincil topoğrafik verilerle (yamaç eğimi, yönelimi, eğriselliği, nemlilik indeksi vb.) olan konumsal ilişkilerin de ayrıca incelenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada heyelanların alansal karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle heyelan istatistiklerinin belirlenmesi gerektiğinden heyelanların boyut dağılımının (büyüklüğün bir göstergesini) tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada Trabzon ili, Ortahisar ilçesine ait Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık değerlendirmesi çalışması yapılması amaçlanmıştır.

3.2. İnceleme Alanının Genel Jeolojisi

İnceleme alanı ve çevresinde yapılan gözlemler sonucunda, inceleme alanı Doğu Pontidlerin Kuzey zonu içerisinde yer almakta olup, genel olarak Mesozoyik döneme ait Üst Jura-Alt Kretase yaşlı volkanik kayalarla ve Senozoyik döneme ait Tersiyer yaşlı Sedimanter kayalarla karakteristiktir.

İnceleme alanında alüvyon, Kuvaterner yaşlı ayrılmamış kuvaterner çökelleri, Pliyosen yaşlı karasal kırıntılılar, Orta-Üst Eosen yaşlı volkanitler ve sedimanter kayalar, Eosen yaşlı granitoidler, Paleosen-Eosen yaşlı Granitoid, Üst Kretase-Eosen yaşlı kırıntılılar ve karbonatlar (Kumtaşı, konglomera, breş, kireçtaşı) ve Üst Kretase yaşlı volkanitler ve sedimanter kayalar bulunmaktadır.

Trabzon ili, Ortahisar ilçesinin genel jeoloji haritası Şekil 14'te ve stratigrafik dikme kesiti ise Şekil 15'te gösterilmiştir.



Şekil 14. Ortahisar ilçesinin genel jeolojisi (MTA Genel Müdürlüğü'ne ait Yerbilimleri Portalı'ndan değiştirilerek)

3.2.1. Mesozoyik Dönem

3.2.1.1. Üst Jura-Alt Kretase

3.2.1.1.1. Kızılkaya Formasyonu (Krü2)

Güven (1993) tarafından bu isimle adlandırılan bu formasyon, oldukça yüksek yayılımlar halinde gözlenen dasit-riyodasit lav ve piroklastları içeren Kızılkaya civarında görülmüştür. Kızılkaya Formasyonuna ait birimler; Yomra-Arsin ilçelerinin güney kısmında, Maçka kuzeyinde, Sürmene ilçesinin Çamburnu beldesinde, Çaykara, Dernekpazarı ve Dağeteği yerleşkelerinde gözlenir. Beyaz-gri ayrıca gri-sarımsı renk içeren dasit-riyodasit özellik gösteren lav ve piroklastlarından oluşmaktadır. Formasyonun tepe kısımlarına gidildikçe tuf ve tuf-breş niteliği gösteren kesimler gözlenir.

İnceleme alanında yüzeyleyen tüfler büyük oranda ayrıışmışlardır. Hem fiziksel hem de kimyasal ayrıışmanın gözüktüğü tuf birimlerinde özellikle kırık ve çatlak hatları boyunca hematitleşmeler kırmızı-turuncu renkleriyle belirgindirler (Şekil 16).

Formasyonun kalınlığı 200-500 m arasında değişmekte olup, içerisinde seyrek bir şekilde kalınlığı 1-10 m arasında farklılaşan kırmızı bordo renkli çamurtaşları gözlenir. Formasyonun yaşı Yomra-Kayabaşı (Kanköy) bölgesinde yapılan sondaj çalışmaları sırasında saptanan mikrofosiller nedeniyle Senoniye olarak verilmiştir (Yılmaz, 1988).



Şekil 16. Tüflerin inceleme alanındaki görünümü

3.2.1.1.2. Çağlayan Formasyonu (Krü3)

Güven (1993) tarafından adlandırılan bu formasyon volkano-tortul karakterli bir istif özelliği göstermektedir. Formasyon bazalt-andezit özellik gösteren lav ve bunların piroklastları ile genel olarak bordo-kırmızı renklerden oluşan biyomikrit, kumtaşı ve marn ara tabakalarından oluşmaktadır. Formasyonun içerisinde oldukça gelişmiş yastık lavlar gözlenir. Lavların sıcaklığının azalması esnasında oluşmuş olan gaz boşlukları genel olarak klorit, kalsit ve zeolit mineralleriyle doldurulmuştur. Formasyonun kalınlığı yaklaşık olarak 800 m olup, formasyonda yeşil-gri ve gri-morumsu bir renk tonu hâkimdir. Formasyonun yaşı Üst Kretase (Kampaniyen-Maastrichtiyen) şeklinde saptanmıştır.

İnceleme alanında gözlenen dasitik tüfler genellikle ayrıışmış yapıda olup, yer yer gözenekli bir yapı da sunmaktadır (Şekil 17).



Şekil 17. Dasitik tüflerin inceleme alanındaki görünümü

3.2.1.1.3. Bakırköy Formasyonu (Krü5a)

Üst Kretase döneminde, Doğu Pontidlerin kuzey zonu kısmında felsik ve mafik volkanik aktivitenin tamamlanmasının ardından sığ ve derin olan denizel havzalarda resifal ya da türbiditik çökeller meydana gelmiştir. Güven (1993) tarafından türbiditik özellik gösteren birimler Doğu Pontidlerin kuzey zonu kısmında özellikle Artvin ilinin kuzey kısmında kalan Bakırköy yöresi civarında çok iyi yüzeyleme meydana getirdiğinden dolayı Bakırköy adıyla isimlendirilmiştir.

Bakırköy Formasyonu; Hayrat civarı, Aktoprak, Araklı ve Yomra ilçelerinin güney kısmında, Polut Dağı civarında, Gürbulak ve Trabzon ili, Ortahisar ilçesinde yer alan Hacımehmet-Uğurlu bölgeleri ile Tonya civarında yüzeylemektedir. Katman genellikle gri-beyaz killi kireçtaşı, gri renk gösteren marn, kumlu kireçtaşı ve az miktarda da kumtaşlarından meydana gelmiştir ve birimde ince ve orta kalınlıkta katmanlı yapılar gözlenir. Birimin kalınlığı net olmamakla birlikte 100-250 m değerleri arasında değişmektedir. Formasyonun yaşı ise Üst Kretase (Maestrichtiyen-Paleosen) şeklinde belirlenmiştir.

3.2.1.1.4. Kaçkar Granitoidleri (Y2, Y3)

Kaçkar Dağları, Rize ilinin güneydoğu bölgesinde yer alan yüksek dağ sırası şeklinde tanınmaktadır. Bu birimin “Kaçkar Granitoidi” olarak isimlendirilmesinin sebebi Senozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimler içerisinde intrüzif yapmakta olan granitoidlerin yoğun şekilde bu bölgede gözlenmesidir. Belirtilen granitoidler Coğullu (1970) aracılığıyla “Rize Graniti” şeklinde adlandırılmıştır. Güven (1993) ise bu intrüziflerin karmaşık bir yapıda granitten başlayarak gabro oluşumuna varıncaya kadar farklılaşma oluşturması sebebiyle, granitoid şekliyle tanımlanmasının daha mutabık olacağını belirlemiştir. Burada önemli olarak Mesozoyik yaşlı yığılımlar bünyesine intrüzif yapmakta olan ayrıca Senozoyik yaşlı yığılımlardan daha yaşlı bulunduğu saptanan sokulum kayalar Kaçkar Granitoidi I (Y2) şeklinde, Senozoyik yaşlı yığılımlar bünyesine intrüzif yapmakta olanlar ise Kaçkar Granitoidi II (Y3) şeklinde ayırt edilmiş ve tanımlanmışlardır.

3.2.2. Senozoyik Dönem

3.2.2.1. Tersiyer

3.2.2.1.1. Kabaköy Formasyonu (Ev)

Kabaköy Formasyonu, Vakfıkebir-Beşikdüzü ilçelerinin güney kısmı ile Yomra ve Araklı ilçelerinin belirli kısımlarında yüzeylenmektedir. Katman genel olarak kumlu kireçtaşı-kumtaşı ayrıca marn ara katları bulunduran gri renkteki andezitlerin lav ve piroklastlarından, yeşilimsi gri renk gösteren andezitlerin lav ve piroklastlarından, yeşilimsi gri renk gösteren, çok miktarda ojit ve hornblend bulunduran bazaltların lav ve piroklastlarından meydana gelir. Formasyon Üst Kretase döneminde meydana gelen bazı litolojik katmanların yüzeyine aşınma uyumsuzluğu şeklinde yerleşmiştir. Formasyonun kalınlığı 800 m olup, ayrıca yaşı ise Alt-Orta Eosen şeklinde belirlenmiştir.



Şekil 18. Bazaltların inceleme alanındaki görünümü

3.2.2.1.2. Beşirli Formasyonu (PLB)

Beşirli Formasyonu Güven (1993) aracılığıyla adlandırılmıştır. Formasyon Trabzon ili, Ortahisar ilçesinde yer alan Boztepe Mahallesi, batı kısmında ise Akçaabat ilçesi, Beşirli ve Akyazı civarında, Sera ve Kalanima Deresi, Beşikdüzü-Vakıkebir ilçeleri, doğuda ise Araklı ile Yomra ilçelerinde yüzeylenmektedir. Formasyon kötü tabakalı bir yapıya sahip olup katı olmayan çimentolu, polijenik fakat homojen olmayan özelliğe sahip breş ile konglomeradan meydana gelmektedir. Bünyesinde bazı bölgelerde ince taneli şekilde oluşan kumtaşları ile kötü katmanlı, ayrıca kalın kumlu yapıdaki kireçtaşları ve bazaltik özellikli aglomeralardan gözlenir.

İnceleme alanı içerisinde yüzeyleme veren volkanik breşler, taze kırıklı yüzeyleri gri renkli olup, bol kırıklı ve çatlaklı yapıdadırlar. Volkanik breş çakıllarının çapları 7 cm ile 30 cm arasında değişmektedir. Volkanik breş birirminde muhtemel tektonik deformasyona bağlı çatlaklar gözlenmektedir (Şekil 19). İnceleme alanı gözlenen aglomeralar ise çoğunlukla kahverengimsi ve grimsi renklerde gözlenirler. Aglomera çakılları çoğunlukla

bazaltlardan oluşup, bunlar genellikle (30-2 mm) ve blok boyutunda (>30 mm) olup yuvarlağımsı şekillidirler (Şekil 20).

Formasyonun kalınlığı 250 m, yaşı ise Miyosen yaşı formasyonlar yüzeyine uyumsuzlukla yerleşmesi sebebiyle nispi olarak Pliyosen olarak belirlenmiştir.



Şekil 19. Volkanik breşlerin inceleme alanındaki görünümü



Şekil 20. Elemanları çakıl ve blok boyutunda olan aglomeraların inceleme alanındaki görünümü

3.2.2.1.3. Konglomera (PIC)

Konglomera, gevşek malzemeli bir yapıya sahip olup volkanik malzemeden oluşmaktadır. Birimde taban kısmından tavan kısmı yönünde gidildikçe çakılların çap boyutları 3.5 cm'den 30 cm'ye varacak şekilde artmaktadır. Mikroskobik olarak yapılan çalışmalarda ise, çakılların; bazalt ve feldispatoid içeren dolerit, mikroteralit veya mikroeseksit, feldispatoid bol bulunan foidolitten ve bunlardan farklı birimlerdeki kayalardan meydana geldiği tespit edilmiştir. Formasyonun yaklaşık kalınlığı 150 m olup, yaşı ise Pliyosen şeklinde belirlenmiştir.

3.2.2.2. Kuvaterner

3.2.2.2.1. Alüvyon (Aly)

Bu birim bölgenin iç kesimlerinden başlayan ve Karadeniz'e dökülmekte olan akarsuların denizlere uzak olmayan kısımlarında (mansap bölgesi), düz olan kısımlarda çökelti oluşturan; kum, çakıl ve mil istiflerinden oluşmuştur ve kötü bir şekilde boylanmalı yapıda olup aktüel olarak gözlenmektedir.



Şekil 21. Alüvyonların inceleme alanındaki görünümü

3.2.2.2.2. Kaymaklı Formasyonu (My)

Bu birim en güzel kesitini Trabzon ili Kaymaklı Mahallesinde vermiş olup, ayrıca Kalkınma Mahallesi bölgesinde de yüzeilenmektedir. Birim genel olarak sarımsı gri renkte, bazı zamanlarda ise koyu gri renkli şekilde izlenmekte olup Ponsiyen yaşlı olarak saptanmıştır ve kumlu-killi silttaşı şeklinde isimlendirilmiştir. Birimin yapısal özelliği çok gevşek çimentolu olması ve elle kolaylıkla ufalanabilir olmasıdır.

Eosen yaşlı Kabaköy formasyonu üzerine açısız uyumsuzlukla oturmakta olan birime Özsaray (1971) tarafından içerisinde bulunan makroskopik molusk faunası nedeniyle Ponsiyen (Üst Miyosen) şeklinde yaşlandırılmıştır.

3.2.2.2.3. Kırmızı Killer (Kk)

Trabzon civarında yüzeilenmekte olan ve genellikle; Boztepe, Pelitli, Bostancı, Soğuksu, Yalınca beldelerinde gözlenen, kalınlıkları ise 1-5 m arasında farklılaşan kırmızı renkte oluşmuş killerdir. Bu birim alt kısımda yer alan volkanik kayacın ayrışmasından türemiştir. Ayrıca bu birim illit grubu kil mineralleri içermekte olup alt kısmındaki temel kayac ile katmanın yavaş yavaş olan geçişi gözlenebilmektedir. Yaşları tam şekliyle net olmamakla birlikte, Pliyo-Kuvaterner olarak düşünülmektedir. İnceleme alanında gözlenen kırmızı killer genellikle alttan üste doğru bordo, kırmızı-turuncu tonlarında değişen renklere sahiptirler (Şekil 22). Üzerlerinde yer yer 2-3 m kalınlığında değişen toprak örtüsü bulunmaktadır (Şekil 23).



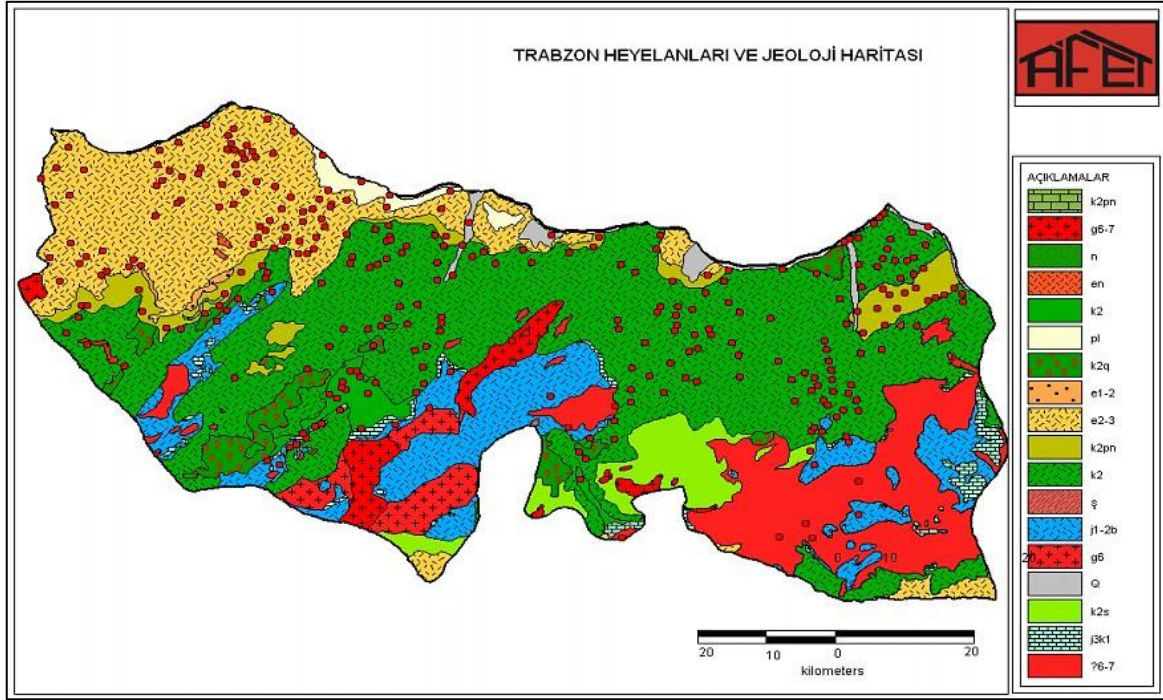
Şekil 22. Kırmızı killerin inceleme alanındaki görünümü



Şekil 23. İnceleme alanında gözlenen kırmızı killer üzerinde yer yer kalınlığı değişen organik bileşen içeren toprak örtüsü

3.3. Heyelan - Jeoloji İlişkisi

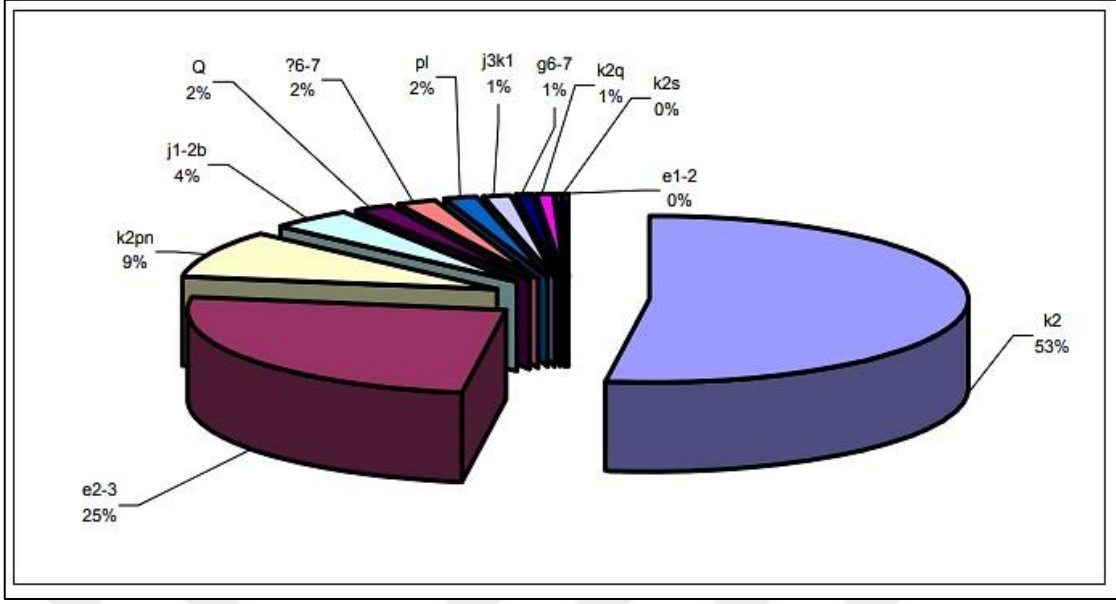
Trabzon ili geneline bakıldığında yerleşim alanları üzerinde meydana gelen heyelan olayları, 1:500.000 ölçekli sayısal jeoloji haritası üzerine işlendiğinde, meydana gelen heyelan olaylarının %78 oranında Üst Kretase ve Orta-Üst Eosen yaşlı olan volkano-tortul seriler içerisinde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 24).



Şekil 24. Trabzon ili genelinde meydana gelen heyelanların jeoloji ile olan ilişkisini gösteren harita (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2001)

Şekil 25 incelendiğinde k2pn: Üst Kretase-Paleosen neritik kireçtaşı, g6-7: Paleosen yaşlı plütonik kayalar, n: Ayrılmamış volkanitler, en: Eosen yaşlı ayrılmamış volkanitler, k2: Üst Kretase yaşlı kırıntılılar ve karbonatlar, pl: Pliyosen yaşlı ayrılmamış karasal kırıntılılar, k2q: Üst Kretase yaşlı dasit, riolit, riyodasit, e1-2: Alt-Orta Eosen yaşlı kırıntılılar (yer yer karasal), e2-3: Orta-Üst Eosen yaşlı volkano-sedimanter birimler, k2pn: Üst Kretase-Paleosen yaşlı kırıntılılar ve karbonatlar, k2: Üst Kretase yaşlı volkano-sedimanter birimler, ş: Paleozoyik yaşlı ayrılmamış şist, mermer, kuvarsit, j1-2b: Alt-Orta Jura yaşlı volkanitler ve sedimanter birimler, g6: Paleosen-Eosen yaşlı diyorit, kuvars diyorit, tonalit, Q: Kuvaterner-ayrılmamış kuvaterner, k2s: Senoniyen yaşlı kırıntılılar ve karbonatlar, j3k1: Üst Jura-Alt kretase yaşlı neritik kireçtaşı, ?6-7: Paleosen-Eosen yaşlı granitoid (bazen Üst Kretase dahil) birimlerini ifade etmektedir.

Jeolojik birimler içerisinde oluşan heyelanların dağılım yüzdelerini gösteren şekil ise aşağıda verilmiştir.



Şekil 25. Trabzon ili genelinde meydana gelen heyelanların jeoloji ile olan ilişkisinin yüzde olarak dağılımı

Yapılan incelemelere göre; Üst Kretase ve Eosen yaşlı olan volkanosedimanter birimlerde oluşan heyelanlar; genellikle bu birimlerin ayrışması neticesinde meydana gelen ve kalınlığı farklı olan rezidüel zon içerisinde meydana gelmiştir. Paleosen yaşlı olan plütonik kayalarda oluşan heyelanların ise granitlerin ayrışmaya uğraması sonucunda granit arenasına dönüştüğü saptanmış ve kalınlığı değişken olan birim içerisinde meydana geldiği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra vadi yamaçlarında meydana gelen heyelanların da yamaç molozu içerisinde derelerin aşınması, bitki örtüsü ve topoğrafik eğim gibi etkiler sonucunda meydana geldiği saptanmıştır. Trabzon ili genelinde oluşan heyelanların birkaç yerleşim yeri haricinde (Maçka Çatak, Sera gölü, Of Bölümlü ve Çaykara Ulucami heyelanları) genellikle kayma dairesinin fazla derin olmadığı, sık olup, yüzeysel kayma ve akmlar biçiminde olduğu belirlenmiştir. Yapılan bu belirleme, inceleme alanında gözlenen heyelanların genellikle ayrışmış olan rezidüel volkanosedimanter malzemede geliştiği verisini desteklemektedir.

3.4. Yapısal Jeoloji

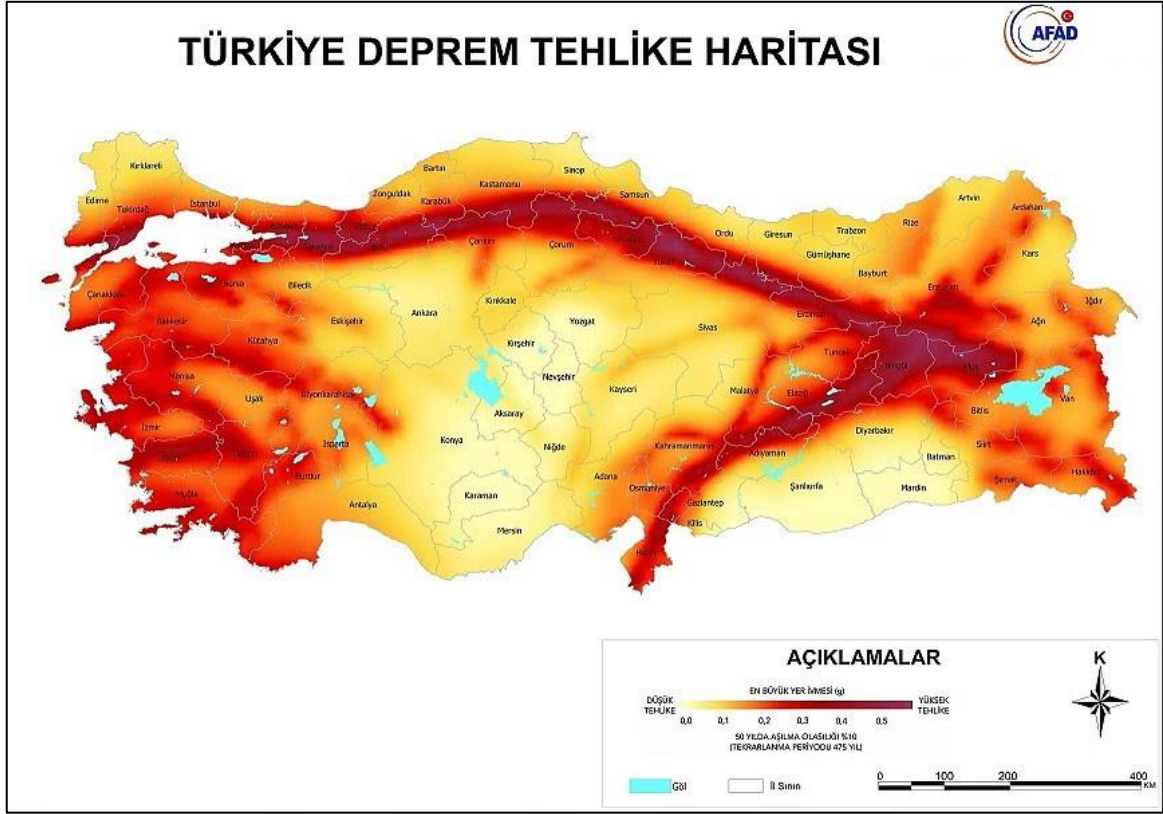
Doğu Pontidler, Türkiye'nin jeolojik ve tektonik birlikteliklerinden biri olup, yapısal ve litolojik özellikler göz önüne alındığında Kuzey ve Güney Zon olarak tanımlanan iki ayrı bölgeye ayrılmıştır (Ketin 1966; Gedikoğlu vd., 1979; Bektaş vd., 1999). Kuzey Zon

Üst Kretase ve Orta Miyosen volkanik ve piroklastik kayaçlarla karakteristik olarak ifade edilirken, Güney Zon ise Üst Kretase öncesi tortul birimler ile karakteristiktir. Trabzon ili, Ortahisar ilçesini kapsayan çalışma alanı ise Doğu Pontid'lerin Kuzey Zonu içerisinde yer almakta olup bu bölgede yüzeyleyen kayaçlar magmatik aktivitenin yoğun olmasından dolayı oldukça kırıklı yapıya sahiptir.

3.5. Çalışma Alanı ve Çevresinin Depremselliği

Ülkemiz Alp-Himalaya deprem kuşağında yer almakta olup, ülkemizde meydana gelen depremler, Atlantik Okyanus ortası sırtının iki tarafa doğru yayılmasına bağlı olarak Afrika-Arabistan levhalarının kuzeydoğuya doğru hareket etmeleriyle ilişkilidir.

Alp-Himalaya kuşağında yer alan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAF) bu kuşağın en aktif bölümlerinden biridir. Kuzey Anadolu Fay Zonu D-B doğrultulu ve buna dik bazı kırık sistemlerine sahip olup, doğrultu atımlı sağ yönlü bir faydır ve yer yer 500-1000 m genişliğe sahiptir. KAF sisteminin yüksek sismik aktivite göstermesinin en önemli sebebi, Anadolu Bloğu'nun, güneyde Arap Plakası (yılda 2.5 cm'yi bulan hızlı sıkıştırma hareketi ile) ve kuzeyde (neredeyse hiç hareket etmeyen) Avrasya Plakası'nın arasında kalması ve bu sebeple batıya doğru açılma şeklinde hızla hareket etmesidir. Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 2019 yılında tamamen aktif fay zonlarının (Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Zonları) konumlarına göre hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası Şekil 26'da gösterilmiştir.



Şekil 26. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2019)

3.6. Heyelanların Alansal Dağılım Karakteristiklerinin Belirlenmesi

3.6.1. Giriş

Günümüzde geniş alanlarda meydana gelebilecek heyelanların oluşturduğu riskin değerlendirilmesi, heyelan tehlikesinin belirlenmesini ve bu nedenle heyelanların büyüklük olasılığının tahminini gerekli kılar. Heyelan büyüklüğünü tahmin etmek amacıyla kullanılan istatistiksel modeller, oluşan enerjiye alternatif oluşturacak şekilde, heyelan büyüklüğünün ölçüleri olarak belirlenen heyelanların karakterize olmasını sağlayan belirli değişkenlerin gösterdiği olasılık yoğunluğunun tahmin edilmesini amaçlamaktadır. Bir alanda gözlenen toprak kaymasının boyutu ve özellikle heyelan alanı büyüklüğü gibi etkenler genel olarak heyelan büyüklüğünün bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Heyelan alanının objektif bir şekilde ölçülebilmesinden dolayı, heyelan alanı heyelan hacmine göre tercih edilir. Ayrıca heyelan alanı, bir ölçüde belirli bir aralıktaki etmenlere ait veya belirli bir eşiğin üzerinde ifade edilen değerlere ait olasılık dağılımları, güç yasası modelleri tercih edilerek tanımlanabilir. Bu tanımlama literatürde iki heyelan alan dağılım

modeli olarak, çift pareto dağılımı (Stark ve Hovius, 2001) ve ters gama dağılımı (Malamud vd., 2004) olarak önerilmiştir. Önerilen iki model de ters güç yasası sayesinde heyelanlarda oluşan boyut dağılımının doğru miktarını (yani orta ve en büyük heyelanları) tanımlayabilir. Ayrıca her iki modelde heyelan alanı giderek azaldıkça oluşumun giderek arttığı gerçeğini (tetiklenen olaylar için) yeniden belirtir. Heyelan alanında özellikle maksimum olasılığa ulaşmış ardından bir devrilmenin (yani modal veya en sık gözlenen heyelan boyut değeri) meydana geldiği birkaç yüz m²'yi kaplayan bir heyelan alanı ve bu alan giderek daha küçük olmaya devam ettikçe, heyelan meydana gelme olasılığı giderek azalır. Bu ifade gözlemlenen veriler aracılığı ile gösterilmiştir ve literatürde de açıklanmıştır (Malamud vd., 2004). Buna rağmen, ifade edilen her iki dağılımın tüm parametrelerini tahmin etmek ve bu parametreleri karşılaştırmak için ortak bir yazılım bulunmamaktadır. Bu çalışmada, ifade edilen her iki dağılım parametresini tahmin etmek amacıyla Rossi ve Malamud (2014) tarafından geliştirilen bir yazılım kullanılmıştır. Bu yazılımın iki yönlü arayüzleri mevcuttur. Birincisi bir R (istatistiksel hesaplama ve ayrıca grafikler için ücretsiz bir yazılım ortamı sunar (URL-5, 2014)) arayüzü, ikincisi ise bir web işleme hizmeti açık jeo-uzamsal konsorsiyum (OGC) tarafından ifade edildiği şekliyle standart web işleme hizmeti (WPS) arayüzüdür. Bu çalışmada R ortamında çalışan arayüz tercih edilmiş, inceleme alanına ait heyelan verisi için boyut dağılımını (büyüklüğün bir göstergesini) tahmin etmek amacıyla kullanılmıştır.

3.6.2. İstatistiksel Yaklaşımlar

Heyelanların alansal dağılım karakteristiklerini belirlemek için kullanılan yazılım, üç boyutlu dağılım modeli uygular. Bu modeller çift pareto, çift pareto basitleştirilmiş ve ters gama olarak ifade edilir. Bu modeller aşağıdaki eşitliklerle ifade edilmiştir.

DPS - Çift Pareto Basitleştirilmiş:

$$pdf(x|\alpha, \beta, t, c, m) = \frac{\beta\beta}{\left[\frac{1 + \left(\frac{m}{1 + \frac{t}{\alpha}} \right)^{-\alpha}}{\frac{t}{\alpha}} \right]^{\beta\beta} - 1} \left[\frac{\left(1 + \left(\frac{m}{1 + \frac{t}{\alpha}} \right)^{-\alpha} \right)^{\frac{\beta\beta}{\alpha}}}{\left(1 + \left(\frac{xx}{\alpha} \right)^{-\alpha} \right)^{\frac{\beta\beta}{\alpha}}} \left(\frac{xx}{t} \right)^{(-\alpha-1)} \right] \quad (4)$$

DP - Çift Pareto:

$$pdf(x|\alpha, \beta, t) = \frac{\beta^\beta (1 + \frac{x}{t})^{-\beta-1}}{\Gamma(\beta) t^\beta} \quad (5)$$

IG - Ters Gama:

$$pdf(x|\alpha, \eta, \lambda) = \frac{\lambda^\alpha \Gamma(\alpha)}{\Gamma(\alpha)^2} \frac{1}{(1 + \frac{x}{\lambda})^{\alpha+1}} \exp\left[-\frac{\lambda}{1 + \frac{x}{\lambda}}\right] \quad (6)$$

α parametresi, yüksek değerler açısından dağılımın eğimini kontrol eden parametreyi,

β ve η düşük değerler bakımından eğimi,

t ve λ ise dağılım fonksiyonlarının maksimum pozisyonunu (rollover, r) kontrol eden etkeni,

c , m : cc (minimum boyut değeri) ile mm (maksimum boyut değeri) arasında belirli bir heyelan boyutu aralığındaki olasılık dağılım fonksiyonu (pdf) tahminini sınırlayan DP için (DPS' ye karşı) iki ek parametreyi gösterir.

3.6.3. Heyelanların Alansal Dağılım Karakteristiklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Yazılım

Heyelanların alansal dağılım karakteristiklerinin belirlenmesi tehlike ve risk değerlendirmelerine girdi olarak katılması açısından oldukça önemlidir. Heyelan istatistiklerinin oluşturulması için LStats yazılımı, R'de oluşturulmuş ve tahmini hesaplamak amacıyla parametrik ve parametrik olmayacak şekilde yaklaşımlar uygular. Üretilen üç olasılık yoğunluk fonksiyonunun parametreleri:

- Histogram Yoğunluk Tahmini
- Kernel Yoğunluk Tahmini
- Maksimum Olabilirlik Tahmini

Yazılım, temel sürümünde her bir parametre için (Tablo 5) şunları verir:

- Değerinin bir tahmini
- Standart hata
- Tahmini hata varyansı
- Parametreler arasındaki korelasyonlar

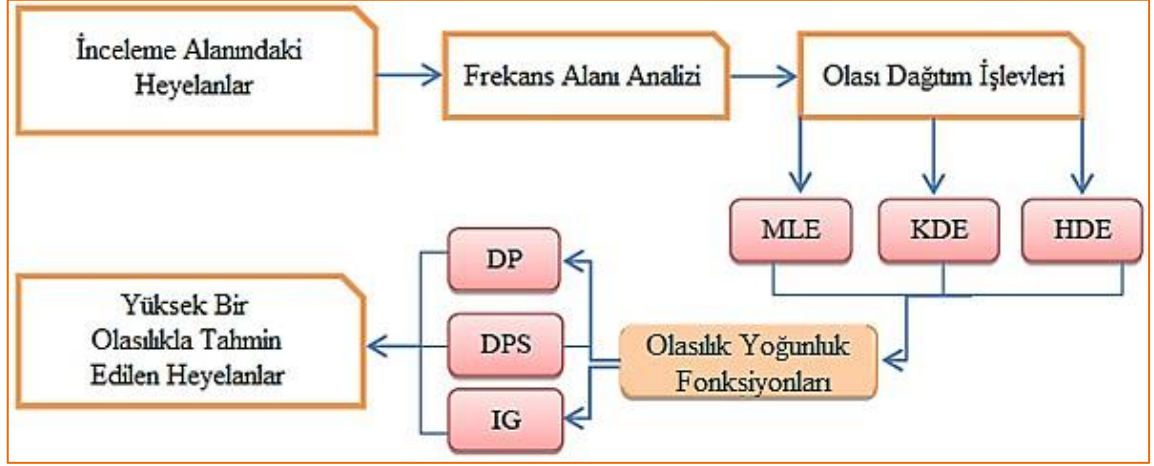
Sonuncu ifade özellikle çalışmada bir çözüm üretmenin zor olduğu şartlarda yararlı olabilir. Bu ifade parametreler arasında meydana gelen çok yüksek korelasyonlar için kötü koşullandırmanın bir göstergesidir. Yazılım, heyelan envanter karşılaştırması amacıyla oldukça yararlı bir veri olan tam devrilme konumunu (rollover, r) tahmin eder.

Tablo 5. Üç boyutlu dağılım modeli ve üç farklı tahmin yöntemi için LStats yazılımı tarafından tahmin edilen parametre örneği

		HISTOGRAM DENSITY ESTIMATION				KERNEL DENSITY ESTIMATION				MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION			
		Estimate	Std. Err.	t value	Pr(> t)	Estimate	Std. Err.	t value	Pr(> t)	Estimate	Std. Err.	t value	Pr(> t)
DPS	α	0.96	0.1	11.35	0.000	0.96	0.1	11.35	0.000	0.96	0.1	11.35	0.000
	β	5.00	2.9	1.71	0.110	5.00	2.9	1.71	0.110	5.00	2.9	1.71	0.110
	t	206	203	1.02	0.327	206	203	1.02	0.327	206	203	1.02	0.327
	r	433	-	-	-	433	-	-	-	433	-	-	-
DP	α	0.96	0.1	11.41	0.000	0.96	0.1	11.41	0.000	0.96	0.1	11.41	0.000
	β	5.00	2.9	1.71	0.109	5.00	2.9	1.71	0.109	5.00	2.9	1.71	0.109
	t	207	203	1.02	0.324	207	203	1.02	0.324	207	203	1.02	0.324
	c	88	-	-	-	88	-	-	-	88	-	-	-
IG	m	328375	-	-	-	328375	-	-	-	328375	-	-	-
	r	434	-	-	-	434	-	-	-	434	-	-	-
	α	0.92	0.09	9.78	0.000	0.92	0.09	9.78	0.000	0.92	0.09	9.78	0.000
	η	9.22	2.71	3.41	0.004	9.22	2.71	3.41	0.004	9.22	2.71	3.41	0.004
	λ	31.73	3.89	8.17	0.000	31.73	3.89	8.17	0.000	31.73	3.89	8.17	0.000
	r	438	-	-	-	438	-	-	-	438	-	-	-

LStats yazılımının gelişmiş sürümü ise aşağıdaki ek özellikleri birbiri ile birleştirir:

- Üretilen olasılık dağılımı parametrelerinin daha anlamlı olacak bir istatistiksel karşılaştırması amacıyla ön yüklenmiş parametre belirsizlik tahmini,
- Birbirinden farklı dağıtım türlerinin uygunluğunun bir ölçüsünü belirten bir "uyum iyiliği" testi olarak kullanmak için önyüklemeli Kolmogorov-Smirnov testi (KS testi),
- Kümülatif yoğunluk fonksiyonu hesaplamasının daha geliştirilmiş bir versiyonu,
- Otomatik bir heyelan boyutu hesaplamasına imkân veren gelişmiş bir şekil dosyası kullanımı ve
- Olasılık yoğunluğunun hesaplanmasına imkân veren daha geliştirilmiş bir çıktı versiyonu.



Şekil 27. İnceleme alanındaki büyük heyelan olasılığını tahmin etmek için akış diyagramı

3.6.4. Yazılımın Kullanım Yöntemi

Trabzon ili, Ortahisar ilçesi sınırları içinde gözlenen heyelanların alansal olabilirlik karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla heyelanların alansal geometri istatistiklerinin belirlenmesi gerektiğinden, R istatistiksel yazılım ortamında (URL-5, 2014) çalışan LStats yazılımı (Rossi ve Malamud, 2014) kullanılmıştır. Bu yazılımda arabirim, temel olarak klasik R (URL-5, 2014) komut dosyası arabirimine karşılık gelmektedir ve iki farklı dosyadan oluşmaktadır: LANDSTAT_vX_YYYYMMDD.R (burada X, yazılım versiyonunda YYYYMMDD ise yayın tarihidir) ve configuration.txt.

R dosyası, bir metin düzenleyici aracılığıyla düzenlenebilen ve yazılım komutlarını barındıran bir metin dosyasıdır. Fakat .txt dosyası, yalnızca yakınsama sorunuyla karşılaşıldığı durumlarda çalışmada belirtilmesi gereken farklı yazılım parametrelerini içermektedir. Çalışmada LANDSTAT_vX_YYYYMMDD.R", "configuration.txt" ve giriş (bir .txt veya .shp) dosyalarını içeren klasörün hazırlanmasının ardından, kullanılan yürütme parametreleri belirtilmiştir.

Temel yazılım parametreleri "LANDSTAT_vX_YYYYMMDD.R" dosyasında yer alırken, bazı ek yakınsama parametreleri ise "configuration.txt" dosyası içerisinde yer almaktadır. Temel parametreler doğrudan yazılım yürütmelerini kontrol ederken, ek parametreler belirli kullanıcı istekleri üzerine kullanılır. Tüm bunlar, birbirinden farklı olasılık yoğunluğu tahmin yöntemleri (HDE, KDE, MLE) için yakınsama prosedürleri esnasında farklı dağılımların (DP, DPS, IG) parametrelerinin belirli aralıklar içerisindeki varyasyonunu kontrol eder. "Configuration.txt" dosyasındaki ek parametreler içerisindeki

iki parametre (RANGE_PLOT_X ve RANGE_PLOT_Y), yoğunluk grafiklerinin aralıklarını kontrol eder. Çalışmada yazılımda kullanılacak farklı parametre değerlerini belirtmek amacıyla hem "LANDSTAT_vX_YYYYMMDD.R" hem de "configuration.txt" dosyaları, R grafiksel kullanıcı arayüzü (GUI) veya entegre geliştirme ortamında (IDE) bulunan metin düzenleyicisi kullanılarak düzenlenmiştir.

Çalışmada parametreler belirlendikten sonra, R kodu (yani komut dosyası), R GUI veya IDE ortamındaki uygun komut kullanılarak çalıştırılmıştır ve bu aşağıdaki işlemlere karşılık gelir:

- Klasik RGui IDE kullanılırken "Düzenle" menüsünde "Çalıştır" veya "Çalıştırma satırı seçimi",
- RStudio IDE kullanılırken ise "Kod" menüsünde "Kaynak" veya "Yankılı kaynak".

Bu işlemler sonucunda, çift pareto, çift pareto basitleştirilmiş ve ters gama dağılımına ait katsayı ve bunlara ait olasılık yoğunluk grafikleri oluşmuştur. Ayrıca yazılım aracı toplu arayüzüne ait bir R komut dosyasına dayanan ekran görüntüsü Şekil 28'de gösterilmiştir.

```
rm(list=ls())
graphics.off()
#setwd("X:/R/ML_E_LandslideArea/TEST_KCL_20140211")
setwd("/media/disco_dati/R/ML_E_LandslideArea/TEST_KCL_20140211")

configuration<-read.table("configuration.txt",header = FALSE,skip=1,dec=".", sep="\t",as.is=TRUE)
summary(configuration)
str(configuration)
names(configuration)

data.series<-read.table("data.txt",header = TRUE,dec=".", sep="\t",as.is=TRUE)
summary(data.series)
str(data.series)
names(data.series)
range(data.series,na.rm=TRUE)

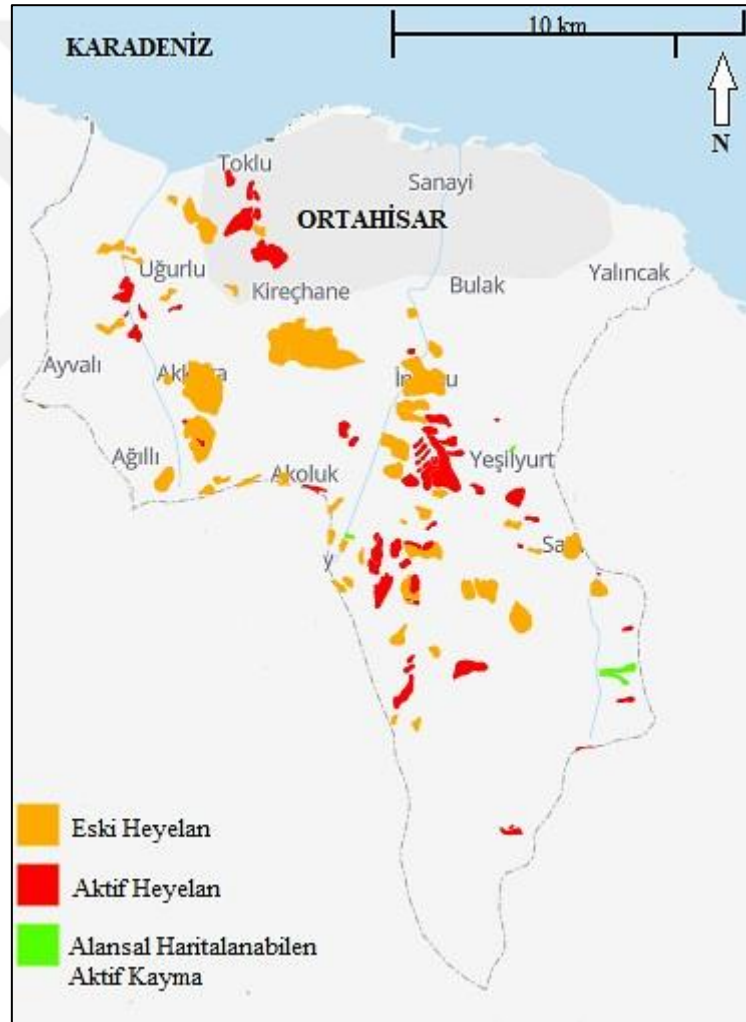
dir.create(paste(getwd(),"/Results",sep=""))
setwd(paste(getwd(),"/Results",sep=""))

#### Box Plot
centers<-1:dim(data.series)[2]
color.series<-heat.colors(dim(data.series)[2], alpha = 1)
if (Sys.info()[1] == "Linux") {x11()}
if (Sys.info()[1] == "Windows") {windows()}
if (Sys.info()[1] == "Darwin") {quartz()}
par(cex.axis=0.5)
for (center.count in 1:dim(data.series)[2])
{
  if (center.count == 1)
  {
    boxplot(data.series[,center.count],main=paste("Box Plot comparison",sep=""),plot=TRUE,at=centers[center.count],log="y",xlim=c(0,dim(data.series)[2]+1),ylim=range(data.series,na.rm=TRUE),width=10,border="black",col=color.series[center.count])
  } else
  {
    boxplot(data.series[,center.count],add=TRUE, plot=TRUE,at=centers[center.count],border="black",col=color.series[center.count],width=10)
  }
}
```

Şekil 28. Heyelan İstatistikleri (LStats) yazılım aracı toplu arayüzünün bir R komut dosyasına dayalı ekran görüntüsü

3.6.5. İnceleme Alanında Yapılan Çalışmalar

Trabzon ili, Ortahisar ilçesi sınırları içinde gözlenen heyelanların alansal dağılım karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla heyelan heyelanların alansal konumlarının bilinmesi ve belirlenmesi gerekmektedir. İnceleme alanında gözlenen heyelanlar; eski heyelanlar, aktif heyelanlar ve alansal haritalanabilen aktif kaymalar olmak üzere toplam 117 adet olup, heyelan verisi MTA Genel Müdürlüğü tarafından üretilen Türkiye Ulusal Heyelan Envanteri Haritası (Duman vd., 2011) üzerinden yeniden sayıllaştırılarak elde edilmiştir (Şekil 29).

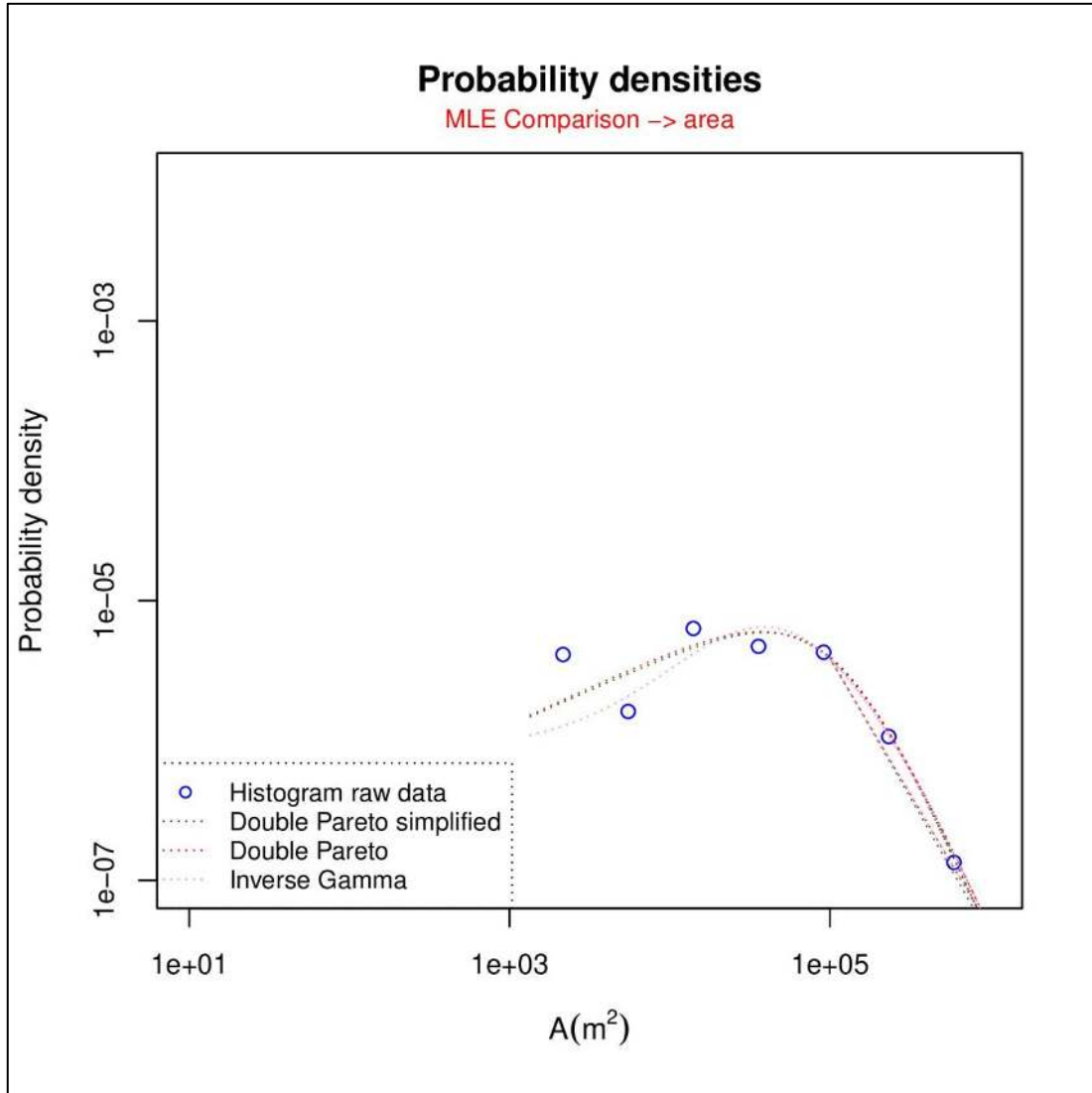


Şekil 29. İnceleme alanında gözlenen heyelanlar (Duman vd., 2011)



Şekil 30. İnceleme alanında tespit edilen bir heyelan alanı

İnceleme alanında gözlenen 117 adet heyelan verisi kullanılarak alansal dağılım istatistikleri, LStat yazılımı aracılığıyla üretilen üç olasılık yoğunluk fonksiyonunun parametreleri olan histogram yoğunluk tahmini, kernel yoğunluk tahmini ve maksimum olabilirlik tahmini yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Çalışmada ise heyelanların alansal istatistiklerinin değerlendirilmesi için maksimum olabilirlik tahmini yöntemi tercih edilmiştir. Her bir parametreye ait, değerinin bir tahmini, standart hata, tahmini hata varyansı, ve parametreler arasındaki korelasyonlar belirlenerek çift pareto, çift pareto basitleştirilmiş ve ters gama dağılımına ait katsayı ve bunlara ait olasılık yoğunluk grafikleri oluşturulmuş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 31).



Şekil 31. Meydana gelen heyelan olasılık yoğunluğunun maksimum olabilirlik tahmininin karşılaştırılması

Üretilen heyelan olasılık yoğunluğunun maksimum olabilirlik grafiği incelendiğinde; DP, DPS ve IG eğrilerinin pik noktasının heyelanların alansal büyüklük olarak en fazla görüldüğü değeri ifade etmektedir. Ayrıca grafik incelendiğinde DP ve DPS yöntemlerinin IG yöntemine göre birbirine çok benzer sonuçlar verdiği görülmekle birlikte en tutarlı sonucun DP modeliyle elde edildiği görülmüştür.

Tablo 6. İnceleme alanında gözlenen heyelanların meydana gelme olasılığının MLE yöntemi kullanılarak karşılaştırılması

MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION (MLE)					
		Estimate	Std. Err.	t_value	Pr(> t)
DPS	α	1.617	0.141	11.438	2.696
	β	1.512	0.153	9.873	5.435
	t	107856.655	1.241	86901	0
	r (m ²)	39340	-	-	-
DP	α	1.525	0.146	10.386	2.858
	β	1.528	0.163	9.364	7.676
	t	102432.717	1.356	75490	0
	c (m ²)	1350	-	-	-
	m (m ²)	2423843	-	-	-
	r (m ²)	36730	-	-	-
IG	α	1.609	0.283	5.677	1.368
	η	144.990	25.585	5.666	1.454
	λ	394.008	57.114	6.898	5.253
	r (m ²)	38480	-	-	-

Çalışma sonucunda heyelan istatistikleri yazılımı aracılığıyla üretilen, inceleme alanında gözlenen heyelanların meydana gelme olasılıklarının MLE yöntemine göre karşılaştırılması verileri incelendiğinde şu sonuçlar elde edilmiştir.

- Heyelan boyutlu dağılım modellerinden DP, DPS ve IG modellerinde: α parametresi yüksek değerler açısından dağılımın eğimini kontrol eden parametre olup, bu parametre değerinin bir tahmini, standart hata, tahmini hata varyansı ve parametreler arasındaki korelasyonlar açısından DP ve DPS benzer sonuçlar gösterirken IG modelindeki sonuçlar farklıdır. Burada IG modelindeki değer diğer modellerle benzer olmasına karşılık standart hata daha yüksek olup, buna bağlı olarak tahmini hata varyansı daha düşüktür. Ayrıca parametreler arasındaki korelasyonlarda daha düşüktür.
- DP ve DPS modellerinde; β parametresi düşük değerler bakımından eğimi ve t ise dağılım pozisyonunun maksimum pozisyonu (pik noktası) yani rollover (devrilme) değerini kontrol eden etkeni ifade etmekte olup, bu parametreler benzer sonuçlar vermiştir. Burada r değeri, alanda en fazla meydana gelebilecek heyelan alan boyutunu ifade etmekte olup, 36730 m² ile karşılanmaktadır.

- DP modeli için DPS'ye karşı iki ek parametreyi gösteren c , minimum boyut değerini, m ise maksimum boyut değerini ifade eder ve alansal olarak boyut değerleri sırasıyla 1350 m^2 ve 2423843 m^2 olarak belirlenmiştir.
- IG modeli için; η , düşük değerler bakımından eğimi ifade etmekte olup, bu parametre DP ve DPS modellerindeki β parametresine denk gelmektedir. Fakat IG modelinde bu parametreye ait değer diğer modellere göre daha yüksek değer gösterdiği belirlenmiştir. Burada IG modelindeki standart hata daha yüksek olup, buna bağlı olarak tahmini hata varyansı daha düşüktür. Ayrıca parametreler arasındaki korelasyonlarda daha düşüktür.
- IG modeli için; λ , dağılım pozisyonunun maksimum pozisyonu, yani rollover değerini kontrol etmekte olup, bu parametre DP ve DPS modellerindeki t parametresine denk gelmektedir. Fakat IG modelinde bu parametreye ait değer diğer modellere göre çok daha düşük değer gösterdiği belirlenmiştir.
- DP, DPS ve IG modelleri için rollover parametresi birbirine benzer sonuçlar göstermiştir.

3.7. Heyelan Duyarlılık Değerlendirilmesi ve Yöntem

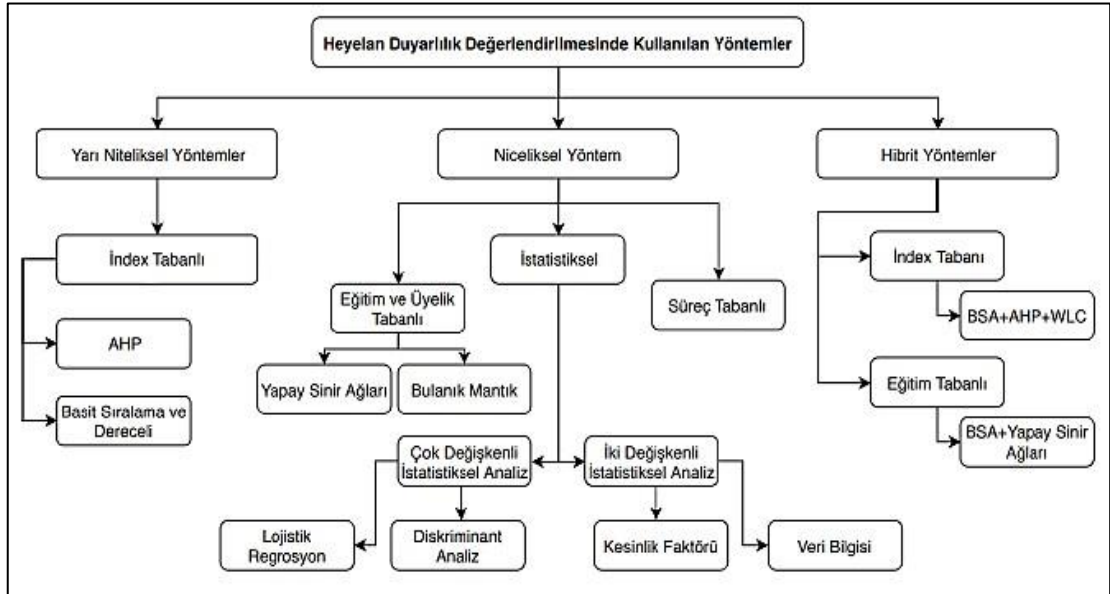
Heyelan duyarlılığı incelenen bir bölgede daha önce meydana gelmiş heyelan alanları ve bunları yöneten denetleyici parametrelerden yola çıkarak heyelan olmamış alanların konumsal olarak kestirim süreci olarak tanımlanabilir. Ayrıca aktivitesi sona ermemiş veya oluşabilme potansiyeli olan heyelanların bir ortamda oluşturdukları konumsal dağılımlarının ve bu heyelanların yapılacak sınıflamasının nicel veya nitel yöntemlere dayanarak değerlendirilmesidir. Genel bir ifadeyle bir bölge içerisinde konumlanmış alanları; çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olabilecek şekilde sınıflandırarak, bu alanların heyelan oluşturma potansiyelinin belirlenmesidir (UNISDR, 2009).

Heyelanların tehlike ve risk analizleri bakımından çok önemli bir altlık olarak yararlanılan heyelan duyarlılık haritaları özellikle ulaşım ve ulaştırma gibi önemli alanlarda yapılacak projeler, yerleşim yerlerinin planlanması, arazi kullanımının belirlenmesi ve çevresel etkinin ortaya koyulması gibi parametrelerde çok önemli veriler oluşturmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, yapılan heyelan duyarlılık değerlendirmesi için heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında tercih edilebilecek yöntemlere ait bilgilere yer verilmiştir. Bu çalışmada inceleme alanının heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde frekans oranı ve entropi endeksi yöntemleri kullanılmıştır.

3.7.1. Heyelan Duyarlılık Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler

Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında birçok yöntem bulunmakta olup, bu haritaların oluşturulmasında farklı yöntemlerin kullanıldığı bilinmektedir. Heyelan duyarlılık haritaların üretilmesinde özellikle nicel ve nitel yöntemler gibi iki önemli yaklaşım bulunmaktadır. Nicel yöntemler genellikle matematiksel ve istatistiksel tabanlı olup, nitel yöntemler ise çoğunlukla saha çalışmalarını kapsayan, sahada meydana gelen ve gelişen heyelanlarla ilgili bilgi ve deneyim elde etmeyi gerektiren yöntemleri içerir. Ayrıca nicel yöntemler özellikle heyelanları meydana getiren parametrelerin analizinin oluşturulduğu yöntemlerdir. Yapılacak olan çalışmalarda heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde ve risk haritalarının oluşturulmasında birçok yöntem uygulamak mümkündür. Bu konu ile ilgili farklı tarih ve araştırmacılar vasıtasıyla önerilen yöntemler gösterilmiştir (Şekil 32).



Şekil 32. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemler (Ayalew vd., 2005)

Heyelan duyarlılık analizlerinde niteliksel ve niceliksel yöntemlere ek olarak hibrit yöntemler de tercih edilmektedir (Ayalew vd., 2005). Bu konu hakkında yapılan çalışmalara bakıldığında, heyelan envanter haritalarının tercih edilen bu yöntemlerin uygulanmaya konulmasında temel girdi olarak uygulandıkları belirlenmiştir. Heyelan duyarlılık çalışmalarında yapılan temel yaklaşım, incelenecek olan bir bölgede meydana gelen heyelanların hangi koşullar altında oluştuğunun belirlenmesi, gelecekte de benzer koşullar altında hangi bölgelerde heyelanların oluşabileceğinin araştırılmasıdır. Bu durum genellikle heyelan oluşumunda önemli bir etken olan jeolojik, topoğrafik ve çevresel kriterlerin belirlenmesi ve elde bulunan heyelan envanteri ile bu gözlemlerin yukarıda ifade edilen yöntemler kullanılarak oluşturulması şeklindedir.

Heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmasında, parametrelerin saptanmasında ve bunun için uygulanacak yöntemlerle ilgili kesin bir fikir birliği bulunmamaktadır. Ayrıca sözü edilen yöntemlerin hangisinin kullanılacağına belirlenmesinde, uzman görüşünün yanı sıra uygulamanın sahip olduğu avantajları ve dezavantajları da dikkate alınmalıdır. Tez çalışması kapsamında, heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması amacıyla istatistiksel yöntemlerden olan frekans oranı ve entropi endeksi yöntemleri seçilmiş olup seçilen bu yöntemlerle ilgili detaylı bilgilere altta yer alan başlıklarda yer verilmiştir.

3.7.2. Frekans Oranı (FR) Yöntemi

Frekans oranı yöntemi heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında sıklıkla tercih edilen bir yöntemdir (Lee ve Dan, 2005; Lee ve Sambath, 2006; Lee ve Pradhan, 2007; Akgün vd., 2008; Yılmaz, 2009; Erener ve Düzgün, 2010). Bu yöntemin heyelan duyarlılığı için uygulanması kolay ve anlaşılır olup, yöntemin temel amacı heyelanların meydana gelmesinde oldukça etkin rol oynayan girdi parametrelerinin yoğunluklarının hesaplanmasıdır. FR yöntemi uygulanırken; yöntemin uygulanacağı çalışma alanı tespit edildikten sonra o alanda heyelanların oluşmasında son derece etkin olan parametreler seçilir, haritalanır ve sınıflandırılır. Bölgede meydana gelen heyelanlara ait heyelan envanter haritası üretilir. Bölgede bulunan mevcut heyelanlar ile oluşturulan parametre haritaları karşılaştırılarak yoğunluklar saptanır ve bu parametrelerin alt sınıflarına ait ağırlıklar belirtilir. Ağırlıkların belirlenmesi ile meydana gelen yeniden sınıflandırılmış parametre haritaları birbirleriyle toplanarak heyelan duyarlılık haritası elde edilir. Yapılan

tüm işlemler, CBS tabanlı uygulamalar aracılığıyla genel olarak piksel tabanlı, grid hücre yapısı barındıran veriler ile meydana getirilmektedir.

FR yöntemi heyelan duyarlılık analizlerinde nicel bir yöntem biçimi olarak kullanılmaktadır. Fakat bu yöntem, uygulama esnasında girdi parametrelerin sınıflandırılmasında uzman bir görüşünün etkin olması bakımından öznellik içermektedir (Leroi, 1996).

FR yönteminde uygulanacak olan girdi parametrelerine ilişkin oluşturulan alt sınıflara ait hesaplamalar yapılarak aşağıda verilen formül kullanılmaktadır.

$$FR=a/b \quad (7)$$

Eşitlikte yer alan;

FR= frekans oranını,

a= parametreye ait alt grupta yer alan heyelanlı piksel sayısının, toplam heyelanlı piksel sayısına oranını,

b= parametreye ait alt grupta dikkate alınan alandaki piksel sayısının, dikkate alınan alandaki toplam piksel sayısına oranını ifade etmektedir.

Dolayısıyla parametre alt gruplarına ait FR ne kadar büyük olursa, heyelan oluşumu ile verilen faktörün özniteliği arasındaki ilişki o kadar güçlü olur (Lee and Talib, 2005).

Oluşturulan girdi parametrelerinin her birine ait alt grupları için hesaplanan FR değerlerine ilişkin normalize edilmiş FR değeri (NFR) hesaplanarak bu değerin parametre alt gruplarına atanma işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlemden sonra, atanmış olan NFR değerleri ile yeniden sınıflandırılmış olan tüm parametrelerin aritmetik toplamaları alınıp heyelan duyarlılık haritası oluşturulması aşaması tamamlanmaktadır.

$$\sum FR = \sum FFR \quad (8)$$

Eşitlikte yer alan;

LSI= heyelan duyarlılığını (landslide susceptibility index),

$\sum FR$ = oluşturulan parametrelerin her birinin alt gruplarına ait olan NFR değerleri ile yeniden sınıflandırılarak meydana gelen parametre haritaların toplamını belirtmektedir.

3.7.2.1. Frekans Oranı Yönteminin Çalışma Alanına Uygulanması

Trabzon ili, Ortahisar ilçesine ait heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla FR oranı yöntemi uygulanmıştır. İnceleme alanı üzerinde yapılan FR oranı analizi için ilk olarak bir sayısal yükseklik modeli (SYM) elde edilmiştir. Bunun için, NASA tarafından sağlanan (URL-7, 2020) ve ücretsiz olarak elde edilebilen ALOS Palsar uydu platformu tarafından sağlanan ve 12.5 m konumsal çözünürlüğe sahip SYM verisi kullanılmıştır. Bu çalışmada yapılan tüm işlemlerde ArcGIS yazılımı kullanılmıştır. Öncelikle bu işlemlerde kullanılmak amacıyla MTA Genel Müdürlüğü'nden 1:25.000 ölçekli Ortahisar ilçesi sınırlarını içeren sayısal jeoloji haritası alınmıştır.

SYM haritası ve sayısal jeoloji haritası temininden sonra FR analizi için yapılan çalışmada toplam on üç farklı parametre üretilmiş ve kullanılmıştır. Bu parametrelerden kullanılan; yamaç eğimi (slope), yamaç eğriselliği (curvature) ve yamaç yönelimi (aspect) parametre haritaları ArcGIS yazılımı üzerinden üretilmiştir. Geriye kalan sekiz parametre olan yakınsama indeksi (convergence index), kapalı çöküntüler (closed depressions), topoğrafik nemlilik indeksi (topographic wetness index), eğim uzunluğu ve diklik faktörü (LS Factor), drenaj ağı temel seviyesi (channel network base level), drenaj ağlarına uzaklık (vertical distance to channel network), vadi derinliği (valley depth), bağıl eğim konumu (relative slope position) ise açık kaynak kodlu SAGA CBS yazılımı üzerinden üretilmiştir. Kullanılan litoloji verisinde, litolojik birimlere birbirinden farklı olacak şekilde 0'dan başlayarak giderek artan değerler atanmıştır. Bu işlemin ardından oluşan vektörel veri, elde bulunan SYM verisi ile aynı koordinat sisteminde (WGS 1984 UTM Zone 37N) ve 12.5x12.5 piksel boyutlarında olacak biçimde, verinin raster formata dönüştürülme işlemi yapılmıştır (polygon to raster).

Yapılan çalışmada tüm parametre alt gruplarının belirlenmesi amacıyla oluşturulan parametre haritalarına ait piksel dağılımlarını incelemek, ayrıca alt parametre gruplarını oluşturmak amacıyla üretilen tüm parametre haritaları her bir parametreye özgün olacak şekilde sınıflandırılmıştır (reclassify).

Parametre alt gruplarının sınıflandırılmasından sonra, heyelanlı alanlara ait tüm parametre alt gruplarının içerdiği piksel sayılarını bulmak amacıyla heyelan alanlarını içeren veri tüm parametre haritaları için extract (karşılık gelen değerlerin okunması) edilmiştir. Devamında, tüm parametrelerin birbirinden farklı her bir alt grubu için frekans

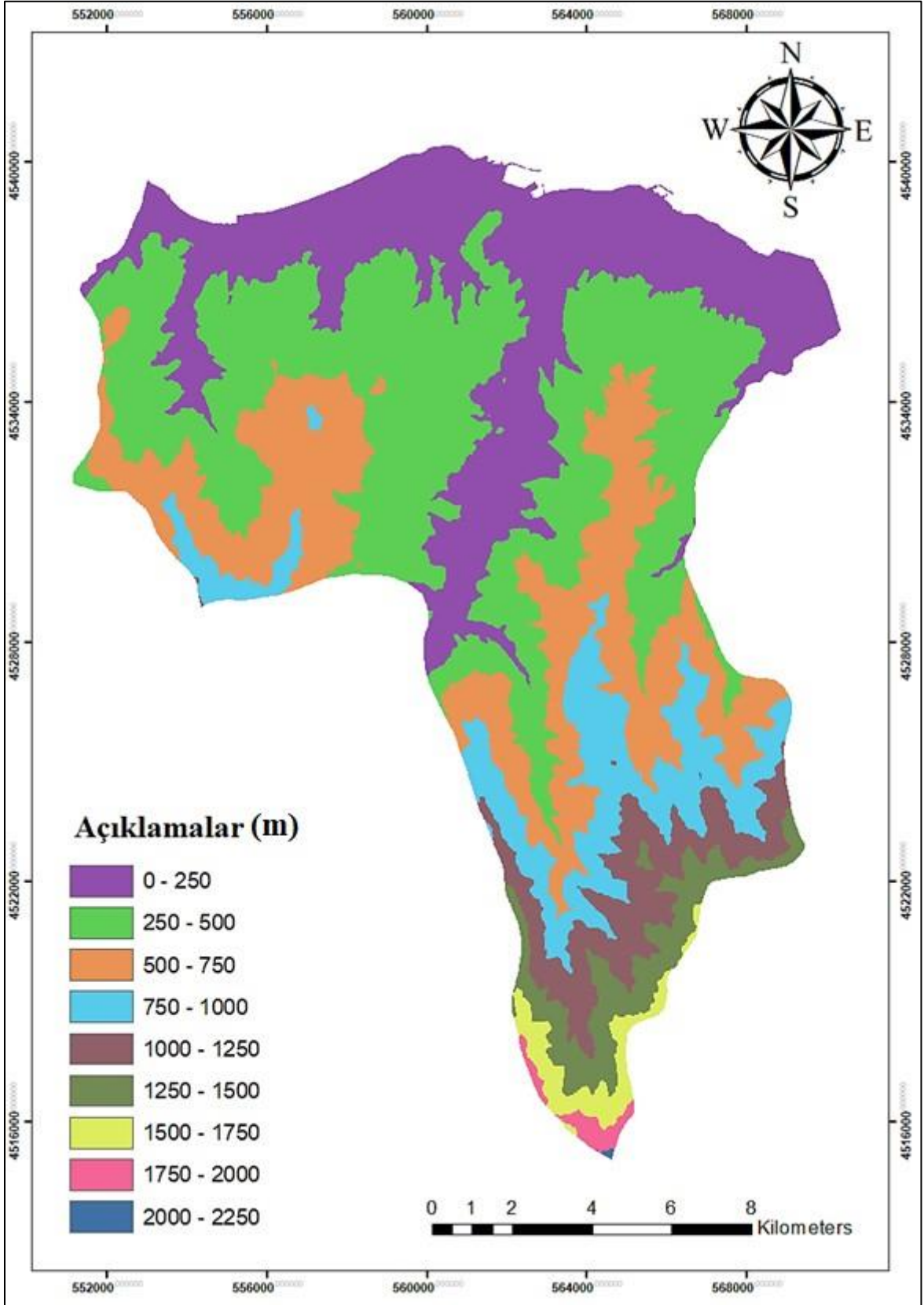
değerleri, Excel aracılığıyla formüle edilerek tespit edilmiştir. Bu işlemin ardından tüm parametre alt grupları için her bir gruba ait FR değerleri hesaplanmıştır.

FR yöntemiyle heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması amacıyla, birbirinden farklı sınıflandırılmış ve frekans değerleri hesaplanmış on üç parametre haritası, ArcGIS yazılımıyla karşılaştırılarak çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek sınıflar olacak şekilde derecelendirme yapılmıştır (Arctoolbox → Spatial Analyst → Map Algebra → Raster Calculator).

3.7.3. Parametre Haritalarının Oluşturulması ve Heyelan Duyarlılık Haritası

3.7.3.1. Topoğrafik Yükseklik

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla çalışma alanına ait oluşturulan yükseklik haritası SYM'den itibaren üretilmiş olup Şekil 33'te verilmiştir. Yapılan çalışmada inceleme alanındaki maksimum yükseklik 2060 m, minimum yükseklik ise 16 m olarak belirlenmiştir. İnceleme alanına ait SYM haritası 250 m aralıklarla dokuz farklı sınıfa ayrılmış olup heyelanlar ile yükseklik arasındaki ilişki tespit edilmiştir (Şekil 33). Oluşturulan heyelan envanterinin yükseklik dağılımı incelendiğinde, özellikle 250-500 ve 500-750 m'ler arasında kalan yükseklikler en fazla belirlenen heyelan yükseklikleri olup, en az gözlenebilecek heyelan yükseklik değerleri ise 1500 m üzeri olarak tespit edilmiştir. Yapılan bu tespiti heyelanlı bölgelerin yüksekliğine ait olan frekans dağılım oranları da doğrulamaktadır (Tablo 7).



Şekil 33. İnceleme alanının yükseklik haritası

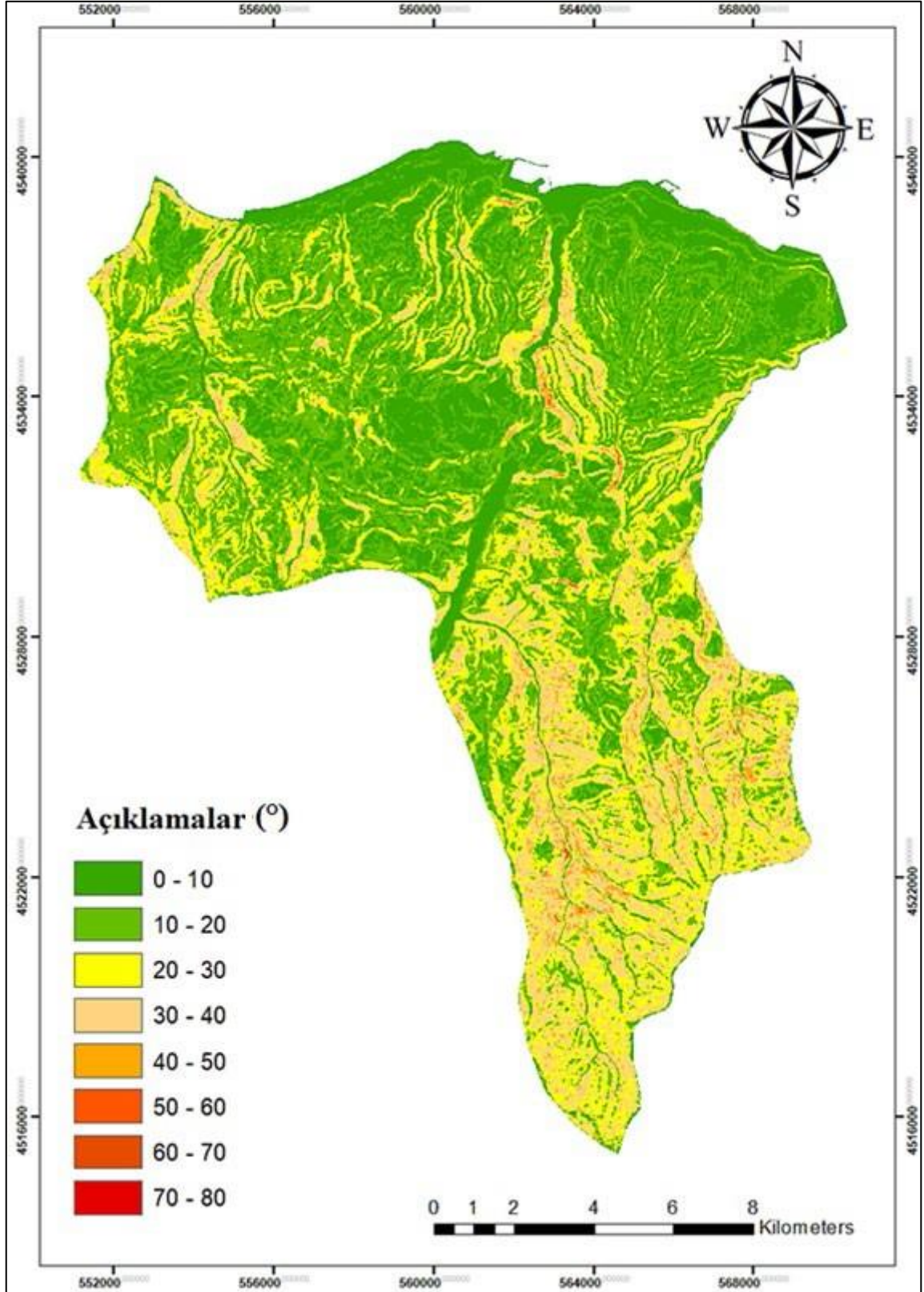
Tablo 7. Yükseklik alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri

Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
SYM (Yükseklik) (m)	0-250	368236	24.506	27324	22.160	0.074	0.196	19.658	19
	250-500	517748	34.456	53139	43.097	0.102	0.271	27.191	27
	500-750	299509	19.932	32562	26.408	0.108	0.288	28.803	28
	750-1000	138463	9.214	7441	6.034	0.053	0.142	14.237	14
	1000-1250	86161	5.734	1849	1.499	0.021	0.056	5.685	5
	1250-1500	59007	3.926	985	0.798	0.016	0.044	4.422	4
	1500-1750	25017	1.664	0	0	0	0	0	0
	1750-2000	8123	0.540	0	0	0	0	0	0
	2000-2250	347	0.023	0	0	0	0	0	0
Toplam		1502611		123300		0.377	1		

Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min)Min RF	PR
0	0.288	0.288	0.078	3.692

3.7.3.2. Yamaç Eğimi

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla kullanılan parametrelerden biri de yamaç eğimidir. Eğim açısı özellikle heyelan aktivitelerinin oluşmasında son derece önemli rol oynayan etkenlerden biridir. Çalışmada kullanılan eğim haritası, elde edilen SYM'den itibaren CBS ortamında raster veri formatında üretilmiştir. Heyelan duyarlılık analizinin yapılması amacıyla heyelanlar bakımından elverişli alanlar için yamaç eğimi 10 derece (°) aralıklarla birbirinden farklı sekiz sınıfa ayrılmış ve inceleme alanını temsil eden eğim haritası Şekil 34'te verilmiştir. Hazırlanan heyelan envanterinin yamaç eğimleri üzerindeki dağılımlarına bakıldığında; heyelanların özellikle 10-20 ve 50-60 (°) eğim aralığında oldukça yoğunlaştığı ve bu yoğunlaşmanın eğime ait olan frekans dağılım oranlarında da görüldüğü gözlenmiştir (Tablo 8).



Şekil 34. İnceleme alanının eğim haritası

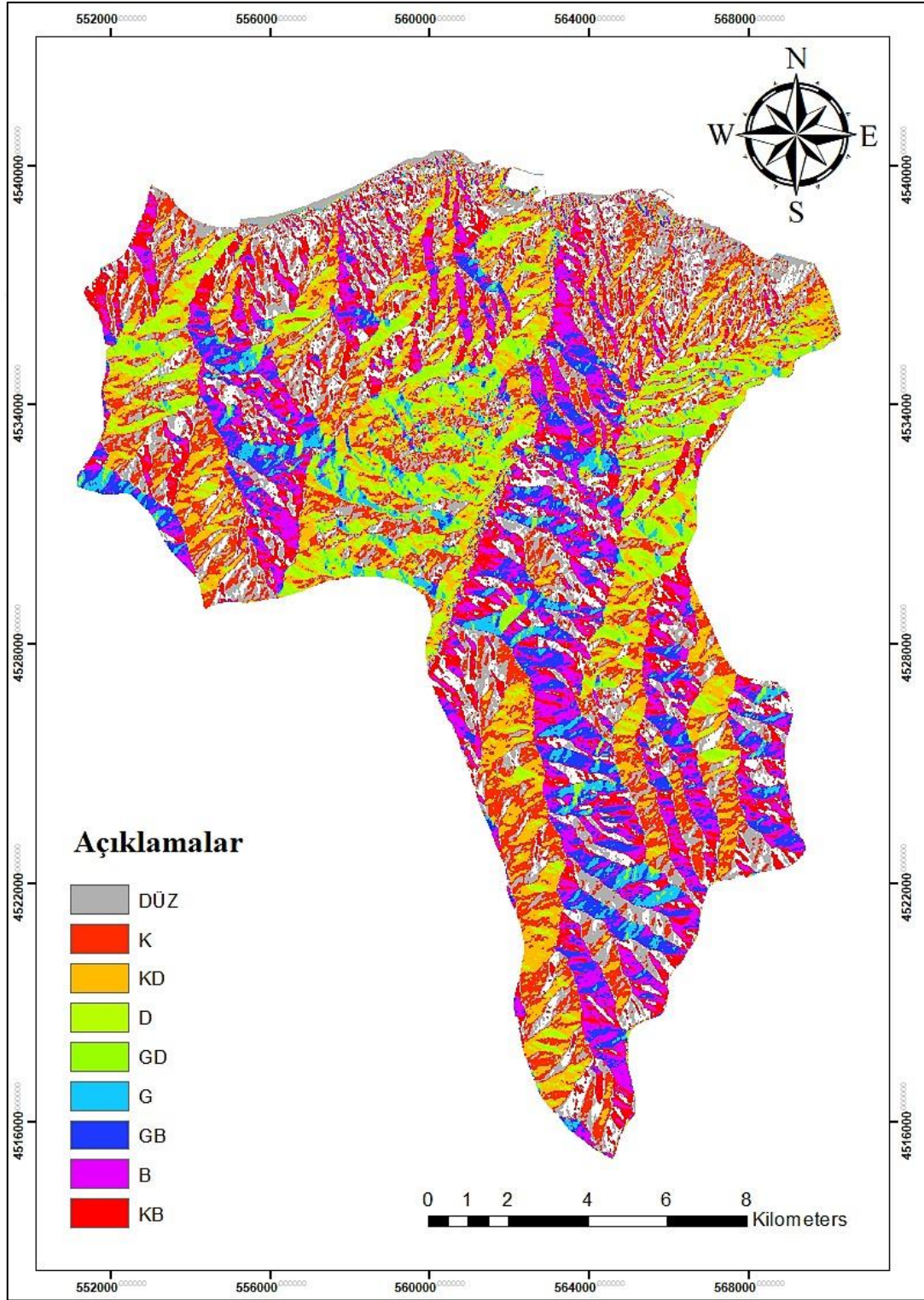
Tablo 8. Yamaç eğimi alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri

Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
Eğim (°)	0-10	338399	22.520	27930	22.652	0.082	0.174	17.455	17
	10-20	523785	34.858	47855	38.811	0.091	0.193	19.322	19
	20-30	397081	26.426	32124	26.053	0.080	0.171	17.109	17
	30-40	216656	14.418	13647	11.068	0.062	0.133	13.321	13
	40-50	25454	1.693	1643	1.3325	0.064	0.136	13.651	13
	50-60	1116	0.074	101	0.0819	0.090	0.191	19.140	19
	60-70	112	0.007	0	0	0	0	0	0
	70-80	8	0.000	0	0	0	0	0	0
Toplam		1502611		123300		0.472	1		
		Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min)Min RF	PR			
		0	0.193	0.193	0.078	2.474			

3.7.3.3. Yamaç Yönelimi (Bakı)

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla kullanılan parametrelerden biri de yamaç yönelimidir. Yamaç yönelimi haritasının üretilmesi için SYM'den CBS ortamı üzerinde üretilen raster verisi kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen inceleme alanına ait bakı haritası Şekil 35'te verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda yamaç yönelimi verisi için heyelanlı piksel sayılarının dağılımı incelendiğinde Trabzon iline ait tüm yönler için yamaçlarda heyelanların olduğu belirlenmiş olup, özellikle bu heyelanların güney ve güneybatı yönlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. İnceleme alanında heyelanlı bölgelerin bakıya ait olan frekans değerleri incelendiğinde de aynı durum gözlenmektedir (Tablo 9). Çalışmada CBS ortamında yönler incelendiğinde başlangıç 0-22.5 derece arasını gösteren yön ile bitiş 337.5-360 derece arasını gösteren yön kuzeyi ifade ettiğinden hesaplama sonucunda bu iki farklı aralıktaki pikseller birbirleriyle

toplanarak tek bir kuzeye indirgenmiştir. Sonuç olarak daha önceki parametrelerde oluşturulduğu gibi yamaç yönelimi haritası oluşturulmuş ve frekans oranı değerleri elde edilmiştir (Tablo 9).



Şekil 35. İnceleme alanının yamaç yönelimi haritası

Tablo 9. Yamaç yönelimi alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri

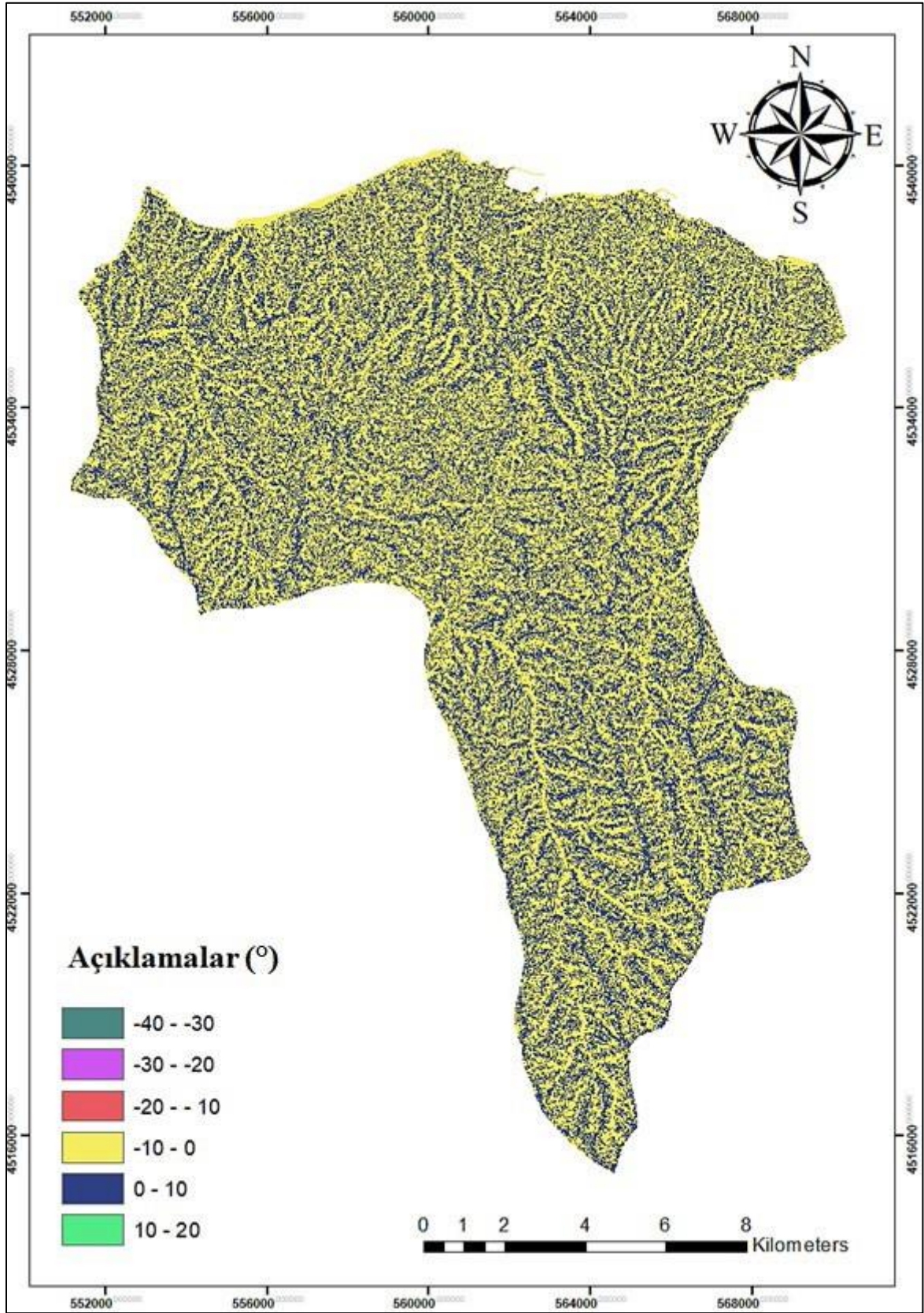
Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
(ASP) Yamaç Yönelimi	Düz (-1)	205931	15.509	13647	12.426	0.066	0.082	8.224	8
	K(0-22.5)	209641	15.788	13824	12.588	0.065	0.081	8.183	8
	KD (22.5-67.5)	198732	14.967	14552	13.251	0.073	0.090	9.087	9
	D(67.5-112.5)	120675	9.088	8510	7.7491	0.070	0.087	8.752	8
	GD (112.5-157.5)	64649	4.868	5984	5.449	0.092	0.114	11.48	11
	G (157.5-202.5)	59325	4.467	8008	7.292	0.134	0.159	15.90	16
	GB (202.5-247.5)	106617	8.029	13152	11.97	0.123	0.153	15.30	15
	B (247.5-292.5)	168161	12.664	16729	15.233	0.099	0.123	12.34	12
	KB (292.5-337.5)	194065	14.615	15412	14.034	0.079	0.098	9.856	9
Toplam		1327796		109818		0.805	1		

Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min)Min RF	PR
0.081	0.159	0.078	0.078	1

3.7.3.4. Yamaç Eğriselliği

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla kullanılan parametrelerden biri de eğriselliktir. Yamaç eğriselliği haritasının üretilmesi için SYM'den CBS ortamı üzerinde üretilen raster verisi kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık analizinin yapılması amacıyla heyelanlar bakımından elverişli alanlar için eğrisellik verileri literatürde özellikle yaygın olarak kullanılan altı sınıfa ayrılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen inceleme alanına ait eğrisellik haritası Şekil 36'da verilmiş olup, eğrisellik grafiği incelendiğinde heyelanların özellikle -10-0 değer aralıklı dışbükey ve 0-10 değer aralıklı içbükey yamaçlarda yoğunlaştığı belirlenmiştir (Tablo 10).

Sonuç olarak daha önceki parametrelerde oluşturulduğu gibi eğrisellik haritası oluşturulmuş ve frekans oranı değerleri elde edilmiştir (Tablo 10).



Şekil 36. İnceleme alanının eğrisellik haritası

Tablo 10. Eğrisellik alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri

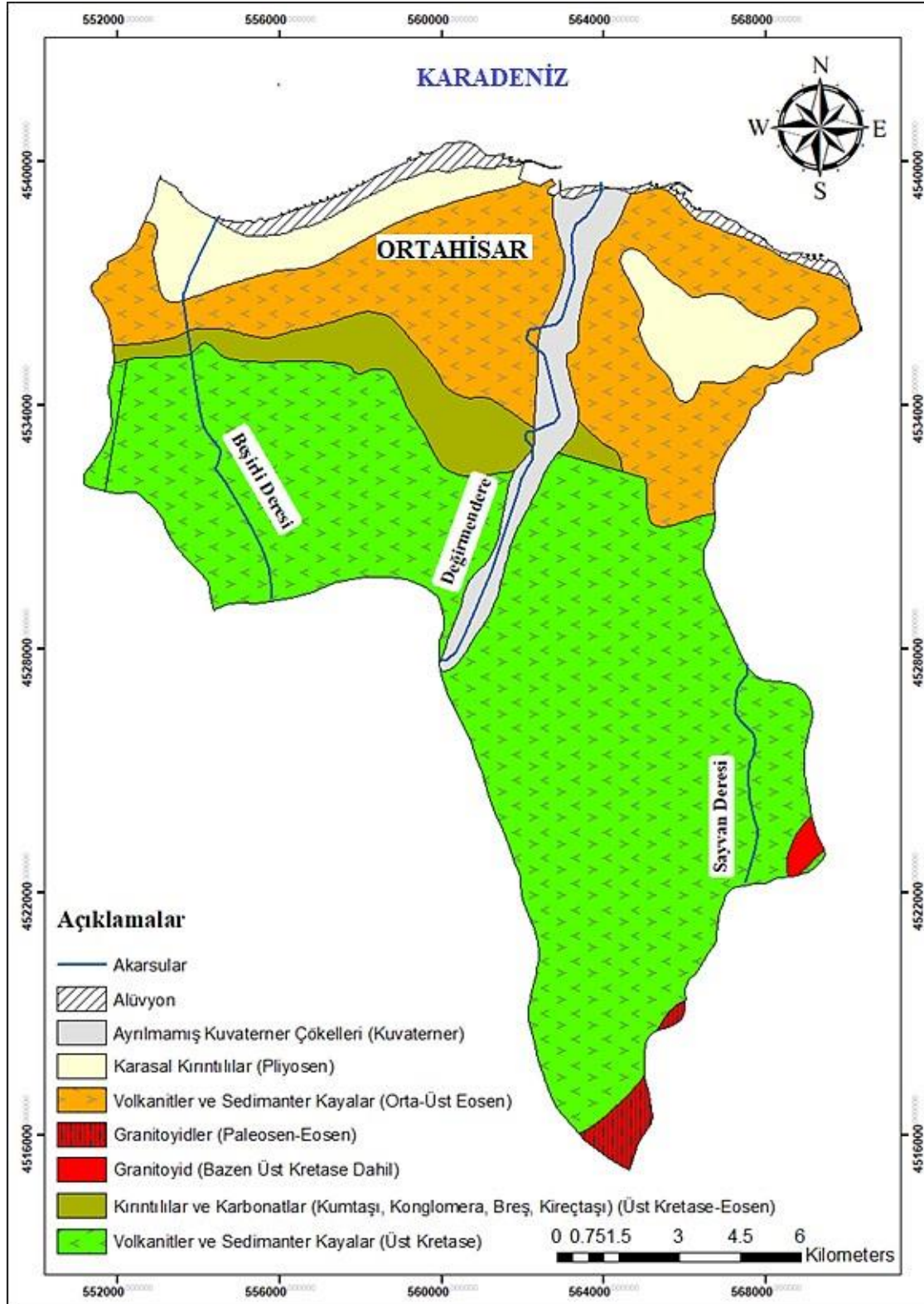
Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non %)	RF (INT)
(CRV) Eğrisellik (°)	-40- -30	2	0.0001	0	0	0	0	0	0
	-30- -20	1	6.655	0	0	0	0	0	0
	-20- -10	23	0.0015	1	0.0008	0.043	0.210	21.003	21
	-10- 0	920267	61.244	76451	62.004	0.083	0.401	40.130	40
	0-10	582277	38.751	46848	37.995	0.080	0.388	38.866	38
	10-20	41	0.0027	0	0	0	0	0	0
Toplam		1502611		123300		0.207	1		
		Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min)Min RF	PR			
		0	0.401	0.401	0.078	5.141			

3.7.3.5. Litoloji

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla kullanılan parametrelerden biri de litolojidir. Litoloji, heyelanların meydana gelmesinde son derece önemli parametrelerden biri olup heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde önemli rol oynamaktadır. Bunun nedeni birbirinden farklı özelliklere sahip olan litolojik birimler, özellikle heyelanlar gibi aktif bir şekilde oluşabilen jeomorfolojik süreçler için birbirinden farklı duyarlılıklara sahiptir. Bu jeomorfolojik süreçler, bazı yönden litolojiye ve litolojiyi meydana getiren temel malzemelerin ayrışma hususlarına bağlıdır.

Çalışma sonucunda elde edilen inceleme alanına ait litoloji haritası Şekil 37’de verilmiş olup, inceleme alanında heyelanların volkanitler ve sedimanter kayalar, kırıntılılar ve karbonatlar (Kumtaşı, konglomera, breş, kireçtaşı) ile ayrılmamış kuvaterner çökelleri birimlerinin bulunduğu alanlarda yoğunlaştığı belirlenmiştir (Tablo 11 ve Şekil 37). Ayrıca kırıntılılar ve karbonatlara karşılık gelen birimlerde ve bu birimlerin ayrışması sonucunda oluşan rezidüel zeminlerde heyelanların meydana geldiği belirlenmiştir. Özellikle inceleme

alanının meteorolojik ve topoğrafik özellikleri meydana gelen heyelanların gelişmesinde son derece önemlidir.



Şekil 37. İnceleme alanının litoloji haritası

Tablo 11. Litoloji alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri

Parametre	Sınıf	Toplam Alandaki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
Litoloji	Alüvyon	29094	1.942	274	0.222	0.009	0.020	2.069	2
	Volkanitler ve Sedimanter Kayalar	350690	23.408	10314	8.361	0.029	0.064	6.463	6
	Karasal Kırıntılılar	120245	8.026	3108	2.519	0.025	0.056	5.680	5
	Ayrılmamış Kuvaterner Çökelleri	61631	4.113	8130	6.591	0.131	0.289	28.98	28
	Kırıntılılar ve Karbonatlar	76938	5.135	11665	9.457	0.151	0.333	33.31	33
	Volkanitler ve Sedimanter Kayalar (Üst Kretase)	841100	56.142	89856	72.848	0.106	0.234	23.47	23
	Granitoyidler	13648	0.910	0	0	0	0	0	0
	Granitoyid (Bazen Üst Kretase Dahil)	4798	0.320	0	0	0	0	0	0
Toplam		1498144		123347		0.455	1		

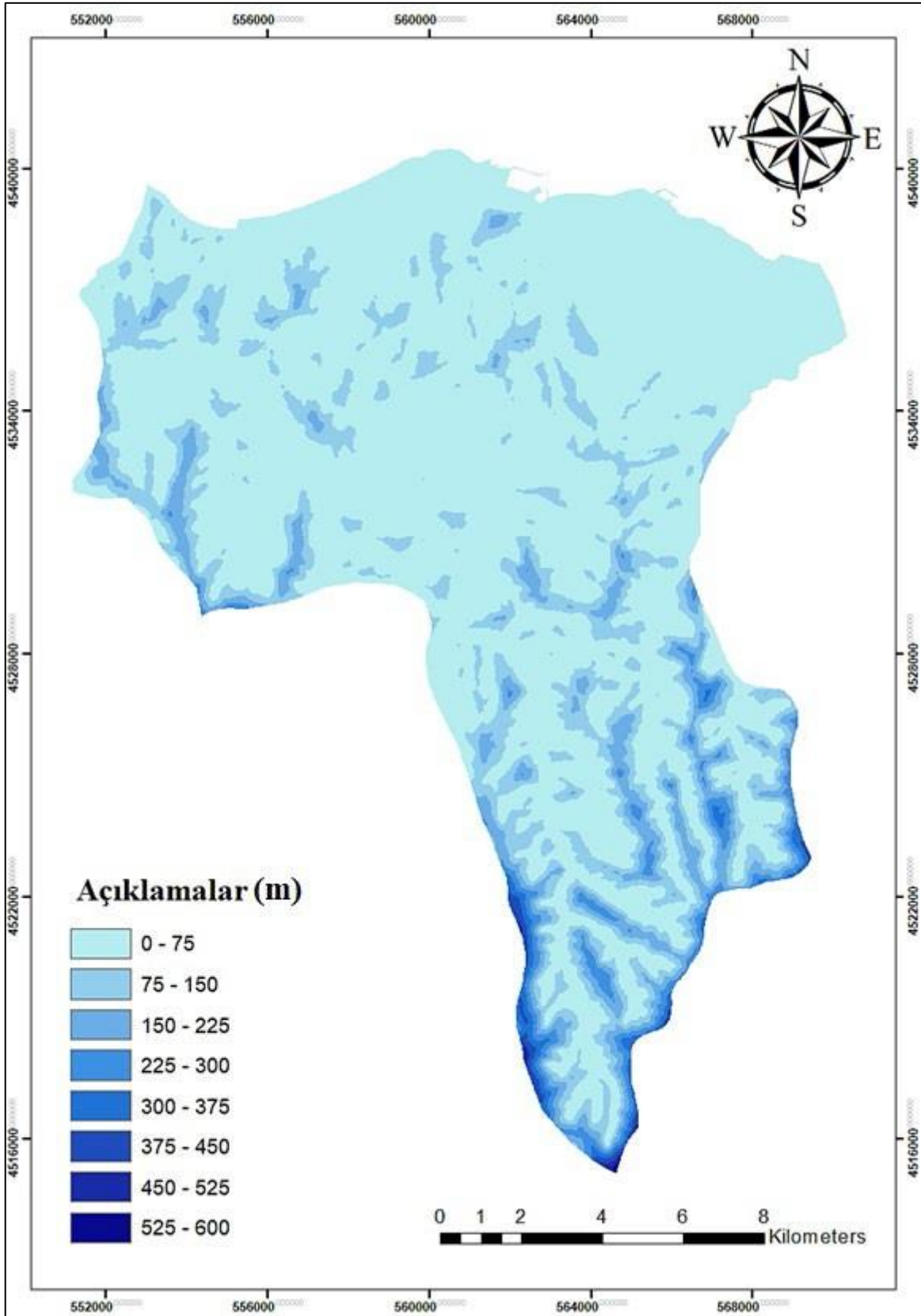
Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min)Min RF	PR
0	0.333	0.333	0.078	4.269

3.7.3.6. Drenaj Ağlarına Uzaklık

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla kullanılan parametrelerden biri de drenaj ağlarına uzaklık olup bu parametre literatürde akarsuya yakınlık şeklinde de yer almaktadır. Akarsuların ya da mevsimsel bir şekilde akış gerçekleştiren drenaj ağlarının, yamaç topuğunu giderek aşındırılması ve yamaçlarda yer alan malzemenin suya doymun bir hale gelmesine neden olmasından dolayı heyelanların oluşum mekanizması açısından, olumsuz bir etkiye neden olduğu belirtilmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Çalışmada inceleme alanının drenaj ağlarına uzaklık değerlerini gösterir harita sekiz alt sınıfa ayrılmış (Tablo 12) ve inceleme alanında oluşan heyelanlar ile drenaj ağları arasında meydana gelen ilişki araştırılarak heyelanların yoğunlukları belirlenmiştir (Tablo 12 ve Şekil 38).

İnceleme alanında yapılan çalışmalar sonucunda heyelan yoğunluğunun 0-75 m aralığında en fazla olduğu belirlenmiştir. Literatürde de belirtildiği gibi drenaj ağlarına olan uzaklığın artmasıyla heyelanların yoğunluklarının da giderek azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca 300 m'den daha yüksek olarak belirtilen değerlerde herhangi bir heyelan yoğunluğu gözlenmemiştir (Tablo 12).



Şekil 38. İnceleme alanının drenaj ağlarına uzaklık haritası

Tablo 12. Drenaj ağılarına uzaklık alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri

Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non %)	RF (INT)
Drenaj Ağlarına Uzaklık (m)	0-75	1092691	72.719	102723	83.311	0.094	0.460	46.028	46
	75-150	262944	17.499	16433	13.327	0.062	0.305	30.599	30
	150-225	97444	6.4849	3915	3.1751	0.040	0.196	19.671	19
	225-300	30299	2.016	229	0.1857	0.007	0.037	3.7005	3
	300-375	12526	0.833	0	0	0	0	0	0
	375-450	5599	0.372	0	0	0	0	0	0
	450-525	946	0.062	0	0	0	0	0	0
	525-600	162	0.010	0	0	0	0	0	0
Total		1502611		123300		0.204	1		
		Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min)Min RF	PR			
		0	0.46	0.46	0.078	5.897			

3.7.3.7. Topoğrafik Nemlilik İndeksi

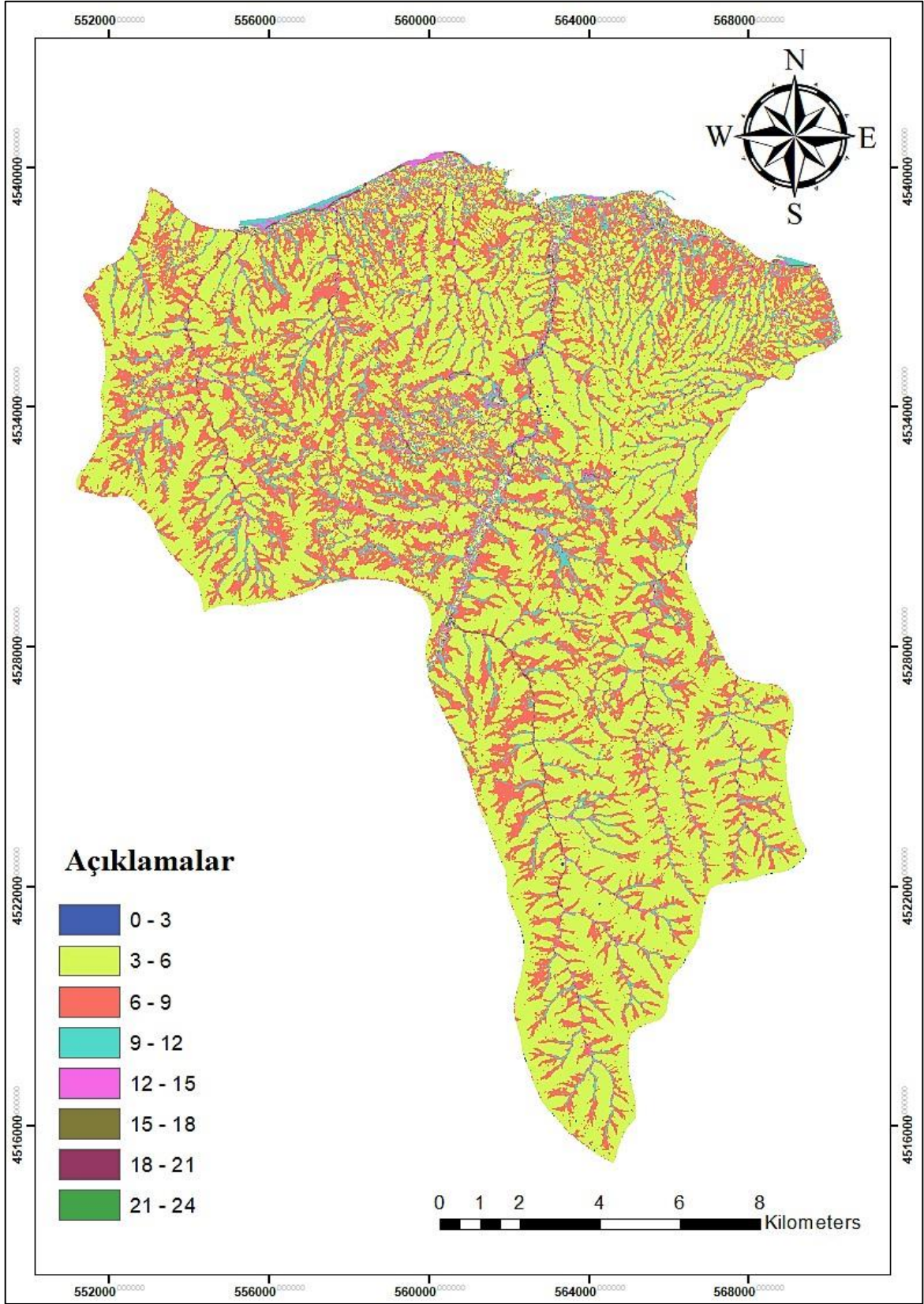
Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla kullanılan parametrelerden biri de topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) dir. Heyelan duyarlılık analizinde topoğrafyanın hidrolojik özelliklerinin incelenmesi ve belirlenmesi için kullanılan topoğrafik nemlilik indeksi, havza alanında suya doygun bir şekilde yer alan alanların konumlarını ve boyutlarını belirtir. Bu söylem ilk kez Beven ve Kirkby (1979) tarafından ifade edilmiştir. Yapılan farklı araştırmalarda CTI olarak da ifade edilen topoğrafik nemlilik indeksinin hesaplaması açısından önerilen formül (Moore vd., 1991; Gökçeoğlu vd., 2005), aşağıdaki eşitlikte verilmiştir.

$$TWI = \ln \frac{A_{AAA}}{\tan \beta \beta} \quad (9)$$

Eşitlikte ifade edilen A_s değeri su toplayabilme alanını, $\beta \beta$ değeri ise yamaç eğimini belirtmektedir.

İnceleme alanının TWI değerlerini gösteren haritayı üretmek amacıyla, açık kaynak kodlu SAGA CBS yazılımının içerdiği hidroloji aracı ile birlikte SYM ve gradyan cinsinden eğim haritası kullanılmıştır. İşlemler sonucun üretilen TWI haritası sekiz sınıfa ayrılarak yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 39). İnceleme sonucunda üretilen haritada değerlerin 1.57 ile 23.01 TWI arasında değiştiği belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler sabit bir ölçek altında olmayıp, farklı havzalar için farklılıklar gösterebilmektedir.

Çalışma alanında meydana gelen heyelanlar ile oluşturulan TWI verisi birbiri ile ilişkilendirildiğinde, 21 ile 24 TWI değer aralığında, her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun giderek arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık 0 ile 3 TWI değer aralığında ise en düşük heyelan yoğunluğu olduğu belirlenmiştir (Tablo 13 ve Şekil 39).



Şekil 39. İnceleme alanının topoğrafik nemlilik indeksi haritası

Tablo 13. Topoğrafik nemlilik indeksi alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri

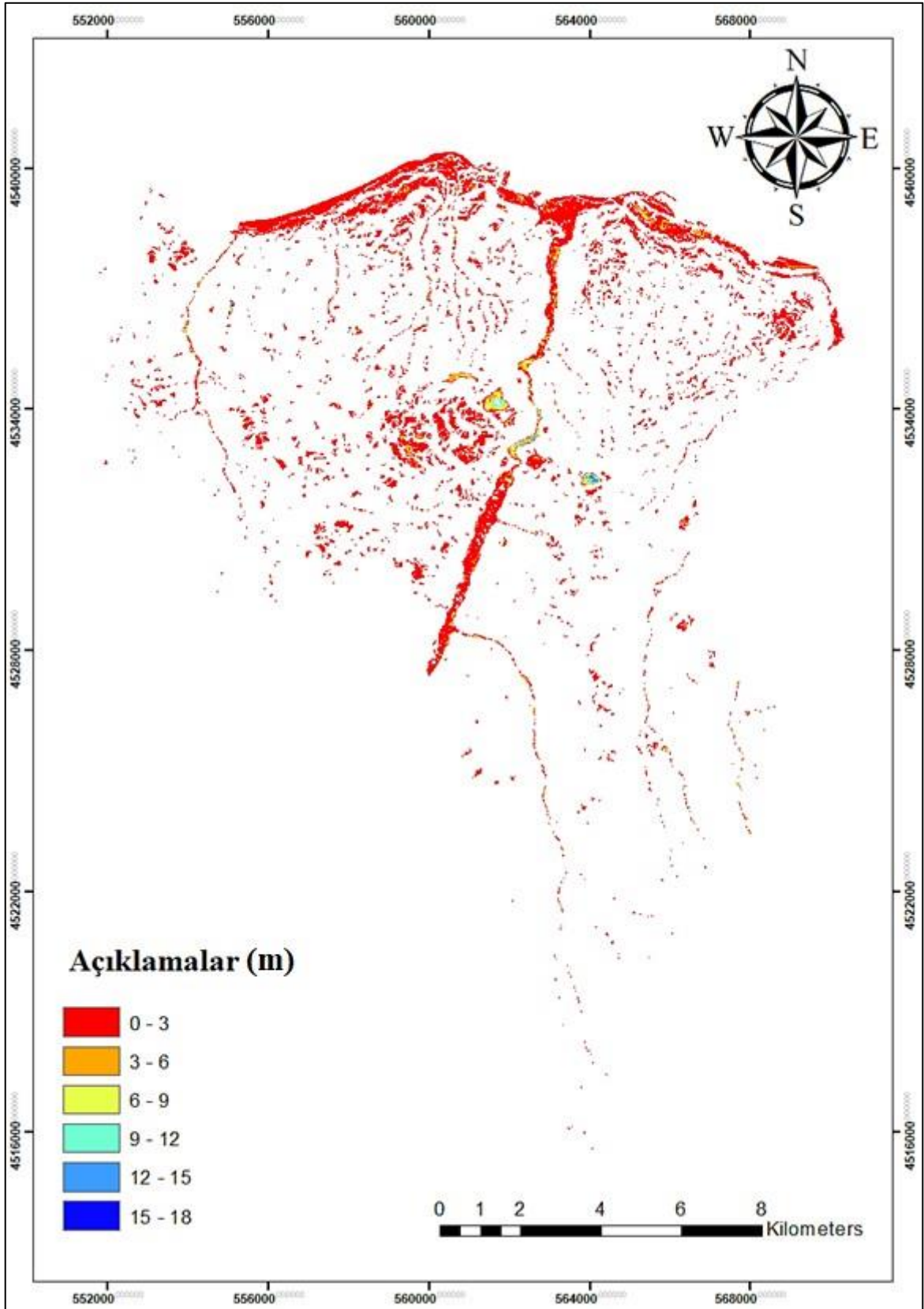
Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non %)	RF (INT)
Topoğrafik Nemlilik İndeksi	0-3	879	0.0586	45	0.036	0.0511	0.065	6.568	6
	3-6	926069	61.774	68788	55.852	0.0742	0.095	9.531	9
	6-9	436286	29.103	41419	33.630	0.0949	0.121	12.18	12
	9-12	95809	6.391	9599	7.793	0.100	0.128	12.855	12
	12-15	28598	1.907	2148	1.744	0.075	0.096	9.637	9
	15-18	8833	0.589	904	0.734	0.102	0.131	13.132	13
	18-21	2369	0.158	205	0.166	0.086	0.111	11.103	11
	21-24	267	0.017	52	0.042	0.194	0.249	24.989	24
Toplam		1499110		123160		0.779	1		
		Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min)Min RF	PR			
		0.065	0.249	0.184	0.078	2.359			

3.7.3.8. Kapalı Çöküntüler

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla kullanılan parametrelerden biri de kapalı çöküntülerdir. Kapalı çöküntülerin oluşmasının nedeni dere çıkışı bulunmayan havza formları, ile tabanda meydana gelen çözünebilir malzeme kaybıdır.

Kapalı çöküntüler hidrolojik bir şekilde incelendiğinde bölgesel özellikli yeraltı suyundan izole edilmiştir ve kesinlikle oluşumları yağmur suyuna ve bu su kaynağının akışına bağlı olarak gerçekleşir. Kapalı çöküntü sistemlerinin dinamik bir özellik göstermesinin nedeni özellikle nemli ve kuru koşullarla birlikte farklı arazi değişikliklerine de oldukça hızlı bir şekilde tepki vermeleridir.

İnceleme alanının kapalı çöküntüler değerlerini gösterir harita altı sınıfa ayrılarak yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 40). Çalışma alanında meydana gelen heyelanlar ile oluşturulan kapalı çöküntüler verisi ilişkilendirildiğinde, 12 ile 15 m değer aralığında, her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun giderek arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık diğer değer aralığında ise heyelan yoğunluklarının giderek azaldığı belirtilmiştir (Tablo 14 ve Şekil 40).



Şekil 40. İnceleme alanının kapalı çöküntüler haritası

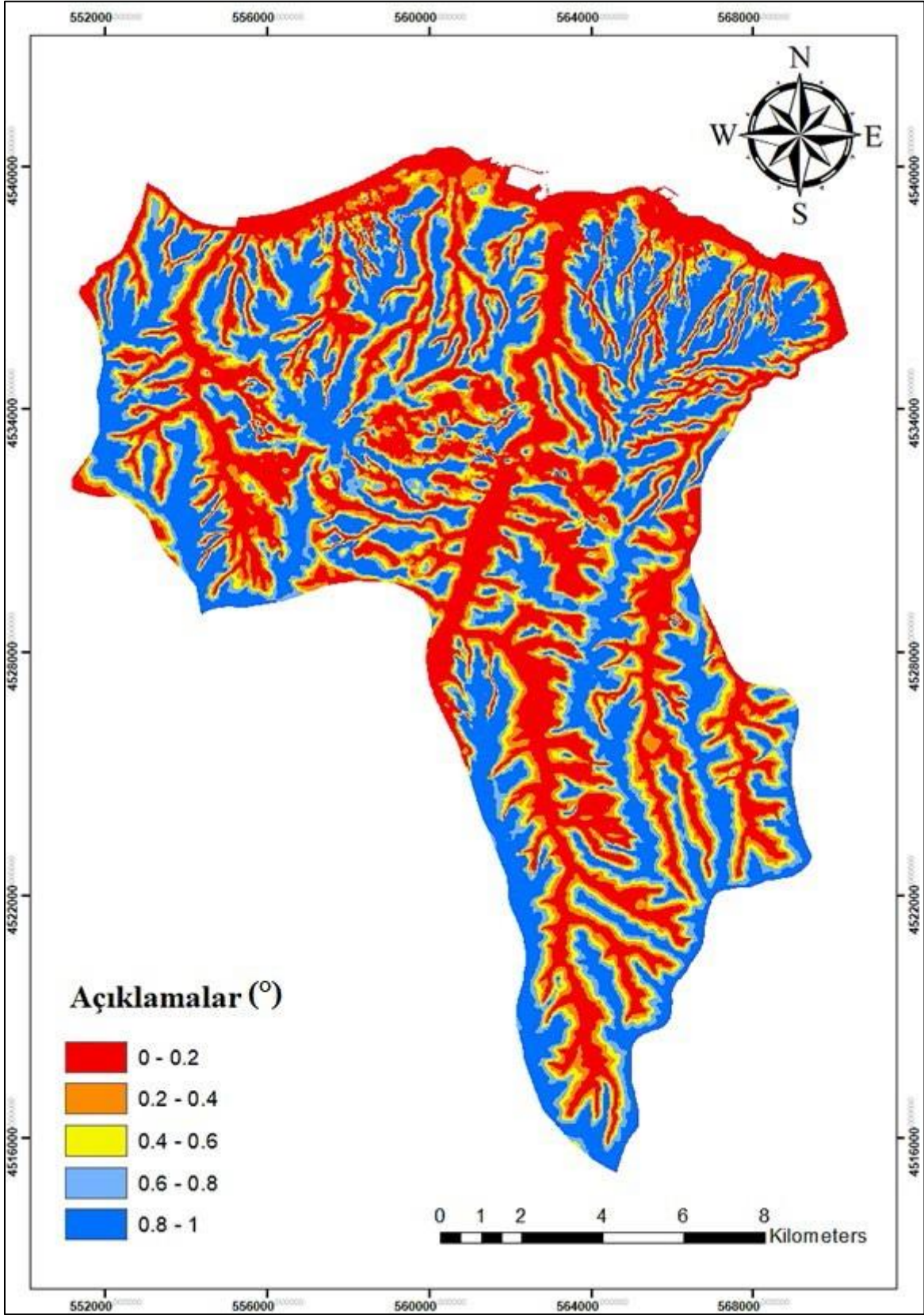
Tablo 14. Kapalı çöküntüler alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri

Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non %)	RF (INT)
Kapalı Çöküntüler (m)	0-3	109569	92.576	8452	90.891	0.077	0.140	14.093	14
	3-6	5961	5.0365	582	6.258	0.097	0.178	17.837	17
	6-9	1754	1.481	115	1.236	0.065	0.119	11.978	11
	9-12	784	0.662	105	1.129	0.133	0.244	24.468	24
	12-15	260	0.219	45	0.483	0.173	0.316	31.621	31
	15-18	27	0.022	0	0	0	0	0	0
Toplam		118355		9299		0.547	1		
		Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min)Min RF	PR			
		0	0.316	0.316	0.078	4.051			

3.7.3.9. Bağıl Eğim Konumu

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla kullanılan parametrelerden biri de bağıl eğim konumudur. Bağıl eğim konumu bir hücrenin eğim konumunu ayrıca vadi tabanı ile birlikte sırt üstü arasında meydana gelen göreceli konumunu ifade eden sürekli değişkendir (1-100). Bağıl eğim konumu çıkış bölgesindeki hücreler için, hücrenin aşağı yönde hareket ettiği (aktığı) vadi ve yukarı yönde hareket ettiği sırtta oluşan yüksekliğe göre her hücrenin yüksekliği olarak belirtilmektedir. Bu hesaplama değişen bir oran olarak ifade edilir ve 0'dan (vadi tabanı) 100'e (sırt üstü) olacak şekilde belirtilir.

İnceleme alanının bağıl eğim konumu değerlerini gösterir harita beş sınıfa ayrılarak yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 41). Çalışma alanında meydana gelen heyelanlar ile bağıl eğim konumuna ait veri ilişkilendirildiğinde, 0 ile 0.2 (°) değer aralığında, her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun giderek arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık 0.8 ile 1 (°) değer aralığında ise en düşük heyelan yoğunluğu olduğu belirlenmiştir (Tablo 15 ve Şekil 41).



Şekil 41. İnceleme alanının bağıl eğim konumu haritası

Tablo 15. Bağlı eğim konumu alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri

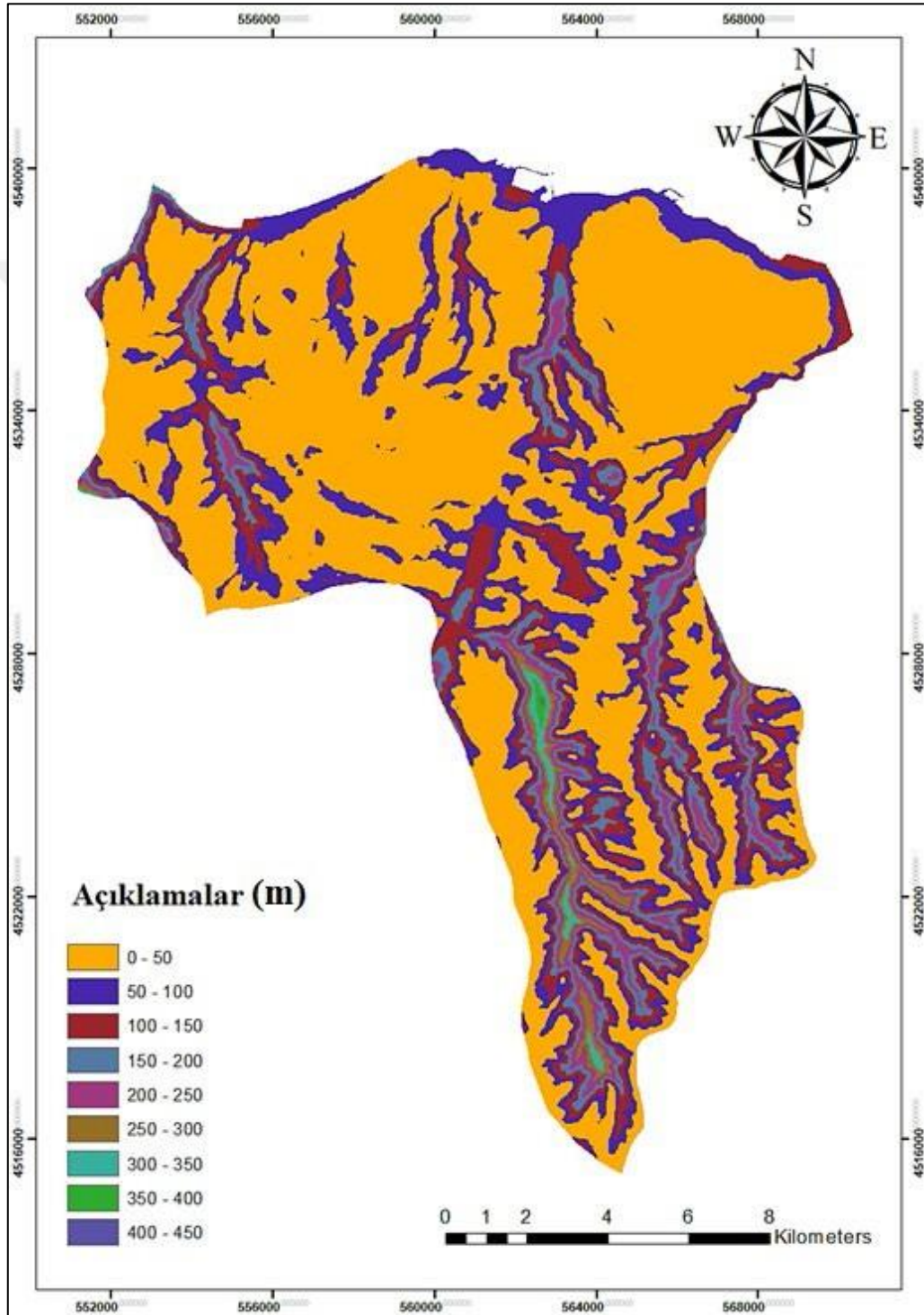
Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non%)	RF (INT)
Bağlı Eğim Konumu (°)	0-0.2	453087	30.153	50578	41.020	0.111	0.275	27.512	27
	0.2-0.4	213750	14.225	19689	15.968	0.092	0.227	22.701	22
	0.4-0.6	191991	12.777	14870	12.060	0.077	0.190	19.088	19
	0.6-0.8	210124	13.983	14899	12.083	0.070	0.174	17.475	17
	0.8-1	433653	28.860	23264	18.867	0.053	0.132	13.221	13
Toplam		1502605		123300		0.405	1		
		Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min)Min RF	PR			
		0.132	0.275	0.143	0.078	1.833			

3.7.3.10. Vadi Derinliği

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla kullanılan parametrelerden biri de vadi derinliğidir. Vadi derinliğini anlamamız için öncelikle vadi tanımını ele almamız gerekir. Vadi, bir akarsuyun içinde hareket ettiği, kaynaktan ağız tarafına doğru sürekli bir şekilde inişi bulunan ve birkaç kilometre işe binlerce kilometreye ulaşabilen coğrafi alandır. Vadilerin oluşma şekilleri, akarsuların bünyesinde barındırdıkları aşındırma gücüne, zeminin yapısına ve ne kadar sürede aşınacağına bağlıdır. Vadi günümüzde çok yaygın şekilde gözlenebilen bir yeryüzü şeklidir. Vadinin morfolojisini bir taban, iki yamaç oluşturur. Vadiler bazı bölgelerde sık, bazı bölgelerde ise daha seyrek. Vadilerin sık olarak gözlemlendiği yerler bol yağmurlu bölgeler olup seyrek olarak gözlemlendiği yerler ise kurak bölgeler ya da su kaybına neden olan çok sızdıran kayaçların bulunduğu yerlerdir.

Vadi derinliğini hesaplamak için yükseklik ile bununla ilişkili bir sırt seviyesi arasında meydana gelen fark kullanılır. Vadi derinlinin büyüklüğü için yükseklik ve sırt seviyesi parametreleri oldukça önemlidir. İnceleme alanının vadi derinliği değerlerini gösterir harita dokuz sınıfa ayrılarak yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 42). Çalışma

alanında meydana gelen heyelanlar ile vadi derinliğe ait veri ilişkilendirildiğinde, 350 ile 400 m değer aralığında, her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun giderek arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık diğer değer aralıklarında ise heyelan yoğunluklarının giderek azaldığı belirlenmiştir (Tablo 16 ve Şekil 42).



Şekil 42. İnceleme alanının vadi derinliği haritası

Tablo 16. Vadi derinliği alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri

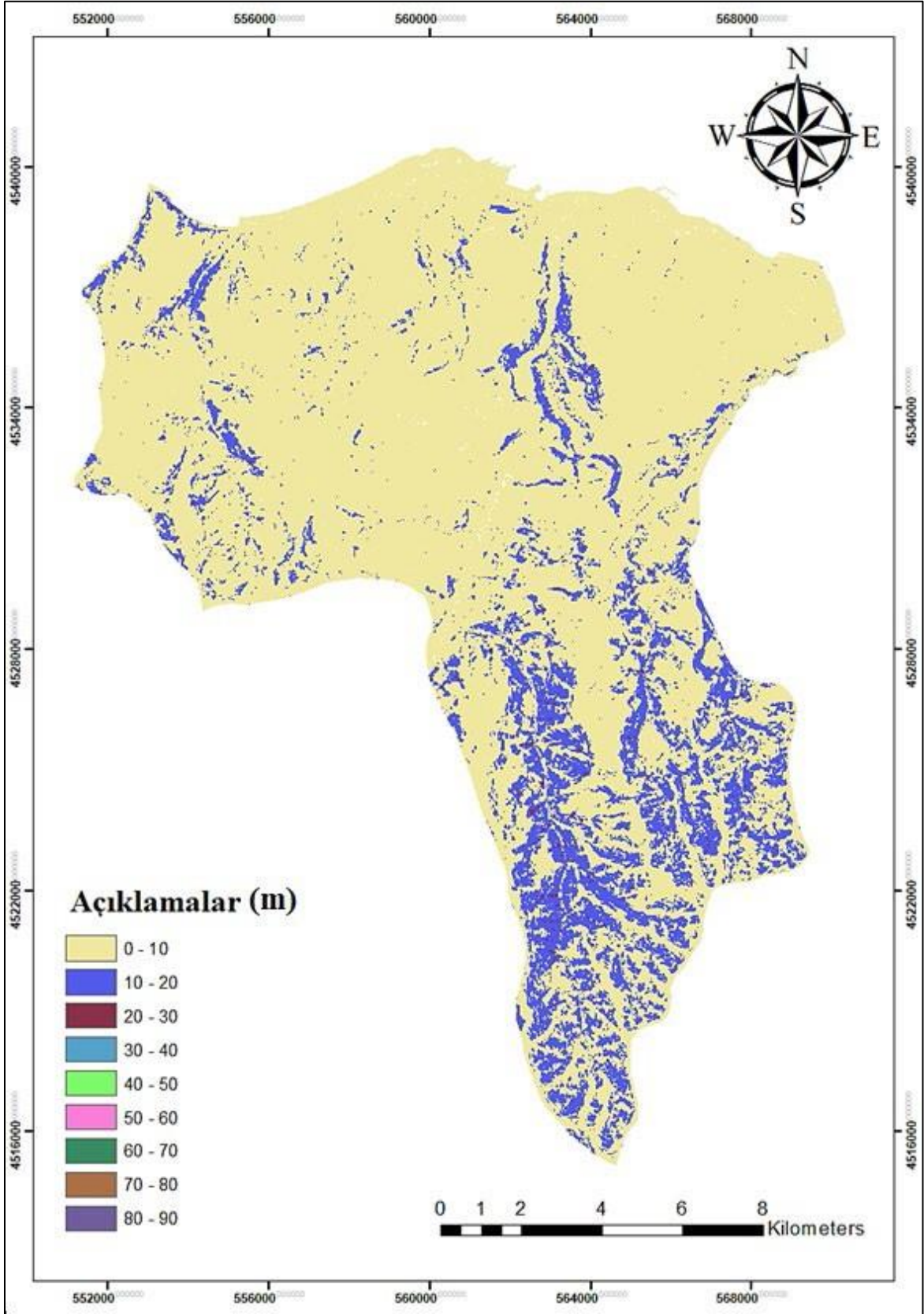
Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non %)	RF (INT)
Vadi Derinliği	0-50	897009	59.696	67779	54.970	0.075	0.055	5.505	5
	50-100	307752	20.481	28272	22.929	0.091	0.066	6.693	6
	100-150	151380	10.074	15048	12.204	0.099	0.072	7.242	7
	150-200	82070	5.4618	6584	5.3398	0.080	0.058	5.845	5
	200-250	40667	2.7064	2638	2.1394	0.064	0.047	4.726	4
	250-300	15637	1.0406	1450	1.1759	0.092	0.067	6.756	6
	300-350	6686	0.4449	844	0.6845	0.126	0.091	9.197	9
	350-400	1353	0.0900	671	0.544	0.495	0.361	36.135	36
	400-450	57	0.0037	14	0.011	0.245	0.178	17.896	17
Toplam		1502611		123300		1.372	1		
		Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min)Min RF	PR			
		0.047	0.361	0.314	0.078	4.026			

3.7.3.11. Eğim Uzunluğu ve Diklik Faktörü (LS Faktörü)

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla kullanılan parametrelerden biri de eğim uzunluğu ve diklik faktörüdür (LS Faktörü). Toprak erozyonu için yapılacak olan risk tahminlerinde eğim uzunluğu ve diklik faktörü en büyük etkiye sahiptir. LS faktörü incelendiğinde; S-faktörü, eğim dikliğinin oluşturduğu etkiyi ölçer ve L-faktörü ise eğim uzunluğunun meydana getirdiği etkiyi ifade eder. Eğim uzunluğu, karadan yani akışın akmaya başladığı başlangıç noktasından, çökmenin meydana gelmesi için eğimin yeterince azalması gereken noktaya veya yüzey akışının daha önceden belirlenmiş bir kanala (kuru veya ıslak) giriş yaptığı noktaya kadar olan uzaklık olarak ifade edilir. Eğim dikliği ise, genel olarak yüzde bir şekilde ifade edilen segment veya saha eğimi olarak tanımlanır. Geleneksel olarak LS faktörü USLE'de iki parametre biçiminde tanımlansa da, evrensel bakımdan birleşik bir terim olarak hesaplanır (Mitchell ve Bubenzer, 1980; Goldman vd., 1986).

Eğim uzunluğu ve eğim dikliği, toprak parçacıklarının hareket ederek taşınmasını büyük ölçüde etkiler. LS faktörü bu nedenle meydana gelmesi tahmin edilen erozyonda oldukça önemli bir etkiye sahip olabilir.

İnceleme alanının LS faktörü değerlerini gösterir harita dokuz sınıfa ayrılarak yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 43). Çalışma alanında meydana gelen heyelanlar ile LS faktör verisi ilişkilendirildiğinde, 0 ile 10 m değer aralığında, her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun giderek arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık diğer değer aralıklarında ise heyelan yoğunluklarının giderek azaldığı belirlenmiştir (Tablo 17 ve Şekil 43).



Şekil 43. İnceleme alanının eğim uzunluğu ve diklik faktörü haritası

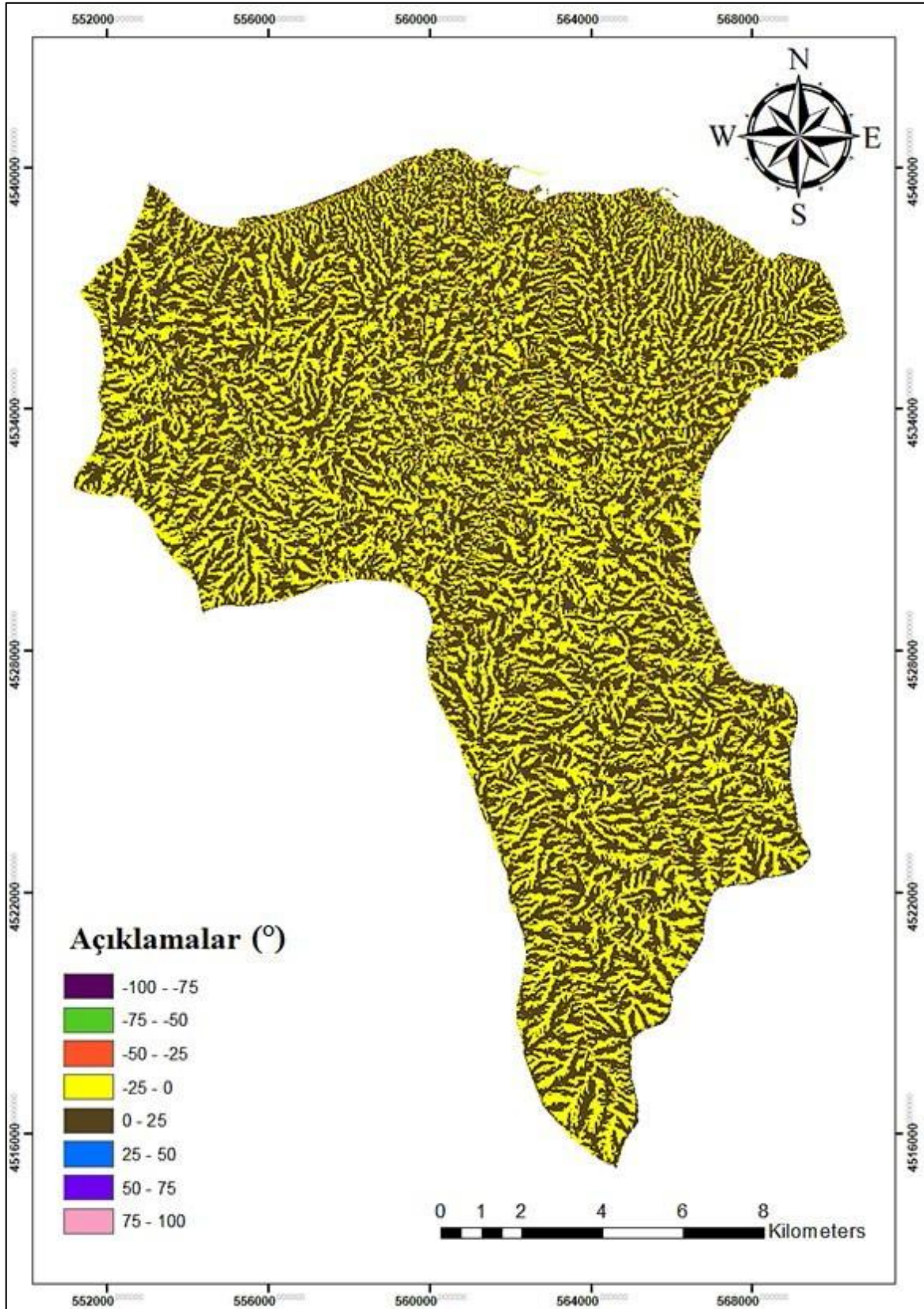
Tablo 17. Eğitim uzunluğu ve diklik faktörü alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri

Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non %)	RF (INT)
Eğim uzunluğu ve diklik faktörü (LS faktörü)	0-10	1253567	83.620	107073	86.938	0.085	0.277	27.760	27
	10-20	241738	16.125	15799	12.828	0.065	0.212	21.241	21
	20-30	3645	0.2431	278	0.225	0.076	0.247	24.788	24
	30-40	124	0.0082	10	0.008	0.080	0.262	26.210	26
	40-50	23	0.0015	0	0	0	0	0	0
	50-60	10	0.0006	0	0	0	0	0	0
	60-70	1	6.6706	0	0	0	0	0	0
	70-80	1	6.6706	0	0	0	0	0	0
80-90	1	6.6706	0	0	0	0	0	0	
Toplam		1499110		123160		0.307	1		
		Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min)Min RF	PR			
		0	0.277	0.277	0.078	3.551			

3.7.3.12. Yakınsama İndeksi

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla kullanılan parametrelerden biri de yakınsama indeksidir. Yakınsama indeksi, oluşan rölyefin yapısını yakınsak alanlar (kanallar) ve ıraksak alanlar (sırtlar) şeklinde belirten bir arazi parametresi olarak tanımlanır. Yakınsama indeksi ayrıca birbirini çevreleyen hücrelerin açı yönünün teorik olarak ifade edilen matris yönü ile uyumlu olmasını temsil eder. Ayrıca yakınsama indeksi, ideal tepe noktasını yani eksi 90 dereceyi ifade eden gerçek görünüm ile birlikte teorik olarak ifade edilen maksimum ıraksak yön matrisi arasındaki oluşan ortalama (veya ağırlıklar kullanılıyorsa ağırlıklı ortalama) görünüş farkıdır. Sonuç olarak, ıraksak matris verisi ile maksimum uyum oluşmuş ise yakınsama indeksi $(0-90) \times 10/9 = -100$ 'dür. Fakat ideal çökme meydana gelmiş ise (maksimum yakınsama) yakınsama indeksi $(180-90) \times 10/9 = 100$ 'dür. Yakınsama indeksi, heyelan duyarlılık analizi için oldukça yararlıdır. Özellikle tepeler veya drenaj sistemleri ve vadi belirleme aracı tarafından ifade edilen bir parametredir.

İnceleme alanının yakınsama indeksi değerlerini gösterir harita sekiz sınıfa ayrılarak yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 44). Çalışma alanında meydana gelen heyelanlar ile yakınsama indeksi konumu verisi ilişkilendirildiğinde, -25-0 ile 0-25 (°) değer aralığında, her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun giderek arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık diğer değer aralıklarında heyelan yoğunluklarının en düşük olduğu belirlenmiştir (Tablo 18 ve Şekil 44).



Şekil 44. İnceleme alanının yakınsama indeksi haritası

Tablo 18. Yakınsama indeksi alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri

Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non %)	RF (INT)
Yakınsama İndeksi	-100- -75	72	0.004	2	0.0016	0.027	0.056	5.616	5
	-75- -50	1407	0.093	109	0.0884	0.077	0.156	15.663	15
	-50- -25	11105	0.739	683	0.5539	0.061	0.124	12.435	12
	-25-0	716786	47.702	59968	48.635	0.083	0.169	16.915	16
	0-25	763689	50.824	62021	50.300	0.081	0.164	16.419	16
	25-50	8080	0.537	430	0.3487	0.053	0.107	10.759	10
	50-75	1331	0.088	80	0.0648	0.060	0.121	12.152	12
	75-100	141	0.009	7	0.0056	0.049	0.100	10.037	10
Toplam		1502611		123300		0.494	1		

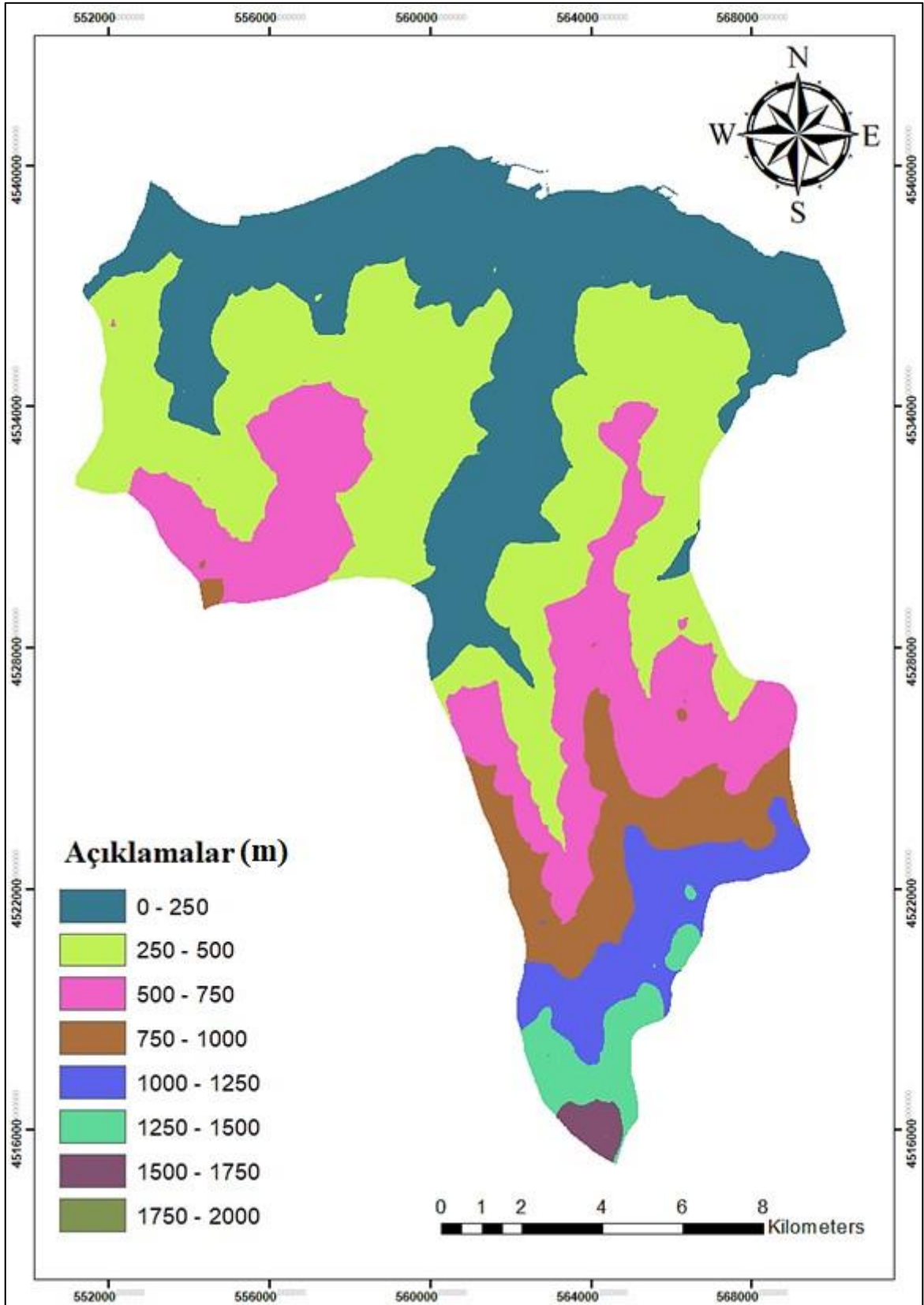
Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min)Min RF	PR
0.056	0.169	0.113	0.078	1.449

3.7.3.13. Drenaj Ağı Temel Seviyesi

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla kullanılan parametrelerin sonuncusu ise drenaj ağı temel seviyesidir. Drenaj ağı temel seviyesi, altında yer alan bir akışın içinde bulunduğu kanalını aşındıramayacağı sınırlama seviyesi olarak ifade edilir. Bu ifade okyanuslara boşalan akarsular için incelendiğinde taban seviyesinin deniz seviyesi olduğu gözlenir. Ayrıca bir akarsuyun oldukça dirençli bir kaya kütlesiyle karşı karşıya geldiği, doğal bir şekilde oluşan veya yapay bir oluşturulan barajın çok miktarda kanal erozyonunu engellediği veya akarsu akışının bir göle boşaldığı alanlarda yerel taban seviyeleri meydana gelebilir.

Doğal veya yapay bir baraj akarsu akışının önüne geçerek onu engellediğinde, akarsu kendi uzun profilini ayarlayarak yeni oluşacak temel seviyesine uyum sağlar. Bu durumda erozyon genellikle barajın aşağısında oluşur (özellikle bu baraj doğal bir baraj ise ve su üst kısımdan akış sağlayabiliyorsa). Barajın hemen akış bölgesinin yukarısında akıntının hızı düşürülerek tortu birikimi meydana getirilir ve bu da eğimin düşmesine neden olur.

İnceleme alanının drenaj ağı temel seviyesi değerlerini gösterir harita sekiz sınıfa ayrılarak yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 45). Çalışma alanında meydana gelen heyelanlar ile drenaj ağı temel seviyesi verisi ilişkilendirildiğinde, 250-500 m ve 500-750 m değer aralığında, her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun giderek arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık 1250 m'den büyük değerlerde ise heyelan yoğunluklarının gözlenmediği belirlenmiştir (Tablo 19 ve Şekil 45).



Şekil 45. İnceleme alanının drenaj ağı temel seviyesi haritası

Tablo 19. Drenaj ağı temel seviyesi alt sınıflarına ait heyelanlı piksel sayıları ve frekans oranı değerleri

Parametre	Sınıf	Toplam Alan İçerisindeki Piksel Sayısı	Toplam Alandaki %	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	RF	RF (non %)	RF (INT)
Drenaj Ağı Temel Seviyesi (m)	0-250	451950	30.077	35550	28.832	0.0786	0.227	22.736	22
	250-500	514388	34.232	50511	40.965	0.0981	0.283	28.383	28
	500-750	289390	19.259	30856	25.025	0.1066	0.308	30.819	30
	750-1000	109288	7.273	4786	3.8815	0.0437	0.126	12.658	12
	1000-1250	85438	5.685	1597	1.295	0.0186	0.054	5.402	5
	1250-1500	41668	2.773	0	0	0	0	0	0
	1500-1750	10486	0.697	0	0	0	0	0	0
	1750-2000	3	0.0001	0	0	0	0	0	0
Toplam		1502611		123300		0.345	1		

Min RF	Max RF	Max-Min RF	(Max-Min)Min RF	PR
0	0.308	0.308	0.078	3.949

3.7.4. FR Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

İnceleme alanının heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla literatürde sıkça tercih edilen yöntemlerden biri olan frekans oranı yöntemi kullanılmıştır (Akgün vd, 2007). Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi için yapılan bu analizde üretilen ve kullanılan raster ve vektör haritaların tamamının koordinatı WGS 1984 UTM 37 N koordinat sisteminde tanımlıdır. Bu nedenle sonuç olarak analiz sonucunda üretilen heyelan duyarlılık haritası da bu projeksiyon sisteminde yer almaktadır. Analizde üretilen ve kullanılan parametre haritalarının tamamı ile heyelan duyarlılık haritasının piksel boyutu 12.5x12.5 m olarak tanımlanmıştır.

İnceleme alanında yapılan çalışmada kullanılan toplam on üç adet parametre (yamaç eğimi, yükseklik, yamaç eğriselliği, yamaç yönelimi, litoloji, kapalı çöküntüler, topoğrafik nemlilik indeksi, eğim uzunluğu ve diklik faktörü, yakınsama indeksi, drenaj ağı temel seviyesi, drenaj ağlarına uzaklık, vadi derinliği, bağlı eğim konumu) ile analiz işlemleri tamamlanarak sonuç olarak elde edilen heyelan duyarlılık haritasına incelendiğinde kullanılan tüm parametrelerin heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında oldukça etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

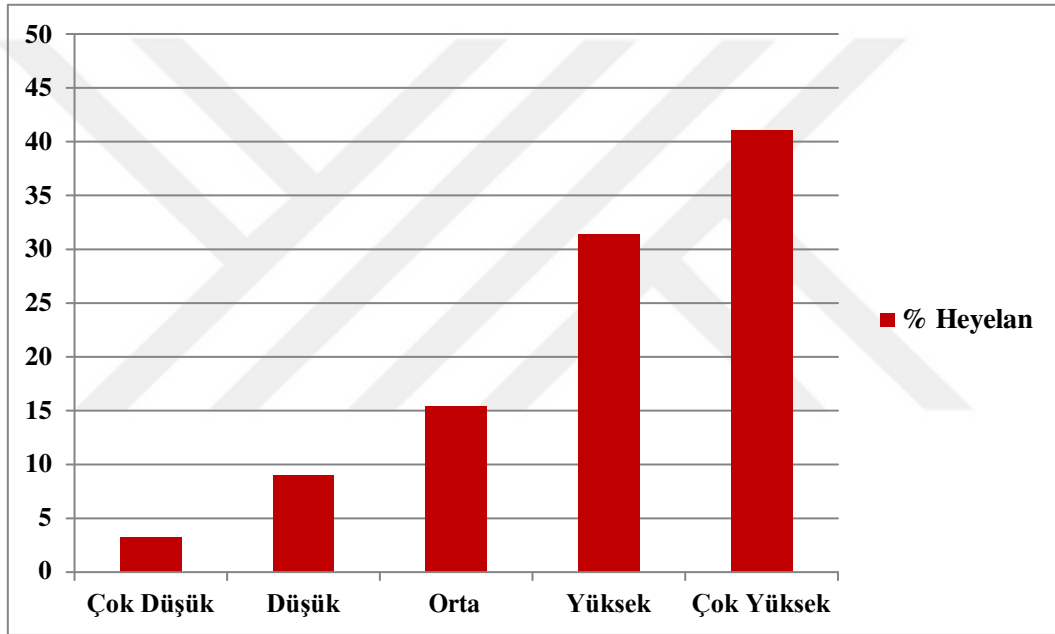
İnceleme alanını ifade eden toplam piksel sayısı olarak ilçe sınırının tamamı seçilmiş olup; heyelanlı piksel sayıları ise, analiz için kullanılan 117 adet vektör formatlı poligon şeklinde tanımlanmış heyelanların raster şekilde formatlı olan parametre haritalarından CBS ortamında hesaplanmıştır. Yapılan bu hesaplama sonucunda tüm parametrelerin frekans değerleri ayrı olarak hesaplanmış ve on üç adet analize giren parametre haritası CBS ortamında toplanarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir ve bu harita beş eşit sınıfa ayrılmıştır (Şekil 47). Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde Eşitlik 10 uygulanarak heyelan duyarlılık modeli oluşturulmuştur.

$$\text{LSI} = \text{Eğim} \times 2.474 + \text{Yükseklik} \times 3.692 + \text{Bakı} \times 1 + \text{Eğrisellik} \times 5.141 + \text{Litoloji} \times 4.269 + \text{Yakınsama İndeksi} \times 1.449 + \text{TWI} \times 2.359 + \text{LS faktörü} \times 3.551 + \text{Drenaj ağı temel seviyesi} \times 3.949 + \text{Drenaj ağlarına uzaklık} \times 5.897 + \text{Vadi derinliği} \times 4.026 + \text{Bağlı eğim konumu} \times 1.833 + \text{Kapalı çöküntüler} \times 4.051 \quad (10)$$

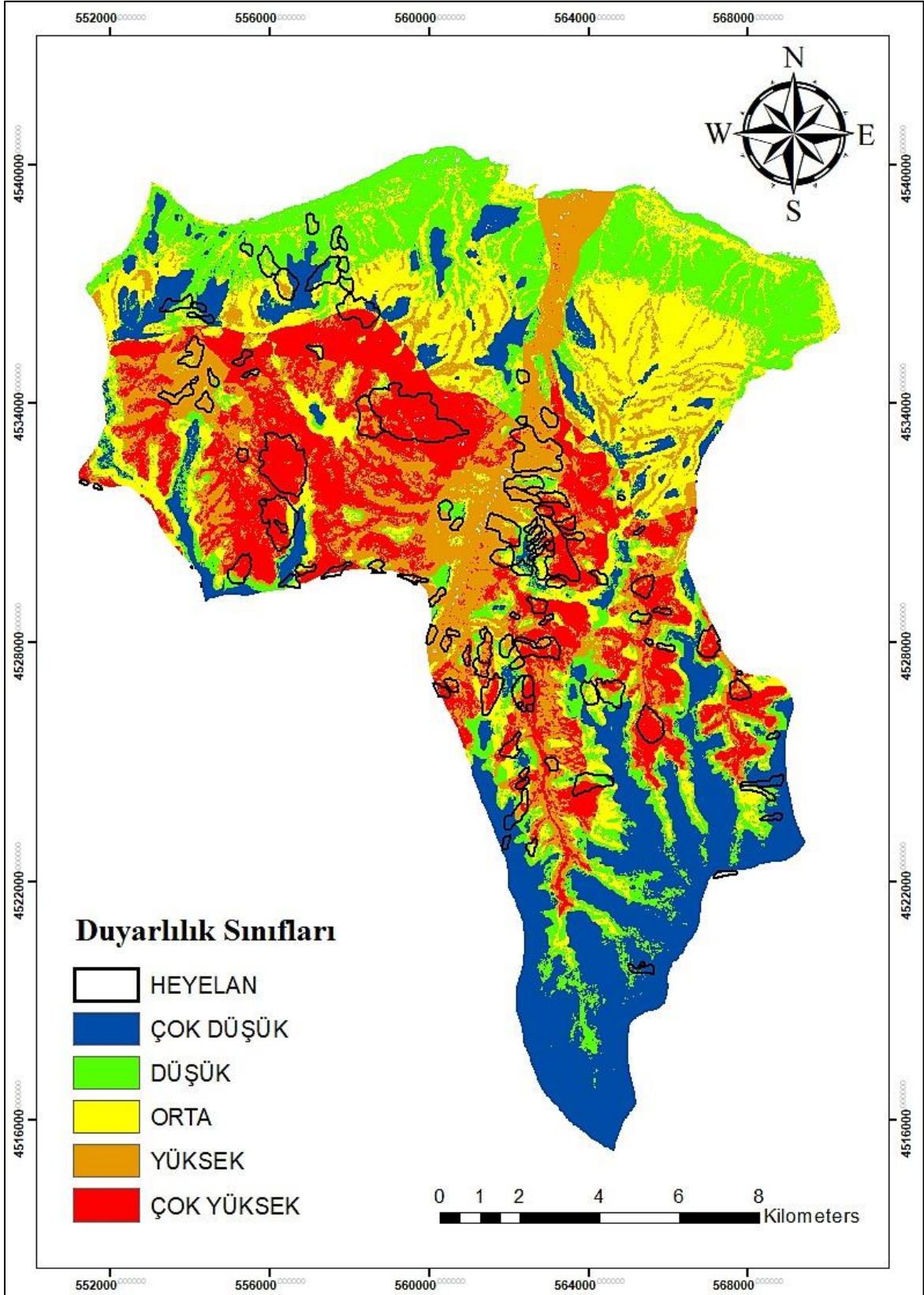
Yukarıda sözü edilen değerlendirmeler sonucunda 1:25.000 ölçekli Trabzon ili, Ortahisar ilçesinin heyelan duyarlılık haritası (Şekil 47) üretilmiş olup; bu haritadaki duyarlılık sınıflarının alansal oran dağılımları; çok düşük %3, düşük %8, orta %15, yüksek %31 ve çok yüksek %41 şeklindedir (Tablo 20 ve Şekil 46).

Tablo 20. Frekans oranı yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıflarına ait alansal oran değerleri.

Derece	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Toplam
% Heyelan	3.23	8.95	15.37	31.39	41.03	100



Şekil 46. FR yöntemine göre heyelan duyarlılık derecelerinin yüzdelik dağılımları



Şekil 47. İnceleme alanının FR yöntemine göre üretilen heyelan duyarlılık haritası

3.7.5. Entropi Endeksi (EE) Yöntemi

Entropi, bir sistemin düzensizliğini, dengesizliğini, dayanıksızlığını ve belirsizliğini ifade eden bir ölçüdür. Bir sisteme ait olan entropi miktarı ile bu sistemin düzensizlik derecesi arasında oldukça yakın bir ilişki vardır. Bu ilişki Boltzmann ilkesi olarak adlandırılır ve kullanılan sistemin termodinamik durumunu ifade etmek için kullanılmıştır (Yufeng ve Fengxiang, 2009). Entropi endeksi modeli bilgi kuramından (information theory) bir model olup, Shannon (1948) tarafından Boltzmann ilkesi temel alınarak geliştirilmiştir. Bu model bu nedenle bazı kaynaklarda Shannon Entropisi adı ile de kullanılmaktadır. Bu modelde yapılan ağırlıklandırma çalışması Vlcko vd.,'nin (1980) önerdiği yönteme göre gerçekleştirilmiştir. Entropi endeksi bir ortamdaki düzensizlik boyutunun derecesini ifade eder (Bednarik vd., 2010). Heyelan entropisi ise, birbirinden farklı faktörlerin bir heyelanın oluşumunu tetiklediği anlamına gelmektedir. Ayrıca birkaç önemli faktör de kullanılan sisteme ek bir entropi sağlamaktadır. Sonuç olarak ifade edildiğinde, entropi değeri, bir sistemin nesnel ağırlıklarını oluşturmak amacıyla kullanılabilir (Yang vd., 2010). Entropi endeksini hesaplamak için aşağıda verilen denklemler kullanılır (Bednarik vd., 2010; Constantin vd., 2011):

$$P_{ij}=b/a \quad (11)$$

$$(P_{ij})=P_{ij}/\Sigma P_{ij} \quad (12)$$

$$H_j=-\Sigma(P_{ij})\log_2(P_{ij}); j = 1,2,...,n \quad (13)$$

$$H_{jmax}=\log_2 S_j \quad (14)$$

$$I_j=(H_{jmax}-H_j)/ H_{jmax} ; I = (0,1); j = 1, \dots, n \quad (15)$$

$$W_j=I_j \times P_j \quad (16)$$

$$HDH_{EE}=\Sigma(z/m_i) \times C \times W_j \quad (17)$$

Bu denklemlerde,

a; birincil sınıflandırma yapıldıktan sonra sınıfın kapsadığı alanı

b; verilen sınıfa ait olan heyelanlı alanı

(P_{ij}); olasılık yoğunluğunu

H_j ve H_{jmax}; entropi değerleri ve maksimum entropi değerlerini

S_j; sınıf sayısını , I_j; ilgili katmanın katsayısını
W_j; ilgili katmanın tamamını ifade eden ağırlık değerini
P_j; (j = 1,2,...,n) için heyelan olasılığını, i; ilgili katmanın sınıflarını
z; en fazla sınıf sayısını içeren katmanın sınıf sayısını
m_i; ilgili katmanın sınıf sayısını
C; ikincil sınıflandırma yapıldıktan sonra sınıfın değerini
HDH_{EE}; nihai haritadaki heyelan duyarlılığını ifade eder.

3.7.5.1. Entropi Endeksi Yönteminde Kullanılan Parametreler

EE yöntemi için heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan tüm parametreler ve bu parametrelerden elde edilen veriler Tablo 21’de gösterilmiştir. Bu parametreler şu şekilde incelenmiştir.

Heyelan duyarlılık analizlerinde sıkça kullanılan parametrelerden biri yüksekliktir. İnceleme alanına ait yükseklik verileri 0-2250 m arasında değişim göstermektedir. Yükseklik haritası dokuz sınıfa ayrılmış olup, bu sınıflar 250 m aralıklarla oluşturulmuştur ve her sınıfın heyelan oluşturma potansiyeli ilişkisi değerlendirilmiştir (Şekil 33).

Yamaç eğimi kayma yüzeyinde meydana gelen kayma ve normal gerilmelere etki eden asıl duyarlılık parametresidir. Ayrıca yamaç eğiminin zahmetsiz olarak haritalanabilir özellikte bulunması, eğim açısının heyelan duyarlılık analizlerine çokça tercih edilen bir etken olarak bulunmasının en önemli sebeplerindendir. Üretilen eğim haritası sekiz farklı sınıftan oluşup en düşük eğim derecesi 0, en yüksek eğim derecesi ise 80 olmuştur (Şekil 34).

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde yamaç eğimi gibi yamaç yönelimi de da oldukça önemli bir etkidir. Özellikle yamaç yönelini, toprakta meydana gelen nem tutma miktarı ve arazi örtüsünün gelişimi gibi birçok etkiye neden olmaktadır. Bu nedenle toprak dayanımının belirlenmesi ve heyelan duyarlılığının saptanması konusunda etkisi olduğu belirtilebilir. Üretilen bakı haritası -1 (düz kısım) ve 360 derece aralıklarla on sınıftan meydana gelmektedir ve 22.5 derecelik aralıklarla oluşup toplam dokuz coğrafi yönü belirtmektedir (Şekil 35).

Heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması amacıyla kullanılan parametrelerden biri de yamaç eğriselliğidir. Yamaç eğriselliği; suyun yüzeyinde meydana gelen akış hızını ve böylece sedimentlerin yamaç üzerinde taşınımını etkileyerek, heyelan oluşumu üzerinde

önemli bir rol oynamaktadır. Çalışmada heyelanlar bakımından elverişli alanlar için eğrisellik verileri literatürde özellikle yaygın olarak kullanılan altı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 36).

Litoloji, heyelan oluşumunu etki eden en önemli etkenlerden biridir ve heyelan duyarlılık analizlerinde önemli bir rol oynar. Bunun nedeni birbirinden farklı kaya birimleri, özellikle heyelanlar gibi oldukça etkili jeomorfolojik süreçler bakımından birbirinden farklı duyarlılıklara sahiptir. Meydana gelen jeomorfolojik süreçlerin bir kısmı kaya türüne veya kaya türünü meydana getiren temel birimlerin ayrışma özelliklerine bağlıdır. Litoloji haritası, alüvyon, volkanitler ve sedimanter kayalar, karasal kıvrıntılılar, ayrılmamış kuvaterner çökelleri, kıvrıntılılar ve karbonatlar (Kumtaşı, konglomera, breş, kireçtaşı), volkanitler ve sedimanter kayalar (Üst Kretase) ve granitoidler (bazen Üst Kretase dâhil) olmak üzere sekiz farklı kayaç biriminden meydana gelmektedir (Şekil 37).

Çalışmada kullanılan bir diğer parametre ise drenaj ağlarına uzaklıktır. Bu veri özellikle yamaçların dayanıklılığı açısından oldukça önemli bir etkidir. Akarsular, yamaçları ya da şevleri topuktan aşındırma biçiminde veya yamaçları meydana getiren malzemenin akarsu seviyesine kadar gelen bölümüne suya doymuş yapma veya her iki biçimde de etki ederek dayanıklılığı bozmaktadırlar. Bu çalışmada üretilen drenaj ağlarına uzaklık haritası 0 ile 600 m değerleri arasında toplam sekiz sınıfa ayrılmıştır (Şekil 38).

Heyelan duyarlılık ile ilgili analizlerde topoğrafik nemlilik indeksinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Topoğrafik nemlilik indeksi bir bölgenin içerdiği nem oranını ifade etmektedir. Üretilen topoğrafik nemlilik indeksi haritası için inceleme alanı sekiz sınıfa ayrılmış olup sınıf değerleri 0 ile 24 arasında değişmektedir (Şekil 39).

Heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması amacıyla kullanılan bir diğer parametre de kapalı çöküntülerdir. Kapalı çöküntüler dere çıkışı gözlenmeyen havza formları ile tabanda gerçekleşen çözünabilir malzeme kaybından dolayı meydana gelmektedir. Üretilen kapalı çöküntüler haritasında çalışma alanı altı sınıfa ayrılmış olup sınıf değerleri 0 ile 18 m arasında değişmektedir (Şekil 40).

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla kullanılan parametrelerden biri de bağıl eğim konumudur. Bağıl eğim konumu bir alanın eğim konumunu ayrıca vadi tabanı ile birlikte sırt üstü arasında meydana gelen göreceli konumunu ifade eden sürekli değişkendir. Çalışma alanının bağıl eğim konumu değerlerini gösterir harita 0 ile 1 (°) değerleri arasında beş sınıfa ayrılmıştır (Şekil 41).

Çalışmada kullanılan bir diğer parametre ise vadi derinliğidir. Vadi derinliğini hesaplamak oldukça önemli olup bunun için yükseklik ile bununla ilişkili bir sırt seviyesi arasında meydana gelen fark kullanılmaktadır. Bu nedenle yükseklik ve sırt seviyesi parametreleri vadi derinlinin büyüklüğü için oldukça önemlidir. İnceleme alanının vadi derinliği değerlerini gösterir harita 0 ile 450 m değerleri arasında dokuz sınıfa ayrılmıştır (Şekil 42).

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla kullanılan parametrelerden biri de eğim uzunluğu ve diklik faktörüdür. Bir alanın heyelan duyarlılığı için yapılacak olan çalışmalarda eğim uzunluğu ve diklik faktörü önemli bir etkiye sahiptir. LS faktörü incelendiğinde; S-faktörü, eğim dikliğinin oluşturduğu etkiyi ifade ederken L-faktörü ise eğim uzunluğunun meydana getirdiği etkiyi gösterir. İnceleme alanının eğim uzunluğu ve diklik faktör değerlerini gösterir harita 0 ile 90 m değerleri arasında dokuz sınıfa ayrılmıştır (Şekil 43).

Çalışmada kullanılan parametrelerden biri de yakınsama indeksidir. Yakınsama indeksi, oluşan rölyefin yapısını yakınsak alanlar (kanallar) ve ıraksak alanlar (sırtlar) şeklinde belirten bir arazi parametresidir. Yakınsama indeksi, heyelan duyarlılık analizi için oldukça yararlı bir etkidir. Özellikle tepeler veya drenaj sistemleri ve vadi belirleme aracı tarafından ifade edilen bir parametredir. İnceleme alanının yakınsama indeksi değerlerini gösterir harita sekiz sınıfa ayrılarak üretilmiştir (Şekil 44).

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi için kullanılan parametrelerin sonuncusu ise drenaj ağı temel seviyesidir. Drenaj ağı temel seviyesi, altında yer alan bir akışın içinde bulunduğu kanalını aşındıramayacağı sınırlama seviyesi olarak gösterilir. İnceleme alanının drenaj ağı temel seviyesini gösterir harita 0 ile 2000 m değerleri arasında sekiz sınıfa ayrılmıştır (Şekil 45).

Tablo 21. Entropi endeksi yöntemiyle heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan parametreler ve üretilen veriler

Parametre	Sınıf	Toplam Alandaki Piksel Sayısı	Heyalanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyalanlı Alan %	FR	EE			
						Pij	Ej	1-Ej	Wj (Yüzde)
Eğim (Derece)	0-10	338399	27930	22.652	0.082	0.174	0.132	0.084	0.034
	10-20	523785	47855	38.811	0.091	0.193	0.137		
	20-30	397081	32124	26.053	0.080	0.171	0.131		
	30-40	216656	13647	11.068	0.062	0.133	0.116		
	40-50	25454	1643	1.3325	0.064	0.136	0.118		
	50-60	1116	101	0.0819	0.090	0.191	0.137		
	60-70	112	0	0	0	0	0		
	70-80	8	0	0	0	0	0		
Toplam		1502611	123300		0.4727	1	0.9153	0.266	0.104
SYM (Yükseklik (m))	0-250	368236	27324	22.160	0.074	0.196	0.138		
	250-500	517748	53139	43.097	0.102	0.271	0.153		
	500-750	299509	32562	26.408	0.108	0.288	0.155		
	750-1000	138463	7441	6.0348	0.053	0.142	0.120		
	1000-1250	86161	1849	1.499	0.021	0.056	0.070		
	1250-1500	59007	985	0.798	0.016	0.044	0.059		
	1500-1750	25017	0	0	0	0	0		
	1750-2000	8123	0	0	0	0	0		
	2000-2250	347	0	0	0	0	0		
Toplam		1502611	123300		0.377	1	0.733	0.015	0.006
ASP (Yamaç Yönelimi)	Düz	205931	13647	12.426	0.066	0.082	0.089		
	K	209641	13824	12.588	0.065	0.081	0.088		
	KD	198732	14552	13.251	0.073	0.090	0.094		
	D	120675	8510	7.749	0.0705	0.087	0.092		
	GD	64649	5984	5.449	0.092	0.114	0.107		
	G	59325	8008	7.292	0.134	0.167	0.129		
	GB	106617	13152	11.976	0.123	0.153	0.124		
	B	168161	16729	15.233	0.099	0.123	0.112		
	KB	194065	15412	14.034	0.079	0.098	0.099		
Toplam		1327796	109818		0.805	1	0.984		

Tablo 21' in devamı

Parametre	Sınıf	Toplam Alan Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alan %	FR	Pij	Ej	1-Ej	Wj (Yüzde)
CRV (Eğrisellik) (°)	-40- -30	2	0	0	0	0	0	0.407	0.164
	-30- -20	1	0	0	0	0	0		
	-20- -10	23	1	0.0008	0.043	0.210	0.142		
	-10- 0	92026	76451	62.004	0.083	0.401	0.159		
	0-10	58227	46848	37.995	0.080	0.388	0.159		
	10-20	41	0	0	0	0	0		
Toplam		15026	123300		0.207	1	0.592		
Litoloji	Alüvyon	29094	274	0.222	0.009	0.020	0.034	0.331	0.134
	Volkanitler ve Sedimanter Kayalar	35069	10314	8.361	0.029	0.064	0.076		
	Karasal Kırıntılılar	12024	3108	2.519	0.025	0.930	0.029		
	Ayrılmamış Kuvaterner Çökelleri	61631	8130	6.591	0.131	0.289	0.155		
	Kırıntılılar ve Karbonatlar	76938	11665	9.457	0.151	0.333	0.159		
	Volkanitler ve Sedimanter Kayalar (Üst Kretase)	84110	89856	72.848	0.106	0.234	0.147		
	Granitoyitler	13648	0	0	0	0	0		
	Granitoyid (Bazen Üst Kretase Dahil)	4798	0	0	0	0	0		
	Toplam	14981	123347		0.455	1	0.668		
Yakınsama İndeksi (°)	-100- -75	72	2	0.0016	0.027	0.056	0.070	0.021	0.008
	-75- -50	1407	109	0.088	0.077	0.156	0.126		
	-50- -25	11105	683	0.553	0.061	0.124	0.112		
	-25-0	71678	59968	48.635	0.083	0.169	0.130		
	0-25	76368	62021	50.300	0.081	0.164	0.128		
	25-50	8080	430	0.3487	0.053	0.107	0.104		
	50-75	1331	80	0.0648	0.060	0.121	0.111		
	75-100	141	7	0.0056	0.049	0.100	0.100		
Toplam		15026	123300		0.494	1	0.978		
Kapalı Çöküntüler (m)	0-3	10956	8452	90.891	0.077	0.140	0.119	0.136	0.055
	3-6	5961	582	6.258	0.097	0.178	0.133		
	6-9	1754	115	1.236	0.065	0.119	0.110		
	9-12	784	105	1.129	0.133	0.244	0.149		
	12-15	260	45	0.483	0.173	0.316	0.158		
	15-18	27	0	0	0	0	0		
Toplam		11835	9299		0.547	1	0.863		

Tablo 21' in devamı

Parametre	Sınıf	Toplam Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki %	FR	Pij	Ej	1-Ej	Wj (Yüzde)
Topoğrafik Nemlilik İndeksi	0-3	879	45	0.0365	0.051	0.065	0.077	0.035	0.014
	3-6	926069	68788	55.852	0.074	0.095	0.097		
	6-9	436286	41419	33.630	0.094	0.121	0.111		
	9-12	95809	9599	7.793	0.100	0.128	0.114		
	12-15	28598	2148	1.744	0.075	0.096	0.097		
	15-18	8833	904	0.734	0.102	0.131	0.115		
	18-21	2369	205	0.166	0.086	0.111	0.105		
	21-24	267	52	0.042	0.194	0.249	0.150		
Toplam		1499110	123160		0.779	1	0.964		
Eğim uzunluğu ve diklik faktörü (LS faktörü) (m)	0-10	1253567	107073	86.938	0.085	0.277	0.154	0.371	0.150
	10-20	241738	15799	12.828	0.065	0.212	0.142		
	20-30	3645	278	0.225	0.076	0.247	0.150		
	30-40	124	10	0.008	0.080	0.262	0.152		
	40-50	23	0	0	0	0	0		
	50-60	10	0	0	0	0	0		
	60-70	1	0	0	0	0	0		
	70-80	1	0	0	0	0	0		
	80-90	1	0	0	0	0	0		
Toplam		1499110	123160		0.307	1	0.628		
Drenaj Ağı Temel Seviyesi (m)	0-250	451950	35550	28.832	0.078	0.227	0.146	0.290	0.117
	250-500	514388	50511	40.965	0.098	0.283	0.155		
	500-750	289390	30856	25.025	0.106	0.308	0.157		
	750-1000	109288	4786	3.881	0.043	0.126	0.113		
	1000-1250	85438	1597	1.295	0.018	0.054	0.068		
	1250-1500	41668	0	0	0	0	0		
	1500-1750	10486	0	0	0	0	0		
	1750-2000	3	0	0	0	0	0		
Toplam		1502611	123300		0.345	1	0.709		
Drenaj Ağlarına Uzaklık (m)	0-75	1092691	102723	83.311	0.094	0.460	0.155	0.441	0.178
	75-150	262944	16433	13.327	0.062	0.305	0.157		
	150-225	97444	3915	3.175	0.040	0.196	0.138		
	225-300	30299	229	0.185	0.007	0.037	0.052		
	300-375	12526	0	0	0	0	0		
	375-450	5599	0	0	0	0	0		
	450-525	946	0	0	0	0	0		
	525-600	162	0	0	0	0	0		
Toplam		1502611	123300		0.204	1	0.558		

Tablo 21' in devamı

Parametre	Sınıf	Toplam Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alandaki Piksel Sayısı	Heyelanlı Alan %	FR	Pij	Ej	1-Ej	Wj (Yüzde)
Vadi Derinliği (m)	0-50	897009	67779	54.970	0.075	0.055	0.069	0.126	0.051
	50-100	307752	28272	22.929	0.091	0.066	0.078		
	100-150	151380	15048	12.204	0.099	0.072	0.082		
	150-200	82070	6584	5.339	0.080	0.058	0.072		
	200-250	40667	2638	2.139	0.064	0.047	0.062		
	250-300	15637	1450	1.175	0.092	0.067	0.079		
	300-350	6686	844	0.684	0.126	0.091	0.095		
	350-400	1353	671	0.544	0.495	0.361	0.159		
	400-450	57	14	0.011	0.245	0.178	0.133		
Toplam		1502611	123300		1.372	1	0.873		
Bağıl Eğim Konumu (°)	0-0.2	453087	50578	41.020	0.111	0.275	0.154	0.018	0.007
	0.2-0.4	213750	19689	15.968	0.092	0.227	0.146		
	0.4-0.6	191991	14870	12.060	0.077	0.190	0.137		
	0.6-0.8	210124	14899	12.083	0.070	0.174	0.132		
	0.8-1	433653	23264	18.867	0.053	0.132	0.116		
Toplam		1502605	123300		0.405	1	0.981		

3.7.6. Entropi Endeksi Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

İnceleme alanının heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla entropi endeksi yöntemi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan etkenleri ifade eden haritalar CBS ortamında hazırlandıktan sonra, bu parametreler ile inceleme alanında daha önce gerçekleşmiş olan heyelanlar arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun nedeni ileride meydana gelebilecek olan heyelan olaylarının genellikle aynı özellikleri taşıyacağının düşünülmesidir. Bu nedenle parametrelere ait her bir harita ile heyelan envanter haritası ArcGIS yazılım ortamında birbirleriyle karşılaştırılarak her bir parametrenin her bir alt sınıfına ait olan heyelanlı ve heyelansız piksel sayıları bulunmuştur. Elde edilen bu piksel sayıları EE modeli çerçevesinde değerlendirilerek alt sınıfların her birinin ait olduğu etken sınıfındaki değer payı ve bunun sonucu olarak tüm çalışma alanı incelendiğinde seçilen parametrelerin tümünün ağırlık oranı (etki payı) belirlenmiştir. Son adım olarak, her bir ağırlık oranı ilgili parametreye yansıtılarak çalışma alanına ait heyelan duyarlılık

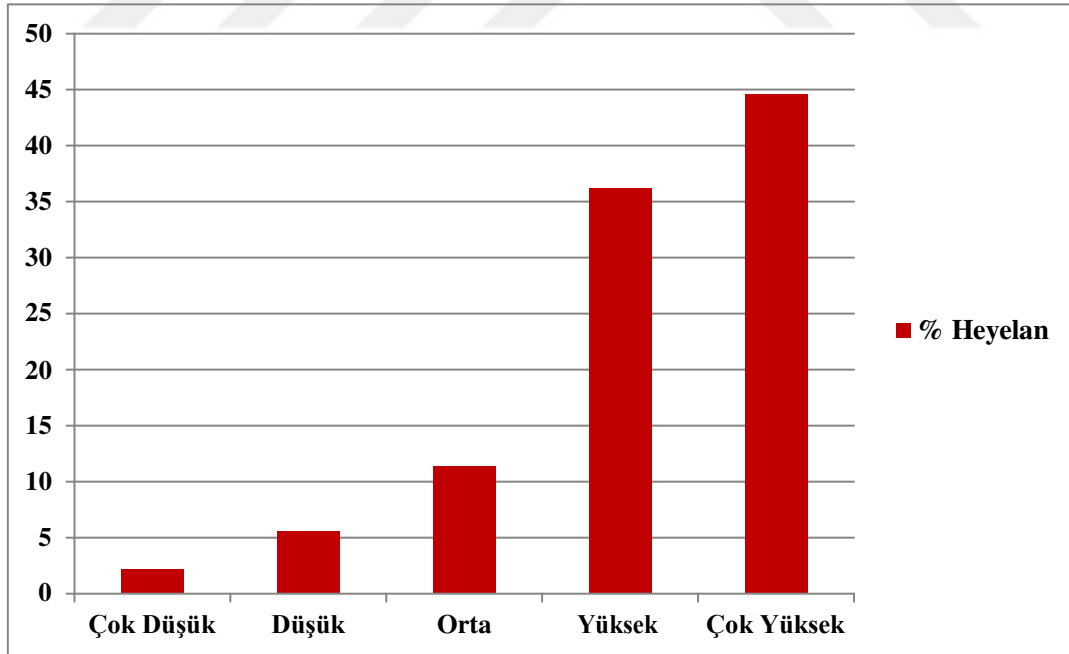
endeksleri belirlenmiş ve nihayetinde Eşitlik 18 uygulanarak heyelan duyarlılık modeli oluşturulmuştur.

$$\text{HDH}_{EE} = \text{Eğim} \times 0.034 + \text{Yükseklik} \times 0.104 + \text{Bakı} \times 0.034 + \text{Eğrisellik} \times 0.164 + \text{Litoloji} \times 0.134 + \text{Yakınsama İndeksi} \times 0.008 + \text{TWI} \times 0.014 + \text{LS faktörü} \times 0.15 + \text{Drenaj ağı temel seviyesi} \times 0.117 + \text{Drenaj ağlarına uzaklık} \times 0.178 + \text{Vadi derinliği} \times 0.051 + \text{Bağıl eğim konumu} \times 0.007 + \text{Kapalı çöküntüler} \times 0.055 \quad (18)$$

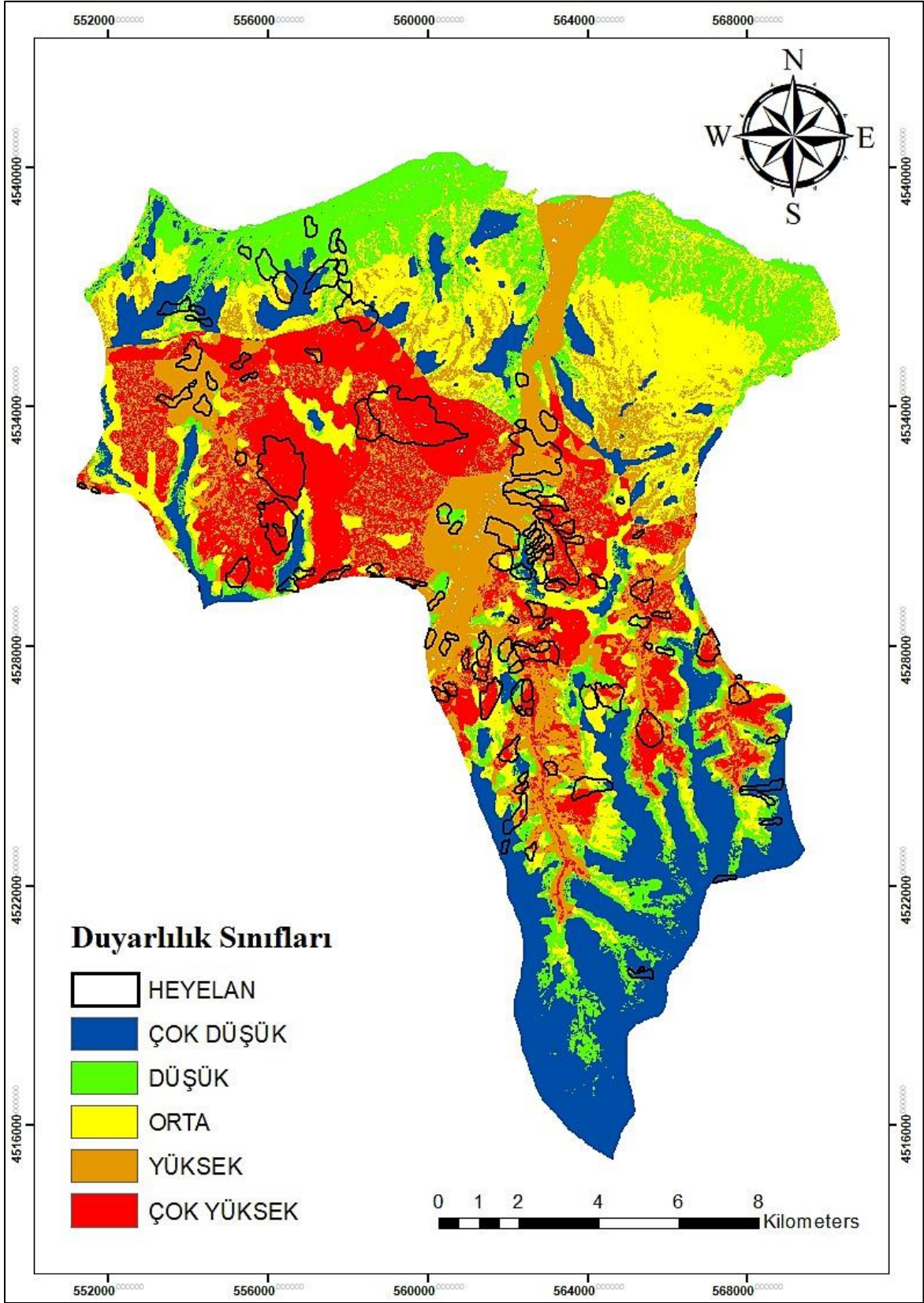
Yukarıda sözü edilen değerlendirmeler sonucunda 1:25.000 ölçekli Trabzon ili, Ortahisar ilçesinin heyelan duyarlılık haritası (Şekil 49) üretilmiş olup; bu haritadaki duyarlılık sınıflarının alansal oran dağılımları; çok düşük %2, düşük %5, orta %11, yüksek %36 ve çok yüksek %44 şeklindedir (Tablo 22 ve Şekil 48).

Tablo 22. EE yöntemiyle elde edilen heyelan duyarlılık sınıflarına ait alansal oran değerleri

Derece	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek	Toplam
% Heyelan	2.22	5.56	11.38	36.19	44.62	100



Şekil 48. EE yöntemine göre heyelan duyarlılık derecelerinin yüzdelik dağılımları

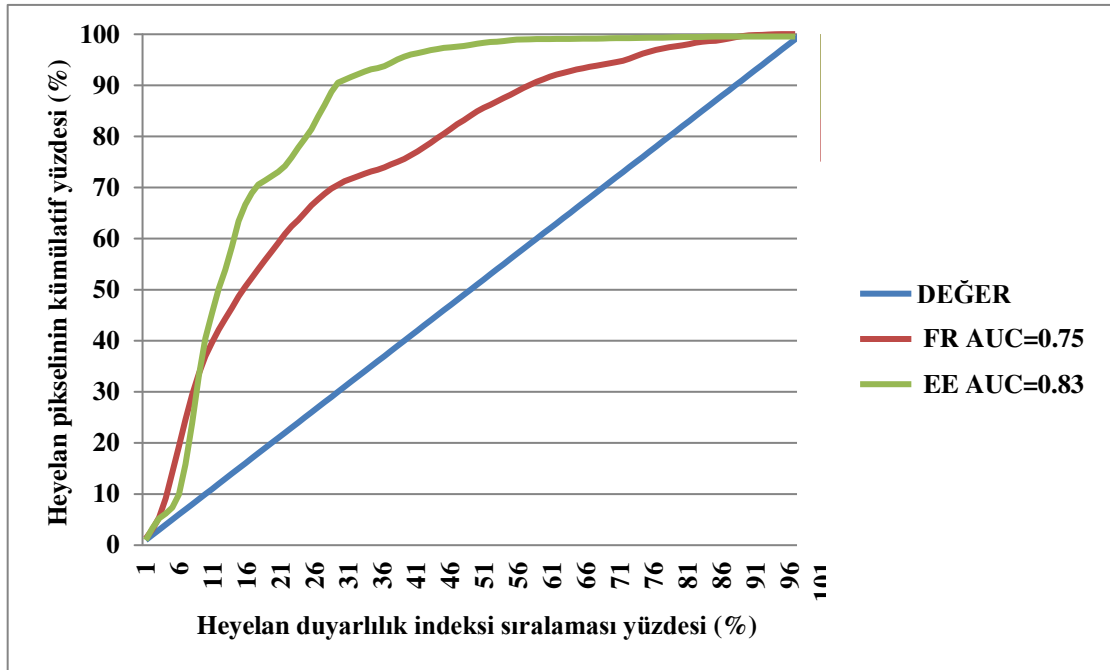


Şekil 49. İnceleme alanının EE yöntemine göre üretilen heyelan duyarlılık haritası

3.7.7. Heyelan Duyarlılık Modellerinin Doğrulanması

İnceleme alanında uygulanan FR ve EE yöntemi ile birlikte heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinden sonra bu haritalar, ROC eğrileri altında kalan alan (AUC) ile karşılaştırılarak çalışmanın doğrulama işlemi yapılmıştır. Burada her bir kestirici değerin göreceli olarak sıralaması, çalışmadaki tüm piksellere ait indeks değerlerinin azalan sırada olacak şekilde düzenlenmesiyle elde edilmiştir. Bu piksel değerleri toplam 100 sınıf içermekte olup, x ekseninde heyelan duyarlılık indeksi sıralaması yüzdesi, y ekseninde ise birikmiş % 1'lik bir aralık ile oluşturulmuş heyelan oluşumunun pikselinin kümülatif yüzdesi işaretlenmiştir (Şekil 50).

Heyelan duyarlılık analizi modellerinin doğrulanmasında AUC değerinin 1 olması, %100 başarıyı ifade ederken, 0.5 (%50) olması ise, bu işlemde elde edilen sonuçların performans bakımından yeterli olmadığı anlamını içermektedir (Fawcett, 2006). İnceleme alanında yapılan analiz sonucunda; FR yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritası için hesaplanan AUC değeri 0.75, EE yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası için hesaplanan AUC değeri ise 0.83 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca göre EE yönteminin performansının FR yöntemine göre daha yüksek sonuç verdiği görülmüştür (Şekil 50).



Şekil 50. Frekans oranı ve entropi indeksi modellerinin kestirim performans grafiği (AUC)

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesinin, Doğu Karadeniz Bölümünde yer alan, Trabzon ili, Ortahisar ilçesi sınırları içinde gözlenen heyelanların alansal olabilirlik karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle alansal büyüklük dağılımının tahmin değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca Trabzon ili, Ortahisar ilçesine ait Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanında yapılan heyelan duyarlılık değerlendirmesinde olasılık konumsal istatistik yöntemlerinden olan frekans oranı yöntemi ile entropi endeksi yöntemleri tercih edilmiş ve elde edilen tüm sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

1. Trabzon ili, Ortahisar ilçesinde meydana gelen heyelanları belirlemek amacıyla arazi çalışmaları yapılmıştır. Yapılan arazi çalışmalarının ilk aşamasında genel jeoloji amaçlı çalışmalar yapılarak inceleme alanında yer alan heyelanlar bazıları gözlemlenmiş ve alanın 1:25.000 ölçekli genel jeoloji haritası MTA Genel Müdürlüğü'nden elde edilerek bu haritadaki birimlerin arazi kontrolleri yapılmıştır.

2. İnceleme alanında alüvyon, Kuvaterner yaşlı ayrılmamış kuvaterner çökelleri, Pliyosen yaşlı karasal kırıntılılar, Orta-Üst Eosen yaşlı volkanitler ve sedimanter kayalar, Eosen yaşlı granitoidler, Paleosen-Eosen yaşlı Granitoid, Üst Kretase-Eosen yaşlı kırıntılılar ve karbonatlar (Kumtaşı, konglomera, breş, kireçtaşı) ve Üst Kretase yaşlı volkanitler ve sedimanter kayalar bulunmaktadır.

3. Sahada gözlenen heyelanların alansal büyüklükleri kullanılarak alansal olabilirlik durumu değerlendirmesi, R istatistiksel yorumlama ortamında çalışan LStat yazılımı ile incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen olasılık yoğunluğunun maksimum olabilirlik grafiği incelendiğinde; DP, DPS ve IG eğrilerinin pik noktasının heyelanların alansal büyüklük olarak en fazla görüldüğü değeri ifade etmektedir. Ayrıca grafik incelendiğinde DP ve DPS yöntemlerinin IG yöntemine göre birbirine çok benzer sonuçlar verdiği görülmekle birlikte en tutarlı sonucun DP modeliyle elde edildiği görülmüştür.

4. Heyelan boyutlu dağılım modellerinden DP, DPS ve IG modellerinde: α parametresi yüksek değerler açısından dağılımın eğimini kontrol eden parametre olup, bu

parametre değerin bir tahmini, standart hata, tahmini hata varyansı ve parametreler arasındaki korelasyonlar açısından DP ve DPS benzer sonuçlar gösterirken IG modelindeki sonuçlar farklıdır. Burada IG modelindeki değer diğer modellerle benzer olmasına karşılık standart hata daha yüksek olup, buna bağlı olarak tahmini hata varyansı daha düşüktür. Ayrıca parametreler arasındaki korelasyonlarda daha düşüktür. DP ve DPS modellerinde; β parametresi düşük değerler bakımından eğimi ve t ise dağılım pozisyonunun maksimum pozisyonu yani rollover değerini kontrol eden etkeni ifade etmekte olup, bu parametreler benzer sonuçlar vermiştir.

DP modeli için DPS' ye karşı iki ek parametreyi gösteren c, minimum boyut değerini, m ise maksimum boyut değerini ifade eder ve alansal olarak boyut değerleri sırasıyla 1350 m² ve 2423843 m² olarak belirlenmiştir. IG modeli için; η , düşük değerler bakımından eğimi ifade etmekte olup, bu parametre DP ve DPS modellerindeki β parametresine denk gelmektedir. Fakat IG modelinde bu parametreye ait değer diğer modellere göre daha düşük değer gösterdiği belirlenmiştir. Burada IG modelindeki standart hata daha yüksek olup, buna bağlı olarak tahmini hata varyansı daha düşüktür. Ayrıca parametreler arasındaki korelasyonlarda daha düşüktür. IG modeli için; λ , dağılım pozisyonunun maksimum pozisyonu, yani rollover değerini ifade etmekte olup, bu parametre DP ve DPS modellerindeki t parametresine denk gelmektedir. Fakat IG modelinde bu parametreye ait değer diğer modellere göre çok daha düşük değer gösterdiği belirlenmiştir. DP, DPS ve IG modelleri için rollover parametresi birbirine benzer sonuçlar göstermiştir. Burada r değeri en fazla meydana gelebilecek heyelan alan boyutunu ifade etmekte olup, 36730 m² ile karşılanmaktadır.

5. İnceleme alanında FR oranı ve EE analizi için yapılan çalışmada toplam on üç farklı parametre kullanılmıştır. Bu parametrelerden kullanılan; yamaç eğimi (slope), yamaç eğriselliği (curvature) ve yamaç yönelimi (aspect) parametre haritaları SYM'den itibaren ArcGIS yazılımı kullanılarak üretilmiştir. Geriye kalan sekiz parametre olan yakınsama indeksi (convergence index), kapalı çöküntüler (closed depressions), topoğrafik nemlilik indeksi (topographic wetness index), eğim uzunluğu ve diklik faktörü (LS Factor), drenaj ağı temel seviyesi (channel network base level), drenaj ağlarına uzaklık (vertical distance to channel network), vadi derinliği (valley depth), bağıl eğim konumu (relative slope position) ise açık kaynak kodlu SAGA CBS yazılımı üzerinden üretilmiştir. Bu parametrelerin dışında olan litoloji haritası MTA Genel Müdürlüğü'nden sağlanmış olup bu harita analizlerde kullanılmıştır.

6. Heyelan duyarlılık değerlendirmesinin yapılması amacıyla kullanılan on üç farklı parametre için: Toğografik yükseklik parametresi incelendiğinde, özellikle 250-500 ve 500-750 m'ler arasında kalan yükseklikler en fazla belirlenen heyelan yükseklikleri olup, en az gözlenebilecek heyelan yükseklik değerleri ise 1500 m üzeri olarak tespit edilmiştir. Yamaç eğimi parametresi incelendiğinde, heyelanların özellikle 10-20 ve 50-60 derece eğim aralığında oldukça yoğunlaştığı ve bu yoğunlaşmanın eğime ait olan frekans dağılım oranlarında da görüldüğü gözlenmiştir. Yamaç yönelimi parametresi incelendiğinde, yapılan analiz sonucunda yamaç yönelimi verisi için heyelanlı piksel sayılarının dağılımına göre Trabzon iline ait tüm yönler için yamaçlarda heyelanların oluştuğu belirlenmiş olup, özellikle bu heyelanların güney ve güneybatı yönlerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Eğrisellik parametresi incelendiğinde, heyelanların özellikle -10-0 değer aralıklı dışbükey ve 0-10 değer aralıklı içbükey yamaçlarda yoğunlaştığı belirlenmiştir. Litoloji parametresi incelendiğinde, heyelanların volkanitler ve sedimanter kayalar, kırıntılılar ve karbonatlar (Kumtaşı, konglomera, breş, kireçtaşı) ile ayrılmamış kuvaterner çökelleri birimlerinin bulunduğu alanlarda yoğunlaştığı belirlenmiştir. Ayrıca kırıntılılar ve karbonatlara karşılık gelen birimlerde ve bu birimlerin ayrışması sonucunda oluşan rezidüel zeminlerde heyelanların meydana geldiği belirlenmiştir. Özellikle inceleme alanının meteorolojik ve topoğrafik özellikleri meydana gelen heyelanların gelişmesinde son derece önemlidir. Drenaj ağlarına uzaklık parametresi incelendiğinde, heyelan yoğunluğunun 0-75 m aralığında en fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 300 m den daha yüksek olarak belirtilen değerlerde herhangi bir heyelan yoğunluğu gözlenmemiştir. Topoğrafik nemlilik indeksi parametresi incelendiğinde, 21 ile 24 TWI değer aralığında, her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun giderek arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık 0 ile 3 TWI değer aralığında ise en düşük heyelan yoğunluğu olduğu belirlenmiştir. Kapalı çöküntüler parametresi incelendiğinde, 12 ile 15 m değer aralığında, her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun giderek arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık diğer değer aralığında ise heyelan yoğunluklarının giderek azaldığı belirtilmiştir. Bağlı eğim konumu parametresi incelendiğinde, 0 ile 0.2 (°) değer aralığında, her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun giderek arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık 0.8 ile 1 (°) değer aralığında ise en düşük heyelan yoğunluğu olduğu belirlenmiştir. Vadi derinliği parametresi incelendiğinde, 350 ile 400 m değer aralığında, her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun giderek arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık diğer değer aralıklarında ise heyelan yoğunluklarının giderek azaldığı belirlenmiştir. LS faktörü parametresi incelendiğinde, 0 ile 10 m değer

aralığında, her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun giderek arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık diğer değer aralıklarında ise heyelan yoğunluklarının giderek azaldığı belirlenmiştir. Yakınsama indeksi parametresi incelendiğinde, -25-0 ile 0-25 (°) değer aralığında, her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun giderek arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık diğer değer aralıklarında heyelan yoğunluklarının en düşük olduğu belirlenmiştir. Drenaj ağı temel seviyesi parametresi incelendiğinde, 250-500 m ve 500-750 m değer aralığında, her bir değer artışında heyelan yoğunluğunun giderek arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık 1250 m den büyük değerlerde ise heyelan yoğunluklarının gözlenmediği belirlenmiştir.

7. İnceleme alanının FR oranı yöntemiyle heyelan duyarlılık değerlendirmesi sonucunda 1:25.000 ölçekli Trabzon ili, Ortahisar ilçesinin heyelan duyarlılık haritası üretilmiş olup; bu haritadaki duyarlılık sınıflarının alansal oran dağılımları; çok düşük %3, düşük %8, orta %15, yüksek %31 ve çok yüksek %41 şeklindedir.

8. İnceleme alanının EE yöntemiyle heyelan duyarlılık değerlendirmesi sonucunda 1:25.000 ölçekli Trabzon ili, Ortahisar ilçesinin heyelan duyarlılık haritası üretilmiş olup; bu haritadaki duyarlılık sınıflarının alansal oran dağılımları; çok düşük %2, düşük %5, orta %11, yüksek %36 ve çok yüksek %44 şeklindedir.

9. İnceleme alanında uygulanan FR ve EE yöntemi ile birlikte heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinden sonra bu haritalar, AUC doğrulama yöntemi ile karşılaştırılarak çalışmanın doğrulama işlemi yapılmıştır. İnceleme alanında yapılan analiz sonucunda; FR yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritası için hesaplanan AUC değeri 0.75, EE yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası için hesaplanan AUC değeri ise 0,83 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre EE yönteminin performansının FR yöntemine göre daha yüksek sonuç verdiği görülmüştür.

5. KAYNAKLAR

- Afet İşleri Genel Müdürlüğü. 2001, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Eğitim-Haber-Bilim Dergisi, 1.
- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akgün, A. and Bulut, F., 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. Environmental Geology, 51, 1377-1387.
- Akgun, A., Dag, S. and Bulut, F., 2008. Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. Environmental Geology, 54, 6, 1127-1143.
- Anbalagan, R., 1992. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. Engineering geology, 32, 4, 269-277.
- Ardizzone, F., Fiorucci, F., Santangelo, M., Cardinali, M., Mondini, A., C., Rossi, M. and Guzzetti, F., 2013. Very-high resolution stereoscopic satellite images for landslide mapping. In Landslide Science and Practice, 95-101.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H. and Kanno, T., 2005. Landslide in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparison of results from two methods and verifications. Engineering Geology, 81, 432-445.
- Ayalew, L. and Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology, 65, 1-2, 15-31.
- Ayalew, L., Yamagishi, H. and Ugawa, N., 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. Landslides, 1, 1, 73-81.
- Baeza, C. and Corominas, J., 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group, 26, 12, 1251-1263.
- Bayazıt, M., 1982. "Hidroloji", İ.T.Ü. kütüphanesi, 1229, Üçüncü baskı, Teknik Üniversite matbaası, İstanbul.
- Baykal, E., 1952. Kelkit-Şiran bölgesinde jeolojik araştırmalar, M.T.A., 2205, Ankara.
- Bayrak, T. ve Ulukavak, M., 2009. Trabzon heyelanları. Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1, 2, 20-30.

- Bednarik, M., Magulová, B., Matys, M. and Marschalko, M., 2010. Landslide susceptibility assessment of the Kral'ovany-Liptovský Mikuláš railway case study. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 35, 3-5, 162-171.
- Bektaş, O., Şen, C., Atici, Y. and Köprübaşı, N., 1999. Migration of the Upper Cretaceous subduction- related volcanism towards the back- arc basin of the eastern Pontide magmatic arc (NE Turkey). *Geological Journal*, 34, 1- 2, 95-106.
- Bektaş, O., Yılmaz, C., Taslı, K., Akdağ, K. ve Özgür, S., 1995. Cretaceous rifting of the eastern Pontide carbonate platform (NE Turkey): The formation of carbonate breccias and turbidites as evidence of a drowned platform. *Giornale di Geologia*, 57, 1-2, 233-244.
- Beven, K., J. and Kirkby, M., J., 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Journal*, 24, 1, 43-69.
- Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M., C. and Vlaicu, M., 2011. Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). *Environmental earth sciences*, 63, 2, 397-406.
- Cruden, D., M. and Varnes, D., J., 1996. Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3-Landslide types and processes. *Transportation research board special report*, 247.
- Dağ, S., 2007. Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi, Doktora Tezi, KTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 241.
- Dağ, S., Bulut, F., Alemdağ, S ve Kaya, A., 2011. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntem ve parametrelere ilişkin genel bir değerlendirme. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1, 2, 151-176.
- Dai, F., C., Lee, C., F. and Ngai, Y., Y., 2002. Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering geology*, 64, 1 , 65-87.
- Dai, F., C. and Lee, C., F., 2001. Terrain-Based Mapping of Landslide Susceptibility Using a Geographical Information System: A Case Study, Can. *Geotech. J.*, 38, 911-923.
- Donati, L. and Turrini, M., C., 2002. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). *Engineering Geology*, 63, 3-4, 277-289.
- Duman, T., Y., Çan, T. ve Emre, Ö., 2011. 1/1.500.000 Türkiye Heyelan Envanteri Haritası. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi*, 27.
- Erçikdi, B., Cihangir, F. ve Kesimal, A., 2006. Düzlemsel kaymanın olduğu bir kireçtaşı ocağında güvenlik katsayılarının belirlenmesi: örnek bir uygulama. *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, 19, 2, 121-129.

- Erener, A. and Düzgün, H., S., B., 2010. Improvement of statistical landslide susceptibility mapping by using spatial and global regression methods in the case of More and Romsdal (Norway). Landslides, 7, 1, 55-68.
- Ersoy, H., Bulut, F., Ersoy, A., F. and Berkün, M., 2008. Municipal solid waste management and practices in coastal cities of the Eastern Black Sea: a case study of Trabzon City, NE Turkey. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67, 3, 321-333.
- Fawcett, T., 2006. An introduction to ROC analysis. Pattern recognition letters, 27, 8, 861-874.
- Fazal, S., 2008. GIS Basics. New Age International, New Delhi.
- Fidan, S. ve Görüm, T., 2020. Türkiye’de ölümcül heyelanların dağılım karakteristikleri ve ulusal ölçekte öncelikli alanların belirlenmesi. Türk Coğrafya Dergisi, 74, 123-134.
- Fiorucci, F., Cardinali, M., Carlà, R., Rossi, M., Mondini, A. C., Santurri, L. and Guzzetti, F., 2011. Seasonal landslide mapping and estimation of landslide mobilization rates using aerial and satellite images. Geomorphology, 129, 1, 59-70.
- Gedikoğlu, A., Pelin, S. and Özsayar, T., 1979. The main lines of geotectonic development of East Pontids in the Mesozoic era. In Geogome-l. Geological congress of the Middle East, 1, 555-580.
- Goldman, S., J. and Jackson, K., E., 1986. Erosion and sediment control handbook.
- Gomez, H. and Kavzoglu, T., 2005. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. Engineering Geology, 78, 1-2, 11-27.
- Gökçeoğlu, C. and Aksoy, H., 1996. Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. Engineering Geology, 44, 1-4, 147-161.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Nefeslioglu, H., A., Duman, T., Y. and Can, T., 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslidesusceptibility map of its near vicinity. Engineering Geology, 81, 65-83.
- Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M., 2001. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. Yerbilimleri, 22, 23, 189-206.
- Gupta, R., P. and Joshi, B., C., 1990. Landslide Hazard Zoning Using the GIS Approach-A Case Study From the Ramganga Catchment, Himalayas, Engineering Geology, 28, 119-131.
- Guzzetti, F., Ardizzone, F., Cardinali, M., Rossi, M. and Valigi, D., 2009. Landslide volumes and landslide mobilization rates in Umbria, central Italy. Earth and Planetary Science Letters, 279, 3-4, 222-229.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. and Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. Geomorphology, 31, 1-4, 181-216.

- Guzzetti, F., Mondini, A., C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M. and Chang, K., T., 2012. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. Earth-Science Reviews, 112, 1, 42-66.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M. and Ardizzone, F., 2005. Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale. Geomorphology, 72, 1, 272-299.
- Güven, I., H., 1993. Geological and Metallogenic Map of the Eastern Black Sea Region; 1: 250.000 Map. M.T.A., Trabzon.
- Güven, İ., H., Nalbantoğlu, A., K. ve Takaoğlu, S., 1998. 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Harita Serisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını.
- Hutchinson, J., N., 1988. General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. In International symposium on landslides, 5, 3-35.
- Karayolları Genel Müdürlüğü. 2015, Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu.
- Ketin, İ., 1951. Bayburt Bölgesi Jeolojisi, İ.Ü. Fen Fak. Mecm., seri B, 16, 2, 113-127.
- Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, MTA Dergisi, 66, 20-44.
- Koukis, G. and Ziourkas, C., 1991. Slope instability phenomena in Greece: a statistical analysis. Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, 43, 1, 47-60.
- Kul, B. ve Ersoy, H., 2011. Yeşilyurt (Trabzon) Heyelanının Mühendislik Jeolojisi Özelliklerinin İncelenmesi, 64. Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı, 83-84, Ankara.
- Lee, S. and Dan, N., T., 2005. Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: Focus on the relationship between tectonic fractures and landslides. Environmental Geology, 48, 6, 778-787.
- Lee, S. and Pradhan, B., 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. Landslides, 4, 1, 33-41.
- Lee, S. and Sambath, T., 2006. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. Environmental Geology, 50, 6, 847-855.
- Lee, S. and Talib, J., A., 2005. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. Environmental Geology, 47, 982-990.
- Lee, S. and Min, K., 2001. Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yongin, Korea. Environmental Geology, 40, 1095-1113.
- Leroi, E., 1996. Landslide hazard-risk maps at different scales: objectives, tools and developments. In Landslides, 35-51.

- Luzi, L. and Pergalani, F., 1999. Slope instability in static and dynamic conditions for urban planning: the 'Oltre Po Pavese' case history (Regione Lombardia-Italy). Natural hazards, 20, 57-82.
- Malamud, B., D., Turcotte, D. L., Guzzetti, F. and Reichenbach, P., 2004. Landslide inventories and their statistical properties. Earth Surface Processes and Landforms, 29, 6, 687-711.
- Mitchell, J., K. and Bubenzer, G., D., 1980. Soil loss estimation. In 'Soil erosion' (Eds MJ Kirkby, RPC Morgan), 17-61.
- Moore, L., D., Grayson, R., B. and Ladson, A., R., 1991. Digital terrain modelling: review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydrological Processes, 5, 3-30.
- Nagarajan, R., Roy, A., Kumar, R., V., Mukherjee, A. and Khire, M., V., 2000. Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 58, 4, 275-287.
- Önalp, A., Tarhan, F., Sevinç, N., 1987. Doğu Karadeniz Heyelanları Analizi, Dengeli Yamaç Tasarımı. TUBİTAK, MAG, 585.
- Önalp, A., 1980, Doğu Karadeniz Heyelanları: Tanımlanması-Analizi, Araştırma Raporu, TUBİTAK, M, 441.
- Öztürk, K., 2002. Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22, 1.
- Pachauri, A., K. and Pant, M., 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes. Engineering geology, 32, 1-2, 81-100.
- Reis, S., 2003. Çevresel Planlamalara Altlık Bir Coğrafi Bilgi Sistemi Tasarımı ve Uygulaması: Trabzon İl Bilgi Sistemi (TİBİS) Modeli, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Rossi, M. and Malamud B., D., 2014. Prototype software for determination of landslide statistics from inventory maps (LStats). Landslide modelling and tools for vulnerability assessment preparedness and recovery management (LAMPRE). In: Seventh framework programme collaborative project, WP 5. Research and tools for triggered event landslide mapping, 19.
- Shannon, C., E., 1948. A mathematical theory of communication. The Bell system technical journal, 27, 3, 379-423.
- Stark, C., P. and Hovius, N., 2001. The characterization of landslide size distributions. Geophysical Research Letters, 28, 6, 1091-1094.
- Tarhan, F., 1991. Doğu Karadeniz Heyelanlarına Genel Bir Bakış, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 38-64.

- Temesgen, B., Mohammed, M., U. and Korme, T., 2001. Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogenet area, Ethiopia. Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial and Planetary Science, 26, 9, 665-675.
- UNISDR 20, Terminology on Disaster Risk Reduction, UNISDR, Geneva, 2009.
- URL-1, www.google.com/intl/tr/earth/ 29 Ocak 2021.
- URL-2, www.deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi 1 Ocak 2019.
- URL-3, www.cdn-acikogretim.istanbul.edu.tr/auzefcontent/20_21_Guz/coğrafi_bilgi_sistemleri/2/index.html 1 Eylül 2020.
- URL-4, www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=TRABZON 9 Aralık 2020.
- URL-5, www.R-project.org. 31 Aralık 2014.
- URL-6, www.land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018 1 Ocak 2018.
- URL-7, www.asf.alaska.edu/ 1 Ocak 2020.
- Van Westen, C., J. and Alzate Bonilla, J., B., 1990. Mountain hazard analysis using a PC-based GIS. In International congress international association of engineering geology, 6, 265-271.
- Varnes, D., J., 1978. Slope movement types and processes. Special report, 176, 11-33.
- Varnes, D., J., 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice.
- Vlcko, J., Wagner, P. and Rychlikova, Z., 1980. Evaluation of regional slope stability. Mineralia Slovaca, 12, 3, 275-283.
- Wicander, R. and Monroe, J., 2005. Essentials of geology.
- Wilson, W., H., Bryant, G., Bates, S., Fojo, A., Wittes, R., E., Steinberg, S., M. and Cheson, B., D., 1993. EPOCH chemotherapy: toxicity and efficacy in relapsed and refractory non-Hodgkin's lymphoma. Journal of Clinical Oncology, 11, 8, 1573-1582.
- Wischmeier, W., H. and Smith, D., D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning, 537.
- Yang, Z. and Qiao, J., 2010, Regional landslide zonation based on entropy method in Three Gorges area, China. Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 3, 1336-1339.
- Yılmaz, B., S., 1995. Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanlarının Genel Özellikleri, Nedenleri ve Önlenme Yolları, M.T.A. Raporu, Ankara.

- 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). Computers and Geosciences, 35, 6, 1125-1138.
- Yomralioğlu, T., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar, Birinci Baskı, Seçil Ofset, İstanbul.
- Yufeng, S. and Fengxiang, J., 2009, Landslide stability analysis based on generalized information entropy. In 2009 international conference on environmental science and information application technology, 2, 83-85.



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve ortaokulu Akçaabat Mevlüt Selami Yardım İlköğretim Okulu'nda, liseyi Akçaabat Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Fakültesi, Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine başladı. 2011 yılında okuduğu bölümden ayrılarak Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimine devam etti. 2015 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden bölüm 1.'si ve onur öğrencisi olarak mezun oldu. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisansa başladı. Yazar Trabzonlu olup, iyi derecede İngilizce bilmektedir.