

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI

**ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ (AHS) YÖNTEMİ İLE EZİNE ÇAYI
HAVZASI'NIN (BOZKURT-KASTAMONU) HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YASEMİN ŞENGÜR

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. LEVENT UNCU

BİLECİK, 2025

10732222

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI

**ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ (AHS) YÖNTEMİ İLE EZİNE ÇAYI
HAVZASI'NIN (BOZKURT-KASTAMONU) HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YASEMİN ŞENGÜR

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. LEVENT UNCU

BİLECİK, 2025

10732222

BEYAN

“Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi İle Ezine Çayı Havzası’nın (Bozkurt-Kastamonu) Heyelan Duyarlılık Analizi” adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	X
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:		/...	

Yasemin ŞENGÜR

.....

Tarih

.....

İmza

.....

ÖN SÖZ

“Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi ile Ezine Çayı Havzası’nın (Bozkurt-Kastamonu) Heyelan Duyarlılık Analizi” adlı bu çalışma Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tez çalışması olarak bilimsel yazına sunulmuştur. Çalışmanın amacı Ezine Çayı Havzası’nın heyelan duyarlılık haritasını üretmek, üretilen haritada heyelana duyarlı alanları tespit etmek ve gelecekte yapılacak olan planlama çalışmalarına rehber olma niteliği taşıması amacıyla hazırlanmıştır.

11 Ağustos 2021’e kadar Ezine Çayı Havzası ile ilgili herhangi bir çalışma bulunmaması ve bu tarihte Bozkurt (Kastamonu) ilçesi Ezine Çayı Havzası’nda yaşanan sel ve taşkın afetinden sonra farklı yöntemlerle yapılmış taşkın analizleri ve beşerî konularda yayınlar bulunmaktadır. Yaşanan bu felaketle ilgili yapılmış yayınların yanı sıra heyelan duyarlılığıyla ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Dolayısıyla sel-taşkın afetinin yanında heyelan duyarlılığının da bilinmesi gerektiğini düşünerek bu konuda çalışılması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında çalışmamı ve süreci takip eden bilgi, deneyim ve tecrübeleriyle katkı sunan, ilgi ve desteğini esirgemeyen aynı zamanda her daim duruşuyla, vizyonuyla kendisini örnek aldığım sevgili danışmanım Doç. Dr. Levent UNCU’ya saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca lisans ve lisansüstü eğitim hayatım boyunca bilgi, öneri, destek ve tecrübeleriyle emek veren Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Coğrafya Bölümü diğer saygıdeğer öğretim üyelerine teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Bu günlere gelmemde her türlü fedakarlığı gösteren, hayatımın her döneminde her türlü maddi ve manevi desteğini esirgemeyen, attığım her adıma ve verdiğim her karara saygı duyan ve destekleyen, her konuda en doğrusunu ve güzelini temenni eden, hayatımın en değerli yerinde olan ve hakkını asla ödeyemeyeceğim “Sevgili Anneme” hayatım boyunca minnettarım ve teşekkürlerimi borç bilirim.

Yasemin ŞENGÜR

2025

ÖZET

ANALİTİK HİYERARŞİ SÜRECİ (AHS) YÖNTEMİ İLE EZİNE ÇAYI HAVZASI'NIN (BOZKURT-KASTAMONU) HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

Heyelanlar, yer çekimi (gravite) ve yamaç eğiminin etkisiyle gerçekleşen, insanların kontrolü dışında oluşan sonucunda can ve mal kaybına neden olan bir doğal afettir. Türkiye'nin fiziki yapısından kaynaklı nedenler (jeolojik ve jeomorfolojik yapısı, iklimi, bitki örtüsü, hidrolojik yapısı, toprak özellikleri) dikkate alındığında heyelan duyarlılığı yüksek alanlara sahip olmakla birlikte birçok bölgede heyelan yaşanmaktadır. Özellikle Karadeniz Bölgesinde heyelanlar sıklıkla yaşanmaktadır. Bu çalışmada Karadeniz Bölgesinin Batı Karadeniz Bölümünde yer alan Kastamonu ili Bozkurt ilçesi Ezine Çayı Havzası'na ait 375,54304741 km²'lik alanda Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yöntemi ile heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu duyarlılık analizinde 12 parametre (eğim, yükselti, yağış, bakı, litoloji, toprak, NDVI, eğrisellik, arazi kullanım, akarsulara mesafe, fay hatlarına mesafe ve yola mesafe) belirlenmiştir. Belirlenen parametreler arasında ve alt kriterler arasında karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. Her bir parametrenin ve alt sınıflarının ağırlıkları hesaplanarak AHS gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan bu ağırlık değerleri ilgili vektör format şeklinde girdi haritalarına ve alt sınıflarına atanmıştır. Daha sonra haritalar raster formata çevrilip, analize hazır duruma getirilmiştir. Ardından parametre ağırlıkları atanan haritalar toplanarak heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuş ve çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük duyarlı alanlar olmak üzere 5 grup altında sınıflandırılmıştır. Bölgedeki heyelanların oluşumunda en etkin parametrelerin litoloji, eğim ve eğrisellik olduğu tespit edilmiştir. Yapılan analiz sonucunda çalışma alanının %14,18'lik bir bölümüne tekabül eden 5263,20 ha'lık alanda çok düşük, %26,69'una tekabül eden 9907,11 ha'lık alanda düşük, %26,11'ine tekabül eden 9691,38 ha'lık alanda orta, %22,30'una karşılık gelen 8275,23 ha'lık alanda yüksek ve %10,72'sine tekabül eden 3977,46 ha'lık alanda çok yüksek heyelan duyarlılığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla Ezine Çayı Havzası'nda heyelan oluşma potansiyelinin yüksek (%22,30) ve çok yüksek (%10,72) oranların toplamında havzanın %33.02'lik heyelan tehlikesi altında olduğu tespit edilmiştir. Ulaşılan sonuçların yerel yöneticilerle, valilikler ve ilgili kamu kurum ve kuruluşlarla paylaşılması ile afetin gerçekleşmeden önce bölgede alınacak önlemlerle heyelanların etkisinin en aza indirgenebilmesine yarar sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Bozkurt, Ezine Çayı Havzası, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS), Heyelan, Duyarlılık Analizi.

ABSTRACT

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS OF EZINE STREAM BASIN (BOZKURT-KASTAMONU) WITH ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) METHOD

Landslides are natural disasters that occur under the influence of gravity and slope, and are out of human control and cause loss of life and property. Considering the reasons originating from the physical structure of Turkey (geological and geomorphological structure, climate, vegetation, hydrological structure, soil properties), landslides occur in many regions, although there are areas with high landslide susceptibility. Landslides are especially frequent in the Black Sea Region. In this study, landslide susceptibility analysis was conducted in the 375.54304741 km² area of the Ezine Stream Basin in the Bozkurt district of Kastamonu province, located in the Western Black Sea Section of the Black Sea Region, using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. In this sensitivity analysis, 12 parameters (slope, elevation, precipitation, aspect, lithology, soil, NDVI, curvature, land use, distance to streams, distance to fault lines and distance to roads) were determined. Comparison matrices were created between the determined parameters and sub-criteria. AHP was performed by calculating the weights of each parameter and its subclasses. These calculated weight values were assigned to the input maps and their subclasses in the relevant vector format. Then, the maps were converted to raster format and made ready for analysis. Then, the maps with parameter weights were collected and a landslide susceptibility map was created and classified into 5 groups as very high, high, medium, low and very low sensitive areas. It was determined that the most effective parameters in the formation of landslides in the region were lithology, slope and curvature. As a result of the analysis, very low landslide susceptibility was determined in 5263.20 ha area corresponding to 14.18% of the study area, low in 9907.11 ha area corresponding to 26.69%, medium in 9691.38 ha area corresponding to 26.11%, high in 8275.23 ha area corresponding to 22.30% and very high in 3977.46 ha area corresponding to 10.72%. Therefore, it was determined that the total of the landslide potential in the Ezine Stream Basin is under 33.02% landslide danger with high (22.30%) and very high (10.72%) rates. Sharing the results with local administrators, governorships and relevant public institutions and organizations will help minimize the impact of landslides by taking precautions in the region before the disaster occurs.

Keywords: Bozkurt, Ezine Stream Basin, Analytical Hierarchy Process (AHP), Landslide, Sensitivity Analysis.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	xi

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1. Giriş.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	4
1.2. Çalışmanın Problemi ve Araştırma Soruları	4
1.3. Tezin Önemi	5
1.4. Araştırma Sahasının Yeri ve Sınırları	5
1.5. Literatür Değerlendirmesi	7

İKİNCİ BÖLÜM

KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2. Kavramsal Çerçeve	14
2.1. Afet ve Afet Türleri.....	14
2.2. Afet Riski	15
2.3. Kütle Hareketleri	16
2.4. Heyelan Kavramı ve Sınıflandırılması	17
2.4.1. Hareketin Tipine Göre Heyelan Türleri	19
2.4.1.1. Düşme.....	19

2.4.1.2. Devrilme	20
2.4.1.3. Kayma	20
2.4.1.3.1. Düzlemsel (Ötelenmeli) Kayma	21
2.4.1.3.2. Dönel (Dairesel) Kayma.....	21
2.4.1.4. Yayılma	22
2.4.1.5. Akma	22
2.4.1.6. Karışık	23
2.5. Heyelan Duyarlılık	23

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3. Materyal ve Yöntem.....	25
3.1. Materyal.....	26
3.2. Yöntem	27
3.2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi	27
3.2.1.1. Problemin Tanımı ve Hiyerarşik Yapının Oluşturulması.....	28
3.2.1.2. İkili Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması	29
3.2.1.3. Parametrelerin Önem Ağırlıklarının Belirlenmesi	31
3.2.1.4. Tutarlılık İndeksinin ve Tutarlılık Oranının Hesaplanması	32

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR

4. Bulgular ve Tartışma.....	35
4.1. Ezine Çayı Havzası'nda Heyelana Neden Olan Faktörler	35
4.1.1. Yükselti	35
4.1.2. Eğim	37
4.1.3. Bakı (Eğim Yönü)	38
4.1.4. Yağış.....	40

4.1.5. Litoloji	42
4.1.6. Eğrisellik (Eğim Şekli)	44
4.1.7. Arazi Kullanımı	46
4.1.8. Toprak	47
4.1.9. Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)	49
4.1.10. Fay Hattına Mesafe	51
4.1.11. Akarsulara Mesafe	53
4.1.12. Yola Mesafe	55

BEŞİNCİ BÖLÜM

HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

5. Heyelan Duyarlılık Analizi	57
5.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi	57

ALTINCI BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

6. SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKÇA	70

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Dünyada Gözlenen Afet Türleri	15
Tablo 2.2. Hareketin Tipi ve Malzemenin Türüne Göre Heyelanların Sınıflandırılması.....	18
Tablo 3.1. Çalışmada Kullanılan Veriler, Veri Kaynakları ve Üretilen Parametreler.....	26
Tablo 3.2. AHS Yönteminde Kullanılan İkili Karşılaştırma Ölçeği	30
Tablo 3.3. Karşılaştırma Matrislerinde Rastgelelik İndeksi	33
Tablo 4.1. Yükselti İçin Alan ve Oran Değerleri	36
Tablo 4.2. Eğim İçin Alan ve Oran Değerleri	38
Tablo 4.3. Bakı İçin Alan ve Oran Değerleri	40
Tablo 4.4. Yağış İçin Alan ve Oran Değerleri.....	42
Tablo 4.5. Litoloji İçin Alan ve Oran Değerleri	43
Tablo 4.6. Eğrisellik İçin Alan ve Oran Değerleri	45
Tablo 4.7. Arazi Kullanımı İçin Alan ve Oran Değerleri	47
Tablo 4.8. Toprak İçin Alan ve Oran Değerleri	48
Tablo 4.9. Fay Hattına Mesafe İçin Alan ve Oran Değerleri	52
Tablo 4.10. Akarsulara Mesafe İçin Alan ve Oran Değerleri.....	54
Tablo 4.11. Yola Mesafe İçin Alan ve Oran Değerleri	55
Tablo 5.1. Yükselti Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri..	57
Tablo 5.2. Eğim Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri.....	58
Tablo 5.3. Bakı Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri.....	58
Tablo 5.4. Yağış Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri	59
Tablo 5.5. Litoloji Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri ...	59
Tablo 5.6. Eğrisellik Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri	59
Tablo 5.7. Arazi Kullanımı Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri.....	60

Tablo 5.8. Toprak Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri....	60
Tablo 5.9. NDVI Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri	61
Tablo 5.10. Faya Mesafe Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri.....	61
Tablo 5.11. Akarsuya Mesafe Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri.....	62
Tablo 5.12. Yola Mesafe Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri.....	62
Tablo 5.13. AHS’de Kullanılan Parametrelerin İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri.....	63
Tablo 5.14. Heyelan Duyarlılık Sınıflarının Alansal ve Oransal Dağılımları	64

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Türkiye’de 2000-2023 Yılları Arasında Meydana Gelen Heyelan Afetlerinin Yıllara Göre Dağılımı.....	3
Şekil 1.2. Çalışma Alanının Lokasyon Haritası	6
Şekil 1.3. Ezine Çayı Havzası’nın Uydu Görüntüsü.....	7
Şekil 2.1. Varnes’in Hareket Tipi ve Malzemenin Cinsine Göre Heyelanların Görünümü	19
Şekil 2.2. Düşme Tipi Heyelan	20
Şekil 2.3. Devrilme Tipi Heyelan	20
Şekil 2.4. Düzlemsel (Ötelenmeli) Kayma	21
Şekil 2.5. Dönel (Dairesel) Kayma	21
Şekil 2.6. Yayılma Tipi Heyelan.....	22
Şekil 2.7. Kaya Akması.....	22
Şekil 2.8. Toprak/Zemin Akması.....	23
Şekil 2.9. Karışık Tip Heyelanlar.....	23
Şekil 3.1. Üç Aşamalı AHS Modeli	29
Şekil 4.1. Ezine Çayı Havzası’nın Yükselti Haritası	36
Şekil 4.2. Ezine Çayı Havzası’nın Eğim Haritası	38
Şekil 4.3. Ezine Çayı Havzası’nın Bakı Haritası	40
Şekil 4.4. 1991-2021 Yılları Arası Kastamonu/Bozkurt Ortalama Sıcaklık ve Yağış Grafiği	41
Şekil 4.5. Ezine Çayı Havzası’nın Yağış Haritası	42
Şekil 4.6. Ezine Çayı Havzası’nın Jeoloji Haritası	44
Şekil 4.7. Ezine Çayı Havzası’nın Eğrisellik Haritası	45
Şekil 4.8. Ezine Çayı Havzası’nın Arazi Kullanım Haritası.....	47
Şekil 4.9. Ezine Çayı Havzası’nın Toprak Haritası	49
Şekil 4.10. Ezine Çayı Havzası’nın NDVI Haritası.....	51

Şekil 4.11. Ezine Çayı Havzası'nın Fay Hattına Mesafe Haritası	53
Şekil 4.12. Ezine Çayı Havzası'nın Akarsulara Mesafe Haritası	54
Şekil 4.13. Ezine Çayı Havzası'nın Yola Mesafe Haritası	56
Şekil 5.1. Ezine Çayı Havzası'nın AHS Heyelan Duyarlılığı Oranları	65
Şekil 5.2. Ezine Çayı Havzası'nın AHS ile Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritası	66



KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

°: Derece

%: Yüzde

°C: Santigrat Derece

\$: Dolar

ABD: Amerika Birleşik Devletleri

AFAD: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

AHP: Analitik Hiyerarşi Prosesi

AHS: Analitik Hiyerarşi Süreci

AHY: Analitik Hiyerarşi Yöntemi

ArcGIS: Coğrafi Bilgi Sistemi Yazılımı

AUC: Eğrinin Altındaki Alan

BM: Birleşmiş Milletler

BTG: Büyük Toprak Grupları

CBS: Coğrafi Bilgi Sistemleri

CI: Tutarlılık İndeksi

CORINE: Çevresel Bilginin Koordinasyonu

CR: Tutarlılık Oranı

CRED: Afet Araştırma ve Epidemiyoloji Merkezi

ÇKKV: Çok Kriterli Karar Verme

ÇNKV: Çok Nitelikli Karar Verme

FR: Frekans Oranı

ha: Hektar

HGM: Harita Genel Müdürlüğü

HTEA: Hata Türü ve Etkileri Analizi

KAF: Kuzey Anadolu Fayı

KGM: Karayolları Genel Müdürlüğü

km: Kilometre

km²: Kilometrekare

LR: Lojistik Regresyon

LS: Sediman Taşıma Kapasite İndeksi

m: Metre

MGM: Meteoroloji Genel Müdürlüğü

MIV: Modifiye Edilmiş Bilgi Yöntemi

mm: Milimetre

MTA: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

NDVI: Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi

RI: Rastgele İndeks

ROC: Alıcı İşletim Karakteristiği

RÖS: Risk Öncelik Sayısı

RSP: Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi

SYM: Sayısal Yükseklik Modeli

TDK: Türk Dil Kurumu

TWI: Topoğrafik Nemlilik İndeksi

UA: Uzaktan Algılama

USGS: Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu

WMO: Dünya Meteoroloji Örgütü

WOE: Kanıt Ağırlığı Yöntemi

YSA: Yapay Sinir Ağları

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1. GİRİŞ

Dünya üzerinde insanlar yaşamlarını daha iyi sürdürmek ve var olan koşullarını iyileştirmek için dönemin şartları, bilgileri ve elindeki mevcut olan imkânlarla birlikte çevrelerini daima değiştirmiş ve yenilemiştir. Sanayi Devrimi itibariyle insanın çevre üzerindeki tesiri hızlanmış olsa da dünyanın değiştirilmesinde insanın etkisi Pleistosen buzul devrinin en son evresinden (en az 40 bin yıl) beri etkili olduğu bilinmektedir (Tümertekin, 2022: 511). Teknolojinin ortaya çıktığı ve hız kazandığı dönemlerde doğal çevrenin değişimi ve tahribatından etkilenen bilim insanları bunu çalışmalarına da yansıtmışlardır. Söz gelimi bu değişimden etkilenen George Perkins Marsh, “Başkaları her ne kadar Dünya’nın insanı yarattığını düşünmüşse de aslında insan Dünya’yı yaratmıştır” (Tümertekin, 2022: 513) ifadesi ile 19. yy’larda insanın fiziki çevre üzerindeki etkisini anlatıyordu. Marsh, fiziki çevreyi doğal özellikler biçimiyle değil insan faaliyetiyle değişime uğratılmış çevre olarak (Tümertekin, 2022: 514) ele alıyordu.

Sanayi Devrimi sonrasında ekonomik, sosyal, sağlık gibi alanlarda koşulların daha iyiye gitmesi nüfusun hızlı bir şekilde artmasına sebep olmuştur. Bu hızlı ve kontrolsüz nüfus artışı sonucunda insanlar doğada var olan kaynakları daha fazla ve daha hızlı tüketmeye başlamış, doğal çevre ise insanların faaliyetlerine daha fazla maruz kalmıştır. Bunlardan en önemli olanları yerleşim alanlarının genişletilmesi ya da ulaşım amacıyla yolların yapılması gibi doğaya yapılan müdahalelerdir. Bu gibi faaliyetler doğal çevrenin ilksel görünümdeki şekli üzerinde değişiklikler meydana gelmesine neden olmaktadır. Doğal çevreye yapılan bu bilinçsiz müdahaleler sonucunda dünyanın doğal döngüsünün içerisinde yer alan olayların “afet” niteliği kazanmasına sebep olmuştur (Değerliyurt, 2014).

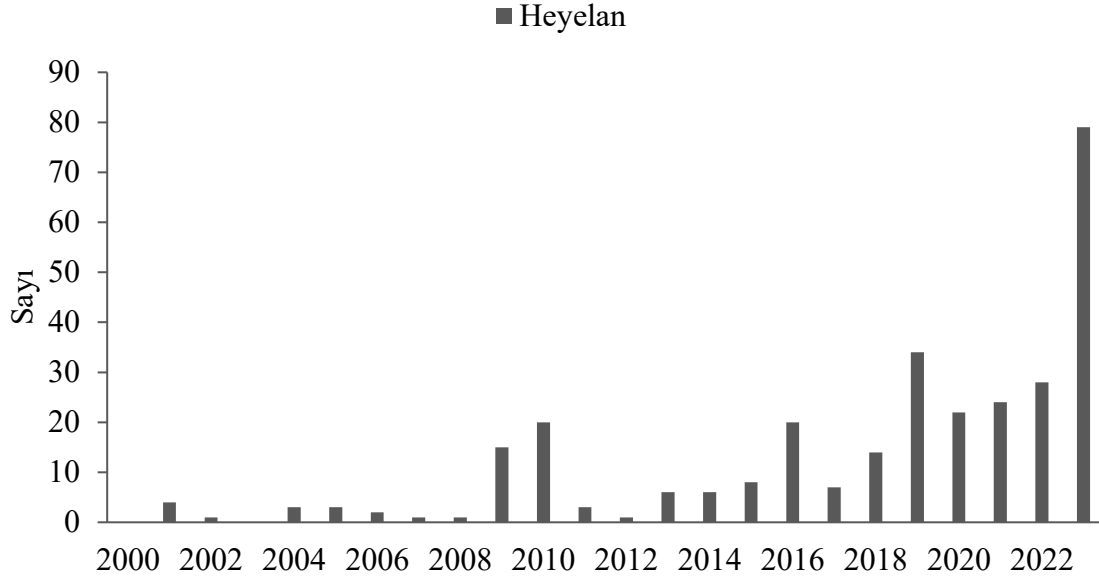
Öngörülmesi güç, nadir olarak gerçekleşen ama gerçekleştiği zaman da olağan döngüdeki doğal yaşam alanlarını, insan hayatını, unsurları kesintiye uğratan, büyük hasarlara aynı zamanda birçok problemlere neden olan, genellikle de bir coğrafi bölgeyi etkileyen felaketlere “doğal afet” denir (Gökçe vd., 2008). Birleşmiş Milletler (BM)’e göre doğa kaynaklı afetler; can ve mal kayıplarını, toplumun sosyo-ekonomik ve sosyo-kültürel faaliyetlerini önemli ölçüde aksatan, yerel imkanlarla başa çıkılamayan doğa olayları olarak tanımlanmıştır (MGM, 2023). Afet Araştırma ve Epidemiyoloji Merkezinin (CRED) 2023 yılı doğa kaynaklı afet değerlendirmesinde; dünya genelinde toplam 399 doğal afet meydana

gelmiştir. Bu afetler sonucunda 86.473 kişi yaşamını yitirmiş, 202,7 milyar ABD \$ (dolar) ekonomik kaybın olduğu ve aynı zamanda 93,1 milyon insanın afetlerden etkilendiği belirtilmiştir.

Türkiye'nin coğrafi konumu, fiziki yapısından kaynaklı nedenlerden (jeolojik ve jeomorfolojik yapısı, iklimi, bitki örtüsü, hidrolojik yapısı, toprak özellikleri) dolayı sıklıkla deprem, sel-taşkın, heyelan, kaya düşmesi, yangın, erozyon, dolu ve çığ gibi doğal afetler yaşanmakta ve sonucunda bu afetlerden kaynaklanan zararlar ortaya çıkmaktadır (Alptekin ve Yakar, 2020; Özdemir, 2005). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık) depremi, 28 Temmuz 2021 Antalya (Manavgat) yangını, 8 Aralık 2024 Arhavi (Artvin) heyelanı, 11 Ağustos 2021 Kastamonu (Bozkurt) sel ve taşkın afeti Türkiye'de yakın tarihlerde yaşanan doğal afetlere örnek verilebilir.

Afetler, Türkiye'deki her bölgenin karakteristik yapısına göre gerçekleşmektedir. Söz gelimi İç Anadolu'da yağışların daha az olduğu dönemlerde kuraklık, Akdeniz'de sıcaklık koşulların yüksek olduğu dönemlerde yangın afeti yaşanırken, Karadeniz Bölgesinin topografik yapısı, meteorolojik koşulları ve yükselti farklılıklarının kısa mesafede çok değişmesi nedeniyle heyelanlar çok sık yaşanmaktadır. Nitekim Arhavi (Artvin), Maçka/Çatak (Trabzon), Senirkent (Isparta), Ayancık (Sinop), Tortum, Geyve, Sürmene (Trabzon) heyelanları Karadeniz Bölgesinde yaşanan heyelan afetlerine örnek teşkil eder.

Heyelanlar, toprak ve onun üzerinde taşıdığı kütle hareketleri jeoloji, jeomorfoloji, iklimsel kaynaklı ve insan etkinliklerine bağlı olarak yamaçlardaki doğal dengenin kaybı sonucunda meydana gelmektedir (Öztürk, 2002). Bunun sonucunda başta can kaybı olmak üzere kentsel, tarımsal, ormanlık ve yerleşim alanlarını, karayolu, akarsu, baraj ve kültürel mirası tahrip etmekte, bu alanların kullanılamaz hale gelmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla heyelanların tüm dünyada can kayıpları ve ekonomik zararlar verdiği bilinmekle beraber 2000-2019 yılları içerisinde dünya genelinde 376 heyelan olayı meydana gelmiştir (MGM, 2023). Dünya genelinde 86.473 afet kaynaklı can kaybının rapor edildiği 2023 yılında; 654 heyelan olayı, can kaybına neden olmuştur. Türkiye'de ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) kayıtlarına göre, 2023 yılında 79 heyelan afeti meydana gelmiştir. Heyelan afetinin yıllara göre değişimi incelendiğinde, 2000 yılından günümüze kadar en fazla heyelan afetinin görüldüğü 2023 yılı olmuştur (MGM, 2023; Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Türkiye’de 2000-2023 Yılları Arasında Meydana Gelen Heyelan Afetlerinin Yıllara Göre Dağılımı

Kaynak: (MGM, 2024)

Günümüzde insan nüfusunun giderek artmasından kaynaklı insanların yeni yerleşim alanlarına ve dolayısıyla gerekli mühendislik yapılarına bağlı olan ihtiyacı da artmıştır. Bu amaçla gelişmiş ülkelerde insanlara yeni yerleşim alanları seçilirken “En uygun yerler nerelerdir” gibi araştırmaların yapıldığı bilinmektedir (Yalçın, 2007). Bu yönde de doğru ve mantıklı kararlar alınması için bölgenin iklim, bitki örtüsü, hidrolojik yapı, topografik yapı, morfolojik yapı gibi özellikleri dikkate alınarak planlama kararları üretilmelidir (Durak, 2023). Bu anlamda afet planlamasında üzerinde durulan önemli husus afetin ortaya çıkmadan önce afete duyarlı bölgelerin uygun işlevlerle planlanmasının yapılması ve planlaması yapılmış bölgeler için de kurtarıcı önlemlerin alınmasıdır (Kadioğlu, 2008).

Heyelan çalışmalarının temel amacı; heyelanların ortaya çıkardığı kayıpları en aza indirmek, mekânsal olarak heyelanların dağılımını ve bunların kontrolünü sağlayan doğal ve beşerî faktörlerin iyi bir şekilde anlaşılmasını ve belirli standartta olan sayısal (nicel) veri tabanı oluşturmayı sağlamaktır (Pektezel, 2015). Tam bu noktada duyarlılık analizlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda heyelan duyarlılık analizi, geçmişte yaşanan heyelanların gelecekte olası heyelanları mekânsal olarak tahmin edip sonucunu sınıflandırarak ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda son yıllarda giderek geliştirilen Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknolojileri heyelan duyarlılık haritalarının yapımında önemli avantajlar sağlamaktadır (Bozdoğan, 2022).

UA teknikleri kullanılarak veriler kısa zamanda ve kolayca toplanıp analiz edilebilmektedir. CBS teknikleri kullanılması ise çok karmaşık ve veri hacmi yüksek olan verilerin depolanması, işlenmesi ve analiz edilmesi gibi işlemler kısa zaman içerisinde mümkün olabilmektedir (Yalçın, 2007).

Literatürde heyelan duyarlılık analizlerinde çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden aralarında son yıllarda çok popüler olan, aynı zamanda çalışmalarda çok sık kullanılan AHS yöntemidir. Bu yöntem heyelan oluşumunda etkisi olan parametrelerin birbirlerine göre önem derecesini belirleyerek duyarlılık analizinin yapılması esasına dayanmaktadır (Berber, 2023).

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Dünyada özellikle son yıllarda artan doğal afetlere bakıldığında, afetlerin meydana gelmesinde tartışılmaz ana sebeplerden biri iklim değişikliğidir. Sel-taşkın, fırtına, kuraklık, yangın, göl ve deniz suyu seviyesi yükselmeleri, çığ gibi meteorolojik kaynaklı afetleri oluşturmakla birlikte buna bağlı dolaylı oluşan afetleri de meydana getirmektedir. Doğrudan ve dolaylı olarak meteorolojik koşullar ile bağlantılı olan doğa kaynaklı afetlerin tamamı “meteorolojik karakterli doğa afetleri” olarak isimlendirilir (MGM, 2023). Bunlardan en önemlisi de heyelanlardır. Küresel iklim değişiminin sonucunda dünya genelinde düzensiz ve yoğun olarak yağın yağışlar heyelanların sayısını ve büyüklüğünü tetikler, aynı zamanda can ve mal kayıplarına da sebep olur (Aytıp vd., 2023).

Karadeniz Bölgesi eğimli, engebeli ve dik bir topoğrafyaya sahip olmakla birlikte en fazla yağış alan bölgelerden biridir. Dolayısıyla heyelan riski de yüksektir. Bu etkenlerden dolayı heyelan çalışmalarının yapılması önemlidir. Bu çalışmanın temel amacı da Kastamonu ili Bozkurt ilçesi Ezine Çayı Havzası’nın CBS yazılımı olan ArcGIS 10.7 paket programı kullanılarak heyelanların oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelerin (eğim, yükselti, yağış, bakı, litoloji, toprak, NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi), eğrisellik, arazi kullanım, akarsulara mesafe, fay hatlarına mesafe ve yola mesafe) haritaları üretilmesi ve AHS yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası üretilerek heyelan potansiyeli yüksek bölgeleri belirlemektir. Aynı zamanda heyelan riskinin etkilerini ortaya koyarak can ve mal kaybına dayalı çözüm önerileri geliştirmektir.

1.2. Çalışmanın Problemi ve Araştırma Soruları

Çalışma sahası olarak seçilen Ezine Çayı Havzası, Türkiye’nin en çok yağış alan ve en fazla heyelan görülen bölgesinde yer almaktadır. Birçok örneğini sayabileceğimiz yaşanmış

heyelan afetleri Karadeniz Bölgesinde meydana gelmiştir. Dolayısıyla heyelan afetinin Karadeniz Bölgesinde önemli bir sorun olduğu tartışılmaz bir gerçektir. Böylelikle Ezine Çayı Havzası için yakın zamanda gerçekleşen sel-taşkın afetinin yanında heyelan duyarlılığının da bilinmesi gerekmektedir. Bu kapsamda Ezine Çayı Havzası'nın heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuş çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük riskli yerler belirlenmiştir.

Bu araştırmanın evreni kapsamında çalışma problemine ilişkin cevaplanması hedeflenen araştırma soruları şu şekildedir:

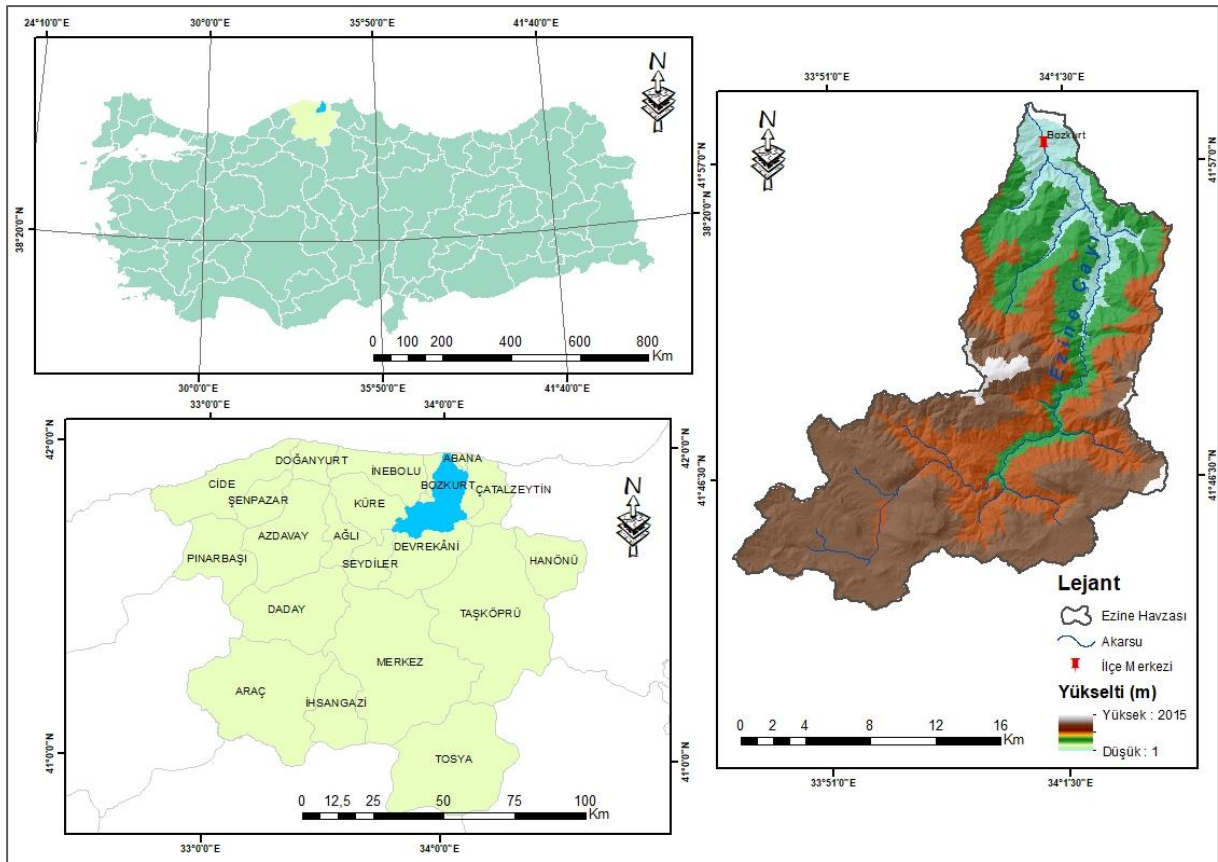
1. Heyelana neden olan faktörler/parametreler nelerdir?
2. Bu faktörlerden hangisi/hangileri daha baskın bir karakter gösterir?
3. Heyelan duyarlılığının dağılışı ne şekildedir?
4. Heyelan açısından en riskli alanlar nerelerdir?
5. Çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip alanlarda ne gibi tedbirler alınmalıdır?
6. Planlama kapsamında yapılması gerekenler nelerdir?
7. Heyelanların doğal ve beşerî çevreye etkileri nelerdir?

1.3. Tezin Önemi

AHS, son yıllarda heyelan alanların tespiti için çok yaygın ve sık kullanılan yöntemlerden bir tanesidir. Hem kullanım kolaylığı (verilerin depolanması, işlenmesi vb.) hem de zamansal olarak sonuca kısa sürede ulaşılması bakımından çok kapsamlı analizler için kullanım imkânı sunmaktadır. Bu çalışmada da literatürde yaygın olarak kullanıldığı tespit edilen parametreler belirlenerek AHS yöntemiyle heyelan duyarlılık analizi yapıp tespitlerde bulunulmuştur. Heyelana eğilimi olan mekânların ortaya konması ve çözümü için çeşitli öneriler yapılabilmesi açısından mühendislik planlamalarına ortam sağlayan bu çalışma, heyelan duyarlılığını 5 seviyede (çok yüksek, yüksek, orta, düşük, çok düşük) tespit etmesi ve yeni yöntemler kullanarak yapılacak olan diğer çalışmalara yol haritası sunması bakımından önemlidir. Aynı zamanda literatür incelendiğinde Ezine Çayı Havzası'na ait daha önce heyelan duyarlılık çalışması yapılmadığı için bu analiz, ilk heyelan duyarlılık çalışması olması bakımından önemlidir. Bölgede daha önce meydana gelen sel-taşkın afetinden ötürü, meteorolojik ve topografik koşulların heyelan afetine de uygun olduğundan yaşanması muhtemel veya potansiyel heyelan alanı oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu çalışma, afet öncesinde yapılacak yeni planlamalara fikir verebilmesi açısından önemli bir veri tabanı oluşturacaktır.

1.4. Araştırma Sahasının Yeri ve Sınırları

Bozkurt ilçesi, 36'ncı UTM zonunun 35,43" ve 42.00" Kuzey enlemleri, 32,43" ve 34,37" Doğu boylamları arasında Karadeniz Bölgesinin Batı Karadeniz Bölümünde Kastamonu ili sınırları içerisinde yer almaktadır. Yüzölçümü 296 km²'dir (Bozkurt Belediyesi, 2024). Çalışma alanı olan Ezine Çayı Havzası ise Kastamonu il sınırları E31b2, E31b3, E31b4, E31c1, E31c2, E32a1, E32a4 ve E32d1 1/25.000 ölçekli topoğrafik paftaları içerisinde yer alıp uzunluğu 60 km, havzanın alanı ise 375,54304741 km²'dir (Şekil 1.2 ve Şekil 1.3). Doğusunda Çatalzeytin, batısında İnebolu, güneyinde Devrekani ve Küre, kuzey sınırında Abana ilçesi ile çevrili olup bir kısmı da Karadeniz'e açıktır (Bozkurt Belediyesi, 2024).



Şekil 1.2. Çalışma Alanının Lokasyon Haritası



Şekil 1.3. Ezine Çayı Havzası'nın Uydu Görüntüsü

Kaynak: (earth.google.com, 2024)

1.5. Literatür Değerlendirmesi

Bu başlık altında çalışmanın konusu olan AHS yöntemiyle heyelan duyarlılık analizi ile ilgili yapılmış önceki çalışmalara yer verilmiştir. Yayınlar Dergipark, ResearchGate, Academia, Google Scholar, YÖK-TEZ platformlarından erişilmiştir.

Acar (2019), Kastamonu ilinin İnebolu Havzası'nda heyelan duyarlılık çalışması gerçekleştirmiş ve heyelana sebep olabilecek faktörlerden eğim, bakı, yükseklik, eğrisellik, akarsuya uzaklık, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), sediman taşıma kapasite indeksi (LS), akarsu aşındırma gücü indeksi (RSP), litoloji ve arazi örtüsü/kullanımını belirlemiştir. Haritaları, CBS tabanlı yazılımlardan AHP yöntemini kullanarak üretmiştir. Bunu yaparken 4 farklı uzmanın görüşlerini almış ve AHP yöntemi ile 4 farklı sonuç elde ettiği haritalar ve ortalama değerlerin de kullanıldığı 5 harita üretmiştir. Oluşturulan haritaların tamamını ROC (alıcı işletim karakteristiği) analizi ile denetlemiştir. Elde edilen sonucun tatmin edici olduğunu vurgulamıştır. Analiz sonucunda heyelanların oluşumunda en etkin parametreler eğim, yükseklik, litoloji, akarsuya uzaklık ve arazi kullanımı/örtüsü olduğunu tespit etmiştir.

Aghlmand vd. (2020), İran'ın Ardabil bölgesindeki Sazezchi ilçesinin CBS temelli AHP yönteminden faydalanan heyelan duyarlılık haritasını yapmışlardır. Analizin yapılması aşamasında arazi kullanımı, yağış miktarı, faylara uzaklık, litoloji, akarsu ağlarına uzaklık,

yükselti, eğim, bakı ve yola uzaklık parametrelerini kullanmışlar ve analiz sonucu ağırlığı en yüksek çıkan parametrenin fay hatlarına uzaklık olduğu bulgusuna rastlamışlardır.

Akıncı vd. (2015), Artvin (Merkez) Belediyesi imar planı revize sınırları içerisinde kalan alanın heyelan duyarlılık analizini yapmışlardır. Bunu yaparken AHP yönteminden yararlanmış ve analizde kullanılmak üzere litoloji, yükseklik, eğim, bakı ve akarsuya yakınlık parametrelerini belirlemişlerdir. Sonuç olarak %50'sinden fazla Çamlık Mahalleleri ve Balcıoğlu Mahalleleri ile Seyitler köyü arazilerinin yüksek veya çok yüksek heyelana duyarlı olduğunu; %68'inin de yapı adalarının yüksek ya da çok yüksek heyelana duyarlı alanda olduğunu tespit etmişlerdir.

Aksoy (2011), Artvin ili Arhavi ilçe merkezi ve çevresinde AHY (Analitik Hiyerarşi Yöntemi) ile heyelan duyarlılık analizini gerçekleştirmiştir. Heyelan duyarlılık haritasının üretimi için eğim, bakı, litoloji, ayrışma, akarsu güç indeksi, TWI, arazi örtüsü ve drenaj hattına uzaklık parametrelerini kullanmıştır. Heyelan duyarlılığında “ayrışma” katmanının en etkili olduğunu; akarsu güç indeksi ve TWI parametrelerinin heyelan duyarlılığında etki değerlerinin daha az olduğu sonucuna varmıştır.

Berber ve Ceryan (2023), Güzelyalı-Lapseki (Çanakkale) arasındaki bölgenin heyelan duyarlılığını AHS yöntemiyle değerlendirmiştir. Heyelan oluşumuna etki ettiğini düşündüğü litoloji, eğim, arazi kullanımı, yükseklik, NDVI, akarsulara mesafe, TWI, eğrisellik ve bakı parametrelerini kullanmıştır. Heyelan duyarlılığında litoloji, eğim ve arazi kullanımı parametrelerinin etkili olduğu sonucuna varmıştır. Heyelan duyarlılık haritasının performans analizi için ROC eğrisi yöntemini kullanmış sonucunda AUC (eğrinin altındaki alan) değeri 0.893 olarak bulunmuştur. Bu değer ile modelin doğrulunun “çok iyi” grubunda olduğu sonucu çıkmıştır.

Biber (2019), Şebinkarahisar (Giresun) ve yakın çevresinin heyelan duyarlılık analizini Frekans Oranı (FR), Lojistik Regresyon (LR) ve AHS yöntemleri ile litoloji, yükselti, eğim, bakı, eğrisellik, yola yakınlık, faya yakınlık, akarsuya yakınlık, arazi kullanımı ve TWI parametrelerinden faydalanarak gerçekleştirmiştir. FR ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının ROC analizi sonucu AUC değeri 0,865; LR yöntemi ile yapılan heyelan duyarlılık haritasının ROC analizi sonucu AUC değeri 0,850 bulunmuş; bu değerler 1'e yakın olduğu için duyarlılık haritasının doğruluğu yüksek çıkmıştır. AHS yönteminde ise litoloji 0,21 değeriyle en yüksek ağırlığa sahip parametre olduğunu; yol ağı parametresinin 0,03 değeriyle en düşük ağırlığa sahip olduğunu bulmuştur.

Bozdoğan ve Canpolat (2022), Delibekirli Havzası'nın (Kırıkhan/Hatay) heyelan duyarlılığını AHS yöntemi ile belirlemiştir. Heyelan duyarlılığına etki eden litoloji, eğim, eğim şekli, yağış, bakı, fay hatlarına mesafe, akarsuya yakınlık, yollara mesafe, arazi kullanımı, toprak, yükseklik ve NDVI parametrelerini kullanmıştır. Çalışma sahasında düşme tipi ve kayma tipi heyelanlar görüldüğünden iki türde de heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirmiştir. Kayma tipi heyelanlar için 12 parametre; düşme tipi heyelanlar için 10 parametre belirleyerek bakı ve toprak parametresini işleme tabii tutmamıştır. Analizler sonucunda litoloji, eğim, bakı, yağış, arazi kullanımı, fay hatlarına mesafe ve drenaj yoğunluğu parametrelerinin etkisi çalışma sahasındaki heyelanlara daha fazla olduğu sonucunu çıkarmıştır.

Çellek vd. (2015), Sinop ve çevresinin heyelan duyarlılık değerlendirmesini AHS ile gerçekleştirmiştir. Analizi yapmak için bakı, litoloji, arazi kullanım, yamaç eğriselliği, eğim, yükseklik, anayola yakınlık, akarsuya yakınlık ve yapısal unsurlara yakınlık kriterlerini kullanmıştır. Analiz sonucunda anayola uzaklık, bakı ve litoloji heyelanları etkileyen en önemli faktörler olduğunu tespit etmiştir.

Çırak (2019), Babadağ (Denizli) ilçesinin AHS yöntemi ile heyelan duyarlılık analizini gerçekleştirmiştir. Heyelanların oluşumu üzerinde etkili olan litoloji, fay hatlarına mesafe, yükseklik, eğim, eğim şekli, bakı, yağış, akarsulara mesafe, yol hatlarına mesafe, toprak, arazi kullanımı ve NDVI olmak üzere 12 faktör kullanmıştır. Bu faktörlerden litoloji, eğim ve yağış heyelanların oluşumu üzerinde en fazla etkiye sahip olduğu sonucuna varmıştır. Babadağ ilçesinin %46,02 oranla orta derecede heyelan duyarlılığına sahip olduğunu tespit etmiştir.

Dalkes ve Korkmaz (2023), Akçaabat ve Düzköy (Trabzon) ilçelerinin AHS ve FR yöntemiyle heyelan duyarlılık analizini yapmak için eğim, eğim şekli, litoloji, yağış, bakı, TWI, akarsulara uzaklık, karayollarına uzaklık, fay hatlarına uzaklık, arazi kullanımı, toprak, yükseklik ve NDVI olmak üzere 13 kriter belirlemiştir. Bunlar arasında eğim ve eğim şekli en etkili kriterler olarak yer almıştır. FR yöntemiyle yapılan heyelan duyarlılık haritasının envanter haritası ile karşılaştırdığında mevcut heyelanların gözlemlendiği yerler ile daha çok uyumlu olduğu kanısına varmıştır. Bunun yanı sıra her iki yöntemin haritalarını karşılaştırdığında FR yönteminin AHS yöntemine göre daha sahici sonuçlar verdiğini tespit etmiştir.

Demir (2024), Salıpazarı (Samsun) ilçesinin heyelan duyarlılığı değerlendirmesini AHS, FR, Modifiye Edilmiş Bilgi Yöntemi (MIV) ve Kanıt Ağırlığı Yöntemi (WOE) ile yapmıştır. Aynı zamanda AHS, FR, MIV ve WOE modellerini karşılaştırarak bir HİBRİT model ortaya koymuştur. Analizleri litoloji, jeomorfoloji, arazi kullanımı, akarsulara mesafe, yollara mesafe, eğim, profil ve plan yamaç eğriselliği, TWI ve bakı parametreleriyle gerçekleştirmiştir. AHS yöntemine göre çalışma sahasında en fazla etkili olan parametrelerin eğim, profil ve plan yamaç eğriselliği olduğunu saptamıştır. AHS ile yapılan heyelan duyarlılık analizinde ROC analizi sonucunda AUC değeri 0.820 (iyi); FR ile yapılan heyelan duyarlılık analizinde AUC değeri 0.804 (iyi); MIV ile yapılan heyelan duyarlılık analizinde AUC değeri 0.803 (iyi); WOE ile yapılan heyelan duyarlılık analizinde AUC değeri 0.806 (iyi) ve HİBRİT modelde ise AUC değeri 0.826 (iyi) olarak bulmuştur. Sonuç olarak AHS ve HİBRİT modellerinin diğer modellere göre araştırma alanı için en doğru sonuç verdiğini tespit etmiştir.

Demirel (2023), Yalova ili Merkez ilçesinin heyelan duyarlılık analizini AHP, HTEA (hata türü ve etkileri analizi), Pareto sistematik analizi ile yapmış ve heyelan duyarlılığına etki ettiğini düşündüğü parametreleri kullanmıştır. Bunlar litoloji, yükseklik, eğim, bakı, akarsulara mesafe, yollara mesafe, fay hatlarına mesafe, yağış, arazi kullanımı ve NDVI parametreleridir. HTEA analiz sonuçlarına göre bölgede heyelanların meydana gelmesinde en etkili faktörler sırasıyla litoloji, NDVI ve eğim olarak belirlenmiştir. HTEA analizi sonucunda elde edilen RÖS (risk öncelik sayısı) değerlerine göre Pareto sistematik analizi gerçekleştirilmiş ve bu analizle parametrelerin risk oranları tespit edilmiştir. Analiz sonucunda litoloji parametresi toplam riskin %17,90'ını oluşturmuştur. AHP yöntemine göre ise heyelan duyarlılığına etki eden yine litoloji (%29,5) olmuştur.

Demirel ve Hastaoğlu (2022), Sivas/Koyulhisar'ın heyelan duyarlılık haritalarının güvenilirliği araştırılması için AHP ve FR yöntemlerini kullanmıştır. Heyelanı etkileyen litoloji, eğim, bakı, yükseklik, faylara uzaklık, TWI, NDVI, plan ve profil eğriselliği, LS ve akarsu gücü indeksi parametrelerini dikkate almıştır. Eğim, litoloji ve faylara uzaklık AHP yöntemine göre etkisi en fazla olan parametrelerdir. Doğruluk değerlendirmesi için ROC analizini yapmış ve sonucunda AUC değerini 0,732 olarak bulmuştur.

Durak ve Altınçekiç (2023), Artvin Merkez ilçe ve çevresinin heyelan duyarlılığını AHY ile belirlemiştir. Analizde eğim, litoloji, alan kullanımı/arazi örtüsü, yükseklik, bitki örtüsü kapallılığı, drenaj hatlarına yakınlık, bakı ve topografik pürüzlülük parametrelerini

kullanmıştır. Buna göre heyelan duyarlılığı açısından eğimin en etkili parametre olduğu sonucuna varmıştır.

Durgun (2019), Denizli ili için FR, AHP ve Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemleriyle heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmuştur. Analizde litoloji, yükseklik, eğim, bakı, eğrisellik, drenaj yoğunluğu, drenaja yakınlık, TWI, LS, akış gücü indeksi ve arazi kullanım parametrelerinden yararlanmıştır. Doğruluk için ROC analizini yapmış sonucunda AUC değeri AHY için 0,761; YSA yöntemi için 0,806 ve FR yöntemi için 0,809 olarak bulmuştur. Bu değerler ile üretilen heyelan duyarlılık haritalarının kabul edilebilir düzeyde olduğunu belirtmiştir.

Karakaş (2018), Karabük ve çevresinin heyelan duyarlılık değerlendirmesini FR ve AHS yöntemlerini kullanarak yapmıştır. Bunu yaparken yükseklik, eğim, bakı, litoloji, drenaj ağlarına uzaklık, yollara uzaklık, arazi kullanımı, TWI, yamaç plan ve profil eğrisellikleri ile NDVI parametrelerini kullanmıştır. AHS sonucunda çalışma alanı için heyelanların oluşumunda en etkin parametrenin litoloji olduğu sonucu çıkmıştır. Haritaların doğruluğu için ROC analizini yapmış ve AUC değerlerini hesaplamıştır. AUC değerleri FR için 0,84 ve AHS için 0,80 olarak çıkmıştır.

Karakaya (2023), Hakkâri ili Yüksekova ilçesinin heyelan duyarlılık haritasını AHP yöntemini kullanarak üretmiştir. Heyelan duyarlılığına etki eden fay hattına mesafe, yollara mesafe, akarsuya yakınlık, jeoloji, yağış, arazi kullanımı, yükseklik, eğim, eğim şekli, NDVI, bakı ve toprak kriterlerini kullanmıştır. Analiz sonucunda araştırma sahasının heyelan duyarlılığı %69,12 ile orta riskli olduğu çıkmıştır.

Özşahin (2014a), Antakya (Hatay) şehrinin kütle hareketleri duyarlılığının değerlendirmesini CBS ve AHS yöntemini kullanarak yapmıştır. Değerlendirmede kullandığı faktörler litoloji, akarsulara uzaklık, fay hatlarına uzaklık, yer şekilleri, eğim, eğim şekli, TWI, bakı, yağış, toprak, arazi kullanımı ve arazi örtüsüdür. Litoloji, ağırlığı en yüksek çıkan parametredir. Çalışmanın sonucunda Antakya şehrinin kütle hareketleri oluşma olasılığının düşük olduğu ortaya çıkmıştır.

Özşahin (2014b), Tekirdağ ilinin heyelan duyarlılık analizini CBS ve AHS yöntemini kullanarak yapmıştır. Analizde kullanılmak üzere litoloji, yer şekilleri, eğim, bakı, eğim şekli, TWI, yağış, akarsulara mesafe, fay hatlarına mesafe, toprak, arazi kullanımı ve arazi örtüsü parametrelerini belirlemiştir. Analiz sonucuna göre heyelan oluşumunu etkileyen en belirgin

kriterler eğim, litoloji ve arazi kullanımıdır. Ulaşılan sonuçlara göre Tekirdağ ilinin heyelan duyarlılığı toplam alanın %51,5'i orta derecede olduğunu tespit etmiştir.

Özşahin (2015a), Tekirdağ şehrinin heyelan duyarlılık analizini CBS ve AHS yöntemini kullanarak gerçekleştirmiştir. Analizi gerçekleştirirken araştırma alanı için heyelan duyarlılığını etkileyen faktörleri belirlemiştir. Bunlar litoloji, yer şekilleri, eğim, bakı, yağış, akarsulara mesafe, fay hatlarına mesafe, toprak, arazi kullanımı ve arazi örtüsüdür. Ulaşılan sonuçlara göre Tekirdağ şehrinin heyelan duyarlılığı yüksek (%49,36) olduğu sonucuna varmıştır.

Özşahin (2015b), CBS tabanlı AHS yöntemiyle Ganos Dağı'nın (Tekirdağ) heyelan duyarlılık analizini yapmıştır. Analizde kullanılmak üzere litoloji, yükseklik, eğim şekli, eğim, bakı, yağış, akarsulara mesafe, fay hatlarına mesafe, yola mesafe, toprak, arazi kullanımı ve arazi örtüsü parametrelerini belirlemiştir. Sonucunda Ganos Dağı'nın heyelan duyarlılığı orta (%21,49) derecede olduğunu tespit etmiştir.

Pektezel (2015), Gelibolu Yarımadası'nın CBS ve AHS ile heyelana duyarlı alanlarını belirlemek için heyelan oluşumuna etkili olduğunu düşündüğü litoloji, yer şekilleri, eğim, bakı, eğim şekli, TWI, yağış, akarsulara uzaklık, fay hatlarına uzaklık, toprak, arazi kullanımı ve arazi örtüsü parametrelerini kullanmıştır. Eğim, litoloji, arazi kullanımı ve arazi örtüsü heyelan oluşumunu etkileyen faktörler olduğunu tespit etmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Gelibolu Yarımadası'nın heyelan duyarlılığı orta seviyede olduğu çıkmıştır.

Taş vd. (2024), Of (Trabzon) ilçesinin heyelan duyarlılığını AHS metodu ile gerçekleştirmiştir. Analizde kullandığı parametreler eğim, litoloji, bakı, yükseklik, büyük toprak grupları (BTG), akarsulara uzaklık, yola uzaklık, yağış, NDVI, eğim şekli ve arazi kullanımıdır. Heyelan duyarlılığını en fazla etkileyen parametre eğim (0,268), en az etkileyen ise akarsulara uzaklık (0,014) olduğu bulgusuna rastlamıştır.

Yalçın (2005), Ardeşen (Rize) yöresinin AHY ile heyelan duyarlılığını incelemiştir. Analizde litoloji, eğim, bakı, akarsuya yakınlık, yola yakınlık, drenaj yoğunluğu, makaslama dayanımı ve arazi örtüsü parametrelerini kullanmıştır. Sonuçlara göre çalışma alanının %28'i heyelan tehlikesi altında olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca heyelan duyarlılık haritasını heyelan envanter haritasıyla karşılaştırmış ve %84 oranında uyumunu göstermiştir.

Yalçın (2007), Ardeşen yöresinin heyelan duyarlılığını AHY ile belirlemek için litoloji, arazi örtüsü, eğim, bakı, yola yakınlık, akarsulara yakınlık ve drenaj yoğunluğu

parametrelerini kullanmıştır. Üretilen heyelan duyarlılık haritası ile envanter haritasını karşılaştırdığında %84 uyuştuğunu tespit etmiştir.



İKİNCİ BÖLÜM

KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2. Kavramsal Çerçeve

2.1. Afet ve Afet Türleri

Afet, toplumun tamamı veya belli kesimleri için normal hayatı ve insan faaliyetlerini durduran veya kesintiye uğratan aynı zamanda fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar doğuran, etkilenen toplumun baş etme kapasitesinin yeterli olmadığı doğa, teknoloji veya insan kaynaklı olaylardır (AFAD, 2024). BM'in kabul ettiği ve evrensel nitelikteki tanımıyla afet, normal yaşamı durdurarak veya kesintiye uğratarak toplumları etkileyen, insanlar için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplara neden olan ve yerel imkanlar ile baş edilemeyen her türlü doğal, teknolojik veya insan kaynaklı tüm olaylara denilmektedir (Kadioğlu, 2008). Başka bir ifadeyle afet, bir olayın kendisi değil; bazen beklenen bazen de aniden doğurduğu bir sonuçtur (Kadioğlu, 2008). Birçok kurum ve kuruluşun koordineli bir biçimde görev almasını gerektiren ve insan hakları için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar meydana getiren, normal yaşamı ve insan aktivitelerini durdurarak veya kesintiye uğratarak toplumları veya insan topluluklarını etkileyen doğal, teknolojik ve insan kökenli olaylara “afet” denilmektedir (Erkal ve Değerliyurt, 2009). Afet, tahmin edilemeyen ve aniden meydana gelen, yerel kapasiteyi aşan, ulusal veya uluslararası yardım gerektiren, büyük zararlar ile insan ölümlerine neden olan olay olarak tanımlanmaktadır (Hoyois vd., 2006). Afet; toplumlar için yaşamı kesintiye uğratan fiziksel, sosyal, ekonomik, kültürel çevresel kayıplara sebep olan, yerel imkân ve kaynaklarla baş edilemeyen kriz yönetimi gerektiren olayların sonuçlarına verilen genel bir ad olarak tanımlanabilmektedir (Duman ve Gökgöz, 2018). Türk Dil Kurumu (TDK)'na göre afet, “çeşitli doğa olaylarının sebep olduğu yıkım” şeklinde tanımlanmaktadır (TDK, 2025).

Afetler iki ana kısma ayrılmaktadır. Bunlar; doğal afetler ve beşerî afetlerdir. Doğal afetler kendi içerisinde ikiye ayrılır. Yavaş gelişen doğal afetler şiddetli soğuklar, kuraklık ve kıtlık; ani gelişen doğal afetler ise deprem, seller, su taşkınları, toprak kaymaları, kaya düşmeleri, çığ, fırtınalar, hortumlar, volkanlar, yangınlar vb. örnek verilebilir. Beşerî afetler (insan kaynaklı afetler); nükleer, biyolojik, kimyasal kazalar, taşımacılık kazaları, endüstriyel kazalar, aşırı kalabalıktan meydana gelen kazalar, göçmenler ve yerlerinden edilenler vb. örnek verilebilir.

Dünya genelindeki doğal afetleri ele almak gerekirse 31 çeşit doğal afetin 28 tanesini meteorolojik afetlerin oluşturduğu görülür. Dünya Meteoroloji Örgütüne (WMO) göre dünyada 700.000 kişi sadece 1980'li yıllarda meteorolojik afetlerden dolayı hayatını kaybetmiştir (AFAD, 2024). Doğal afetlerin çeşitleri ve önem sıraları ülkeden ülkeye değişmektedir. Söz gelimi Akdeniz Bölgesinde doğal afetler; kuraklık, seller, orman yangınları, heyelan, dolu fırtınaları, çığlar, donlardır. Türkiye’de ise en sık görülen meteorolojik karakterli doğal afetler; dolu, sel, taşkın, don, orman yangınları, kuraklık, şiddetli yağış, şiddetli rüzgâr, yıldırım, çığ, kar ve fırtınalardır (AFAD, 2024).

Dünya ölçeğinde gözlenen afet türlerine baktığımızda beş başlıkta ele alınmaktadır. Bunlar jeolojik, iklimik, biyolojik, sosyal ve teknolojik afetler olarak sıralanmaktadır. Jeolojik afetler deprem, heyelan, kaya düşmesi, volkanik patlamalar, çamur akıntıları, tsunami; iklimik afetler sıcak dalgası, soğuk dalgası, kuraklık, dolu, hortum, yıldırım, kasırga, tayfun, sel, siklonlar, tornado, çığ, aşırı kar yağışları, asit yağmurları, sis, buzlanma, hava kirliliği, orman yangınları; biyolojik afetler erozyon, orman yangınları, salgınlar, böcek istilası; sosyal afetler yangınlar, savaşlar, terör saldırıları, göçler; teknolojik afetler maden kazaları, biyolojik, nükleer, kimyasal silahlar ve kazalar, sanayi kazaları, ulaşım kazaları olarak sınıflandırılmaktadır (Tablo 2.1).

Tablo 2.1. Dünyada Gözlenen Afet Türleri

Afetin Türü	Meydana Gelen Afetler
Jeolojik Afetler	Deprem, Heyelan, Kaya Düşmesi, Volkanik Patlamalar, Çamur Akıntıları, Tsunami
Klimatik Afetler	Sıcak Dalgası, Soğuk Dalgası, Kuraklık, Dolu, Hortum, Yıldırım, Kasırga, Tayfun, Sel, Siklonlar, Tornado, Çığ, Aşırı Kar Yağışları, Asit Yağmurları, Sis, Buzlanma, Hava Kirliliği, Orman Yangınları
Biyolojik Afetler	Erozyon, Orman Yangınları, Salgınlar, Böcek İstilası
Sosyal Afetler	Yangınlar, Savaşlar, Terör Saldırıları, Göçler
Teknolojik Afetler	Maden Kazaları, Biyolojik, Nükleer, Kimyasal Silahlar ve Kazalar, Sanayi Kazaları, Ulaşım Kazaları

Kaynak: (AFAD, 2024)

2.2. Afet Riski

Hasar, zarar, kayıp ve olumsuz sonuçlara yol açma potansiyeli taşıyan bir olayın, doğurabileceği maddi kayıpların toplamına “afet riski” denir. Sigortacılık ve mühendislikte

ise, "kayıp olasılığı" olarak adlandırılmaktadır (Gökçe vd., 2008). Özellikle afetlere açık alanlarda sosyal süreçlerle ve nüfusun zarar verici olaylar karşısındaki kırılganlığı, toplumların savunmasızlığı, duyarlılığı ya da bu olaylara karşı dayanıklı olmamasıyla ilgilidir (Çilingir ve Güler, 2020).

Afet riski matematiksel olarak: Risk = Tehlike x Değer (Etkilenebilecek unsurlar) x Zarar görülebilirlik (Etkilenme oranı) olarak ifade edilebilir. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere, afet riskinin belirlenebilmesi için öncelikle afete yol açabilecek tehlikelerin neler oldukları, yerleri, büyüklükleri, oluş sıklıkları, tekrarlanma süreleri ve etkileyebilecekleri alanların belirlenmesi, bu tehlikeden etkilenebilecek, nüfus, yapı ve alt yapılar, ekonomik ve sosyal değerler, çevre vb. gibi tüm değerlerin envanterlerinin çıkarılması ve tehlikenin gerçekleşmesi halinde bu değerlerin uğrayabilecekleri fiziksel, sosyal, ekonomik ve çevresel kayıpların tahmin edilmesi gerekmektedir (A.İ.G.M., 2006).

2.3. Kütle Hareketleri

Yamaçlar ya da eğimli alanlar boyunca yer çekimin etkisiyle hareket halinde olan kar, buz, kaya, çamur, toprak akması ve arazi kayması yani heyelan gibi bütün taşınma durumlarıdır (Demir, 2024). Erinç (2015), kütle hareketlerini niteliklerine ve hızlarına göre sınıflandırmıştır. Hızlı gelişen kütle hareketlerini kaya çığları (yamaç döküntüleri), heyelan (asıl heyelan, göçmeler ve toprak kaymaları), çamur akıntıları ve lahar akıntıları; yavaş gelişen kütle hareketlerini ise sürünme ve soliflüksiyon olarak ayırmıştır (Erinç, 2015: 293). Erinç, kütle hareketlerini maddenin kütle halinde ve çekime uyarak yer değiştirmesi (Erinç, 2015: 256) ve yine kütle hareketlerini yer çekimin etkisi altında yamaçlardan aşağıya doğru kütle halinde oluşan yer değiştirmeleri (Erinç, 2015: 293) şeklinde tanımlamıştır. Bu olayların oluşmasında yamaçların ilksel hali yani doğal dengesinde meydana gelen bozulmalara neden olan eğimli alanların tarım alanı olarak açılması, ormanların tahribi, bitki örtüsünün yok edilmesi, çeşitli amaçlar için arazinin yanlış kullanılması, yol, köprü, tünel ve baraj gibi çalışmalar, alt yapı çalışmalarından önce geniş kapsamlı bir zemin etüdünün yapılmaması gibi nedenler kütle hareketlerini teşvik etmektedir. Kütle hareketleri, yer çekimin etkisi ile zemin ya da kaya kütlelerinin yamaçlardan aşağıya doğru yavaş ya da hızlı bir şekilde kütleli olarak yer değiştirme olayıdır (Açıklamalı Afet Yönetimi Terimler Sözlüğü, 2024). Huggett, ayrışan molozun kendi ağırlığı altında yamaçtan aşağıya doğru hareket etmesine kütle hareketi adını vermiştir (Huggett, 2019: 185).

Kütle hareketlerinin meydana gelmesinde asıl sebep yer çekimidir. Doğal ve beşerî sebepler ise hazırlayıcı ve tetikleyici nedenlerdir (Durgun, 2019). Diğer yandan bir yamaç üzerindeki kütle hareketlerinin hızının stabilitesini, kayma derecesini arttıran ve azaltan birden fazla diğer ana nedenler ve birbiriyle zincirli süreçlerdir (Demir, 2024). Ögelerin meydana getirdiği hareketler düşme, kayma, akma, çökme, kabarma ve sürüme gibi hareketlerin biri veya birden fazlası birlikte görülebilmektedir.

2.4. Heyelan Kavramı ve Sınıflandırılması

Heyelanlar, arazi topografyasının dengesinin bozulmasıyla ve yer çekiminin etkisiyle bir kaya, moloz ya da toprağın kütsel şekilde yer değıştirmesi olarak tanımlanabilir. AFAD' a göre heyelan; yer çekimi, depremler, aşırı yağışlar gibi dış etkenlerin etkisiyle kaya, toprak veya arazi parçalarının fark edilebilir düzeyde eğim doğrultusunda kayması, hareket etmesi durumu, toprak kayması olarak ifade edilmiştir (Açıklamalı Afet Yönetimi Terimler Sözlüğü, 2024). Erinç, heyelanları en yaygın, çok sık meydana gelen ve yeryüzünü aşındırmada önemli rol oynayan bir kütle hareketi çeşidi olarak ifade etmiştir (Erinç, 2015: 298). Yine heyelanı kayalardan, döküntü örtüsünden veya topraktan oluşmuş kütlelerin, yer çekimin etkisi altında yerlerinden koparak yer değıştirmesi şeklinde ifade etmiştir (Erinç, 2015: 298). Genel kabul gören ve yaygın olarak kullanılan bir diğer tanımlama ise Varnes (1978) tarafından yapılmıştır (Aksoy, 2011). Varnes'e göre heyelan, farklı nedenlerden dolayı veya yer çekimi (gravite) etkisiyle bir yamacı oluşturan kaya, toprak veya moloz türündeki malzemelerin yamaçtan aşağıya doğru hareket etmesidir. Sağanak yağışlar, suya doygun yapı, bitki örtüsünün zayıflığı, çökmeler, donma-çözölme olayları, tektonik hareketler ve erozyon gibi etkenler heyelanlara neden olmaktadır. Heyelanlar, doğal faktörlerin yanı sıra insan müdahalesi sonucunda da oluşabilen kütle hareketleridir. Heyelanlar hem can hem de mal kayıplarında dünyada önemli afetlerden bir tanesidir. Sosyo-ekonomik açıdan zarara uğratan heyelanlar, ciddi çevre sorunları da yaratabilmektedir.

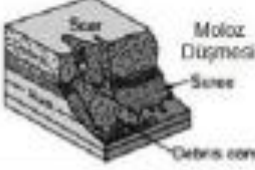
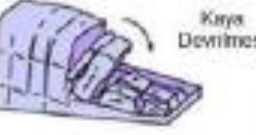
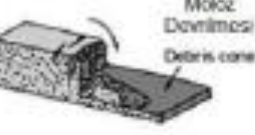
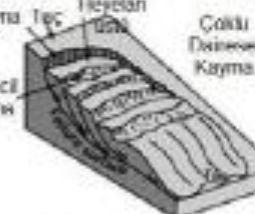
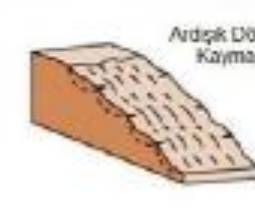
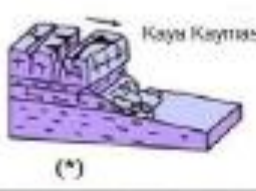
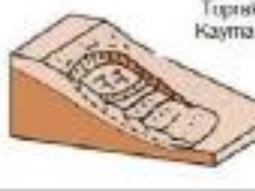
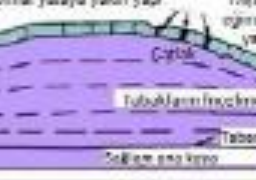
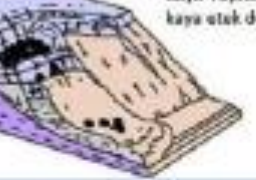
Heyelanların oluşumu, gelişimi, aktivitesi veya malzeme tipi gibi çeşitli özelliklere sahip olduğundan sınıflandırmak elzem olmuştur. Literatürde heyelanların çok fazla sınıflandırması bulunmaktadır. Bununla birlikte genel olarak kabul görmüş en yaygın ve sık kullanılan sınıflandırma Varnes'e ait olandır. Varnes, iki başlık halinde ele almış ve heyelanları oluştukları malzeme türlerine ve hareketin tipine göre sınıflandırmıştır. Varnes, hareketin tipine göre heyelanları; düşme, devrilme, kayma (yanal kayma ve dönöl kayma), yayılma, akma ve karışık; malzemenin cinsine göre heyelanları ise kayaç ve zemin (iri taneli

ve ince taneli) olarak sınıflandırmıştır (Tablo 2.2; Şekil 2.1). Aşağıda maddeler halinde açıklamalı bir şekilde yer verilmiştir.

Tablo 2.2. Hareketin Tipi ve Malzemenin Türüne Göre Heyelanların Sınıflandırılması

HAREKETİN TİPİ		MALZEMENİN TÜRÜ		
		KAYAÇLAR	ZEMİNLER	
			İri Taneli	İnce Taneli
DÜŞME		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
DEVİRİLME		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Zemin Devrilmesi
KAYMA	Dönel	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Zemin Kayması
	Yanal			
YAYILMA		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Zemin Yayılması
AKMA		Kaya Akması (Derin Krip)	Moloz Akması	Zemin Akması (Toprak Kribi)
KARIŞIK		İki veya daha fazla hareket türü		

Kaynak: (Varnes, 1978)

Malzeme Hareketin Türü	KAYA	MOLOZ	ZEMİN
DÜŞMELER	 Kaya Düşmesi	 Moloz Düşmesi	 Toprak Düşmesi
DEVİLMELER	 Kaya Devrilmesi	 Moloz Devrilmesi	 Toprak Devrilmesi
KAYMALAR	 Tek Dairesel Kayma	 Moloz Dairesel Kayma	 Toprak Dairesel Kayma
	 Kaya Kayması	 Moloz Kayması	 Toprak Kayması
YAYILMALAR	 Toprak yayılması	 Toprak yayılması	 Toprak yayılması
AKIMALAR	 Kaya Akması	 Moloz Akması	 Toprak Akması
KARMAŞIK	 Kaya-Toprak akması ile kaya etek döküntüsü	 Moloz Akması	 Toprak Akması

Şekil 2.1. Varnes'in Hareket Tipi ve Malzemenin Cinsine Göre Heyelanların Görünümü

Kaynak: (KGM, 2015)

2.4.1. Hareketin Tipine Göre Heyelan Türleri

2.4.1.1. Düşme

Kaya, moloz ve toprak düşmesi olarak da adlandırılan düşme tipi heyelanlar dik ve eğimli yamaçtan yer çekimin de etkisiyle ana kayadan ayrılarak kütlenin yamaçtan kopmasıdır. Huggett’a göre düşme, kayanın ya da toprağın (bazen) hava içinden aşağıya doğru hareket etmesidir (Huggett, 2019: 170). En sık gerçekleşen heyelan türü olmakla birlikte genellikle ani ve hızlı şekilde oluşur. Kayanın ya da toprağın (bazen) hava içinden aşağıya doğru hareket etmesidir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Düşme Tipi Heyelan

Kaynak: (USGS, 2004)

2.4.1.2. Devrilme

Kaya, moloz veya toprak devrilmesi olarak da adlandırılan devrilme türü heyelanlar, dik ve eğimli yerde kütlenin kendi ağırlık merkezi üzerindeki eksen boyunca ileriye doğru rotasyonel hareketidir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Devrilme Tipi Heyelan

Kaynak: (USGS, 2004)

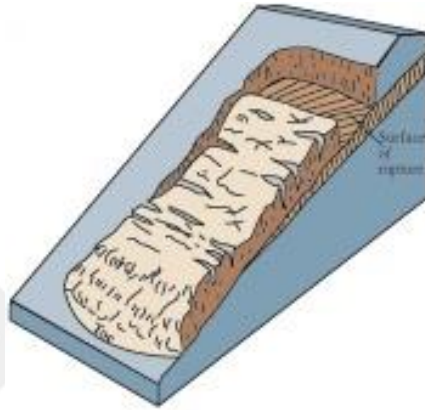
2.4.1.3. Kayma

Daha düşük dirençte olan malzemenin daha güçlü olan ve altta kalan malzemeden ayıran belirgin bir zayıflık bölgesinde malzemenin kayması sonucunda oluşan kütle hareketlerini ifade eder (USGS, 2004). Kütle hareketinin yaygın bir şeklidir. Bu heyelan türü

düzlemsel (ötelenmeli) kayma ve dönel (daireysel) kayma heyelanlar olmak üzere ikiye ayrılır. Aşağıda açıklamalı şekilde yer verilmiştir.

2.4.1.3.1. Düzlemsel (Ötelenmeli) Kayma

Kama tipi kayma olarak adlandırılan düzlemsel (ötelenmeli) kayma türü heyelanı, heyelan kütlesi dışarı, aşağıya doğru hareketi ve kabaca düz bir düzlem üzerinde çok az geriye tiltlenerek (eğilme) veya dönerek hareket etmesidir (Şekil 2.4). Eğik şekilde düzlemsel makaslama yüzeyleri boyunca oluşur (Huggett, 2019: 168).

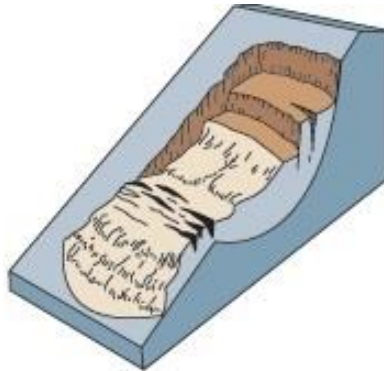


Şekil 2.4. Düzlemsel (Ötelenmeli) Kayma

Kaynak: (USGS, 2004)

2.4.1.3.2. Dönel (Dairesel) Kayma

Kayma heyelanının bir türü olan dönel (daireysel) kayma heyelanı, iç bükey şekilde kavisli olan bir yüzeyde kayma hareketinin de buna paralel bir şekilde kayması doğrultusunda geriye yatarak enine bir ekseninde kabaca dönme hareketinin oluşmasıdır (Şekil 2.5). Normalde düşükten orta düzeyli su içeriğine değişen koşullar içerisinde içbükey makaslama düzlemleri boyunca meydana gelir (Huggett, 2019: 168).



Şekil 2.5. Dönel (Dairesel) Kayma

Kaynak: (USGS, 2004)

2.4.1.4. Yayılma

Kaya yayılması, moloz yayılması veya toprak yayılması şeklinde olabilen yayılma hareketi, çok güçsüz bir zemin üzerinde gerçekleşir ve az eğimli yamaçlarda genişleyerek hareket eder. Bu yayılma hareketi, üzerinde malzemenin olduğu zeminin kaygan olması, kendisinde olabilecek yüzeyin çözünmesi veya malzeme içindeki suyun basıncına bağlı oluşabilir. Zeminin sıvılaşması ve alttaki malzemelerin akması sonucunda meydana gelebilir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Yayılma Tipi Heyelan

Kaynak: (USGS, 2004)

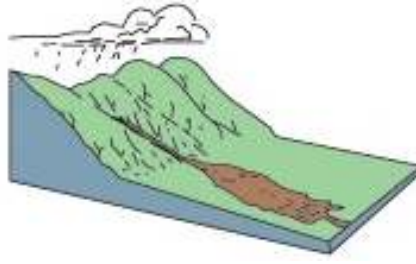
2.4.1.5. Akma

Kaya akması ve zemin/toprak akması şeklinde görülebilen akma heyelan türü, yer çekimin etkisiyle ıslak veya kuru akma şeklinde (nemli malzeme veya toprak özelliği), yavaş ya da hızlı geliştiği gözlemlenebilmekle birlikte malzemenin aşağı doğru kaymalardan akmalara doğru bir geçişin olmasıdır (Şekil 2.7 ve Şekil 2.8). Akan gövdenin tabanında akış hızı yavaştır, yüzeye doğru artar (Huggett, 2019: 168). Çok sık meydana gelmeyen heyelan türüdür.



Şekil 2.7. Kaya Akması

Kaynak: (USGS, 2004)

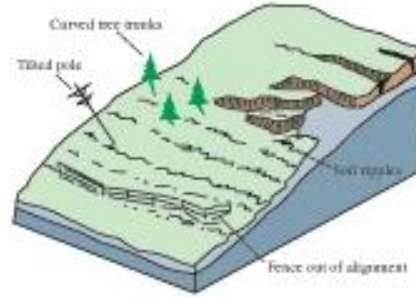


Şekil 2.8. Toprak/Zemin Akması

Kaynak: (USGS, 2004)

2.4.1.6. Karışık

Yamaç hareketlerinin belirli kısımlarında diğer hareket tiplerinden en az iki veya daha fazla sayıda heyelan türünün birlikte meydana gelmesiyle ortaya çıkan bir heyelan türüdür (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Karışık Tip Heyelanlar

Kaynak: (USGS, 2004)

2.5. Heyelan Duyarlılık

Duyarlılık, belirli bir türde ve hacimdeki heyelanların yaşanma ihtimalinin mekânsal olarak ifade eder (He vd., 2019). Bu sebeple belirli bir bölgenin heyelan duyarlılığı değerlendirmesi, o bölgenin heyelan değerlendirmesinin temelidir (He vd., 2019).

Heyelan duyarlılığı, geçmişte meydana geldiği ve gelecekte de meydana gelebilecek olası heyelan alanlarını derecelendirerek gösteren ve oluşumunda etkin olan parametrelerin değerlendirilmesi ile oluşturulmaktadır. Heyelan alanlarının tanımlanması için duyarlılık haritalamaları, özellikle bu haritaların kullanımı mülk hasarı, bina tesisleri ve yaralanma olmak üzere çok sayıda kaybı azaltabildiği için heyelan tehlikesinde erken uyarı için oldukça önem arz etmektedir (Wang vd., 2017). Dolayısıyla heyelan duyarlılık haritaları, gelecekte olabilecek potansiyel heyelanlara karşı duyarlı alanları ortaya koyar ve aynı zamanda herhangi bir alanın heyelan oluşumuna karşı eğilimini ifade eder (Dağdelenler, 2013). Diğer

bir tanımla heyelan duyarlılık haritası, bir bölgede heyelanların mekânsal bazda olabilirliğini belirten haritalar olarak tanımlanmaktadır (Varnes, 1984).

Heyelan duyarlılığı haritalaması, karar verici yetkililerin alt, üst yapı projeleri, mühendislik yapıları, kentsel planlamalar gibi birçok benzer alanlara yardımcı olurken, öncesinde gerekli önlemlerin alınabileceği planlamalar için de yol haritası veya altlık görev görürler. Bunun yanında heyelan riski olmayan âtıl (kullanılmayan) haldeki alanların tespiti, bu alanların yerleşim veya tarım alanı olarak açılmasını sağlayarak oluşabilecek ekonomik anlamda kayıpların da engel olmasına olanak verir. Bu çalışmaların etkin ve verimli kullanımı sadece detaylı çalışmalara ihtiyaç duyulan bölgeleri tespit etmek için değil aynı zamanda karar vericilerin arazi kullanımda planlama politikalarını geliştirmelerine faydalı olmak için de heyelan risk yönetiminde vazgeçilmez bir araç sağlar (Brito vd., 2017).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

3. Materyal ve Yöntem

“Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi ile Ezine Çayı Havzası’nın (Bozkurt-Kastamonu) Heyelan Duyarlılık Analizi” adlı bu çalışma altı bölüm halinde gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak giriş başlığı altında genel bir çerçeve ele alınmış, çalışmanın amacı ve kapsamı, problemi, araştırma soruları ve tezin önemi alt başlıklarına detaylı bir şekilde yer verilmiştir. Ayrıca araştırma sahasının yeri ve sınırları alt başlığında, çalışma sahasının lokasyon haritası ve uydu görüntüsü gösterilerek kısa bir anlatımla tanıtımı yapılmış, literatür değerlendirmesi alt başlığında ise AHS yöntemiyle heyelan duyarlılık analizi konusunda yapılmış önceki çalışmaların özet niteliğinde değerlendirmesi yapılmıştır.

İkinci bölümde kavramsal çerçeve ele alınmıştır. Burada çalışma ile ilgili afet ve afet türleri, afet riski, kütle hareketleri, heyelan kavramı ve sınıflandırması (malzeme türü ve hareketin tipi) ve heyelan duyarlılık alt başlıklarında kavramların açıklaması yapılmıştır.

Üçüncü bölümde çalışmada kullanılan materyal ve yöntem açıklanmıştır. Bu bölüm iki alt başlığa ayrılarak ilk alt başlıkta çalışmada kullanılan veri türlerinin neler olduğu, hangi kaynaklardan temin edildiği ve bu veri türlerinden üretilen parametrelerin nelerden oluştuğu hakkında bilgiler yer alır. İkinci alt başlıkta ise çalışmanın hangi yöntemle ilerlediği ve bu yöntemin kavramsal açıklaması ayrıca yöntemin uygulama adımları aşamalı şekilde açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde Ezine Çayı Havzası’nda heyelana neden olan parametrelerin/faktörlerin açıklandığı ve değerlendirildiği kısımdır. Heyelan duyarlılık haritasının üretimi için belirlenen bu parametrelerin genel özellikleri, alansal (ha) olarak ne kadar yer kapladığı ve bunun oransal (%) dağılımı alt başlıklar halinde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Beşinci bölümde AHS yöntemiyle heyelan duyarlılık haritasının üretildiği ve bu yönteme göre Ezine Çayı Havzası’nın heyelan duyarlılığı hangi alanlarda çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük gösterdiği, bu heyelan duyarlılık sınıflarının alansal ve oransal dağılımları tespit edilerek değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Altıncı bölümde yani çalışmanın son aşamasında ise, sonuç ve önerilere yer verilmiştir. Burada sonuçların değerlendirmesi, heyelan riskine karşı çözüm önerileri sunularak çalışma tamamlanmıştır.

3.1. Materyal

CBS programı birçok analizlerde yararlanıldığı gibi heyelan duyarlılık analizlerinde de kullanılmaktadır. Bu analizlerin yapılabilmesi için belirli parametrelere ihtiyaç duyulmakla birlikte CBS tekniklerine dayalı yaklaşımlarla heyelan duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan değişkenler heyelan incelemesinin yapıldığı alanın özelliklerine ve araştırmacıya göre farklılık göstermektedir. Ayrıca heyelanlarla ilişkili olarak kolaylıkla belirlenebilen ve haritalanabilir özellikteki faktörlerin seçilmesi oldukça önemlidir (Çellek vd., 2013). Bu bağlamda çalışma alanı için belirlenen parametreler hem çalışma sahasının özellikleri dikkate alınmış hem de literatürde en çok kullanılan, tercih edilenler arasından seçilmiştir. Bunlar eğim, yükselti, yağış, bakı, litoloji, toprak, NDVI, eğrisellik, arazi kullanım, akarsulara mesafe, fay hatlarına mesafe ve yola mesafe parametreleridir. Ayrıca bu parametre haritalarının ve heyelan duyarlılık analizinin yapılabilmesi için çeşitli materyal ve verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla CBS tabanlı bir heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirmenin başlangıç noktası, heyelanların oluşumunu etkilediği düşünülen verilerin toplanmasıdır (Tešić vd., 2020).

Çalışmanın iş akışında öncelikle belirlenen parametrelerin haritaları üretilmesi için gerekli olan veri kaynaklarının bir kısmı resmî kurumlardan bir kısmı da internet aracılığıyla elde edilmiştir (Tablo 3.1). Ayrıca Tablo 3.1’de yer alan veri türleri ve bu verilerden üretilen parametreler gösterilmiştir. Çalışmada kullanılması için toplanan verilerin düzenlemesi, analizi ve haritalanması gibi işlemler CBS tabanlı yazılımlardan ArcGIS/ArcMap 10.7 paket programı kullanılmıştır. Analiz için yapılan hesaplamalar SCB Associates Ltd tarafından geliştirilen AHS Template (Microsoft Excel versiyonu) yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.1. Çalışmada Kullanılan Veriler, Veri Kaynakları ve Üretilen Parametreler

PARAMETRE	VERİ TÜRÜ	VERİ KAYNAĞI
Yükselti	5 x 5 çözünürlüğünde SYM verisinden üretilmiştir.	Harita Genel Müdürlüğü (HGM)
Eğim	5 x 5 çözünürlüğünde SYM verisinden üretilmiştir.	HGM
Bakı	5 x 5 çözünürlüğünde SYM verisinden üretilmiştir.	HGM

Tablo 3.1. (Devamı)

Yağış	1991-2021 yılları Kastamonu-Bozkurt iklim verisi	https://tr.climate-data.org/
Toprak	1/25000 ölçekli büyük toprak grubu verisi	Tarım Reformu Genel Müdürlüğü
Litoloji	1/25000 ölçekli MTA jeoloji verisi	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)
NDVI	Landsat 8 Band 4 ve Band 5'ten elde edilmiştir.	https://earthexplorer.usgs.gov/
Eğrisellik	5 x 5 çözünürlüğünde SYM verisinden üretilmiştir.	HGM
Arazi Kullanım	CORINE 2018 arazi örtüsü verisi	https://land.copernicus.eu/
Fay Hattına Mesafe	1/25000 ölçekli MTA diri fay verisi	MTA
Akarsulara Mesafe	5 x 5 çözünürlüğünde SYM verisinden üretilmiştir.	HGM
Yola Mesafe	Ezine çayı ve çevresi yol verisi	https://www.openstreetmap.org

3.2. Yöntem

3.2.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi

Bu çalışmada, CBS tabanlı uygulamaların karar verme sürecinde kullanılan ve çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinden biri olan AHS yöntemi kullanılmıştır. Bu sistemin sadeliği, kolay kullanılabilirliği ve anlaşılabilir bir metot olması nedeniyle ÇKKV yöntemleri arasında sıkça başvurulanan bir yöntemdir (Pektezel, 2015). Çok nitelikli karar verme (ÇNKV), toplam kalite yönetimi, uygunluk analizi, kaynak tahsisi, çatışma yönetimi ve tasarım, mühendislik, saha seçimi, bölgesel planlama ve heyelan duyarlılık analizi dâhil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda geniş uygulama alanı bulmuştur (Ayalew vd., 2005; Gorsevski, 2006; Moradi, 2012).

AHS fikrini ilk olarak Alpert ve Myers tarafından 1968 yılında ortaya konulmuş; “çok ölçülü karar verme sorunlarının çözümü” için kullanılabilir bir yöntem, model haline Saaty tarafından 1977 yılında dönüştürülmüştür (Bozdoğan ve Canpolat, 2022). Thomas L. Saaty, bu yöntemi Wharton İşletme Okulu'nda geliştirmiştir (Bhatt vd., 2013).

AHS, bir bireyin veya bir grubun karar vermede öznel (kişisel) tercihlerini işlemek için nesnel matematik sağlar (Saaty, 2001). Aynı anda içimizdeki sezgisel, rasyonel ve

irrasyonel olanla başa çıkmak için kapsamlı bir çerçeve sunar. Algılarımızı ve amaçlarımızı genel bir senteze entegre etmek için kullanabileceğimiz bir yöntemdir (Saaty, 1984). Aynı zamanda bir problem çözme çerçevesidir. Herhangi bir problemin unsurlarını temsil etmek için sistematik bir prosedürdür. Üç ilkeye dayanır: ayırıştırma, karşılaştırmalı yargı ve önceliklerin sentezi (Moradi vd., 2012). İlk olarak bir problemi daha küçük unsurlarına ayırarak temel mantığı düzenler ve ardından her hiyerarşide öncelikleri geliştirmek için basit çiftler halinde karşılaştırma yargıları gerektirir (Saaty, 1984). Bu göreceli karşılaştırma sürecine “çift yönlü karşılaştırma” denir (Panchal, & Shrivastava, 2022). Bu çiftler arası karşılaştırmalar, iki faktörün göreceli önemini belirlemek için öncelikler belirleyerek iki faktör veya her faktörün sınıfları üzerinde yapılır (Wicaksono, 2020). Ardından faktörlerin birbirlerine göre öneminin karşılaştırılması için her faktöre 1 ile 9 arasında göreceli baskın bir değer atayarak diğer faktörlere göre derecelendirilir (Moradi, 2012). Bu karşılaştırma sonrasında faktörler ağırlıklandırılır ve sonunda hazırlanan tüm katmanlar bir araya getirilerek nihai harita üretilir.

Saaty (1980)’e göre AHS yöntemi dört aşamadan oluşan bir algoritmadır ve uygulama aşamaları şu şekildedir;

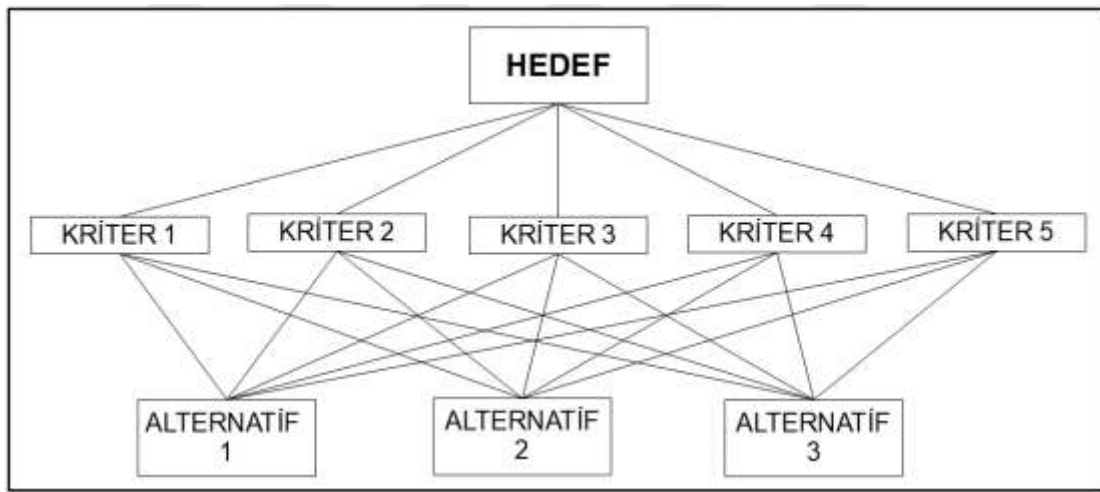
1. Problemin tanımı ve hiyerarşik yapının oluşturulması
2. İkili karşılaştırma matrisinin oluşturulması
3. Parametrelerin önem ağırlıklarının belirlenmesi
 - Karşılaştırma matrisini normalize etme
 - Öz vektörü ve öz değeri hesaplama
4. Tutarlılık indeksini ve tutarlılık oranını hesaplama

Belirtilen adımlar neticesinde, problemin çözümüne yönelik kurulacak hiyerarşi ve alt üst ölçüt ilişkisine ait örnek şema ve içeriğiyle ilgili detaylı açıklamalar maddeler halinde verilmiştir.

3.2.1.1. Problemin Tanımı ve Hiyerarşik Yapının Oluşturulması

İlk olarak kriter ve karar alternatiflerine göre problemin grafiksel akış şeması oluşturulmuştur (Çellek vd., 2015). Bu grafiksel akış şeması hiyerarşik yapıda en az üç düzeyde teşkil edilir. Hiyerarşinin ilk düzeyinde öncelikle çalışmanın amacı (hedef)

belirlenmiş, bu genel amacın heyelan duyarlılık haritası üretmek olduğunu göstermektedir. İkinci düzeyde bu amaç doğrultusunda seçimi etkileyen kriterler ortaya konmuştur; 12 adet ana kriterler (eğim, yükselti, yağış, bakı, litoloji, toprak, NDVI, eğrisellik, arazi kullanım, akarsulara mesafe, fay hatlarına mesafe ve yola mesafe), genel amaca ulaşmaya katkıda bulunacaktır (Çellek vd., 2015). Üçüncü düzeydeki her bir karar alternatifi (sınıflandırılmış alt kriterler) ise her bir kritere göre değerlendirilir (Yalçın, 2005) ve hiyerarşik bir yapı oluşturulur (Şekil 3.1). Birbirine bağlantılı olarak ilerleyen bu hiyerarşik yapıda, bir düzenleme/değişiklik olacağı takdirde değerlendirme sürecinin tekrar gözden geçirilmesi gerekmektedir (Demir, 2024).



Şekil 3.1. Üç Aşamalı AHS Modeli

Kaynak: (Saaty & Vargas, 2001)

3.2.1.2. İkili Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması

AHS yöntemi ile ikili karşılaştırma matrislerini oluşturmak için Saaty tarafından geliştirilen 1-9 önem ağırlığı ölçeği kullanılır. Belirlenen kriterler ve alternatifler bu önem ölçeğine göre (Tablo 3.2) kıyaslanmış ve bu ölçek yardımıyla 1 ile 9 arasında derecelendirilmiştir (Aghlmand vd., 2020). Söz gelimi, bu ölçeğe göre iki ölçüt (kriter) eşit olarak tercih ediliyorsa 1, iki ölçütten biri diğerine göre daha önemliyse 3, çok önemli ise 5, çok güçlü bir öneme sahipse 7, mutlak bir üstünlüğe sahipse 9 değeri kullanılır. 2, 4, 6 ve 8 ise ara değerler olarak kullanılmaktadır (Demirel ve Hastaoğlu, 2022). Matriste dikey eksendeki faktör, yatay eksendeki faktörden daha önemli olduğunda bu değer 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9; tersine değer ise 1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3 ve 1/2 karşılıkları arasında değişir.

İkili karşılaştırma matrisinde, çiftler arası karşılaştırma öznel ve her katmanın ağırlığı ve sonuçların kalitesi, uzmanın kişisel yargısına bağlıdır (Kıncal ve Kayhan, 2022). Dolayısıyla ikili karşılaştırma matrisinde AHS ağırlıkları, uzmanın her kritere olan verdiği önem derecesine göre yansıtacaktır (Saaty, 1980). Söz gelimi, eğitim heyelanları tetiklemek için en alakalı kriter olarak belirlenirse, eğitimdeki hücre ile toprak dokusu örneğin 5 olabilir ve bu da tercihin eğitimde güçlü bir şekilde düştüğünü gösterir. Diğer yandan tersi 1/5, toprak dokusu karşılaştırması için eğitim hücresiyle belirlenir (Mengstie, 2024). Dolayısıyla yargı ne kadar kesin olursa, üretilen harita gerçeklikle o kadar uyumlu olur.

Tablo 3.2. AHS Yönteminde Kullanılan İkili Karşılaştırma Ölçeği

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki kriter aynı derecede önem taşır.
3	Orta önemli	Biri diğerine göre orta derecede önem taşır.
5	Güçlü önemli	Biri diğerine göre güçlü önem taşır.
7	Çok güçlü önemli	Biri diğerine göre çok daha güçlü önem taşır.
9	Son derece önemli	Biri diğerine göre son derecede önem taşır.
2, 4, 6, 8	Ara değerleri ifade eder.	Tercih değerleri birbirine yakın olduğunda kullanılır.

İkili Karşılaştırma Ölçeği																
Daha az önemli								Eşit	Daha çok önemli							
																
1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Kaynak: (Saaty, 1980)

İkili karşılaştırma matrisi, nxn boyutlu bir kare matristir ve Denklem 3.1’de verilen formül ile ifade edilmektedir. Faktörlerin karşılaştırılması, birbirlerine göre sahip oldukları önem değerlerine göre karşılıklı etkileşimli olarak yapılır ve bu karşılaştırmalar yapılırken, Tablo 3.2’ de verilmiş olan önem dereceleri kullanılmaktadır. Söz gelimi karşılaştırma matrisinin köşegeni üzerindeki bileşenler, ilgili faktör kendisi ile karşılaştırıldığında (i = j olacağından) 1 değerini almaktadır. Bu işlem, karşılaştırma matrisinin tüm elemanları için yapılmalıdır (Hasekioğulları, 2010).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & & a_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Matrisin köşegenindeki değerlerin 1 olarak belirlenmesinin ardından, köşegenin altında veya üstünde kalan bölümler seçilir. Bu seçilen bölgeler için puanlama yapılırken, puanlama yapılmayan kısım için ise Denklem 3.2'deki formül kullanılarak eksik değerler doldurulabilir. Bu yöntem puanlanmamış elemanların, aynı sütunda yer alan diğer elemanların puanlarıyla uygun bir şekilde hesaplanmasını sağlar (Demirel, 2023).

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}} \quad (3.2)$$

3.2.1.3. Parametrelerin Önem Ağırlıklarının Belirlenmesi

İkili karşılaştırma matrisini oluşturan tüm parametrelerin, matrisin sütunlarını oluşturan elemanlardan faydalanılarak parametrelerin sistem içindeki ağırlıklarını belirlemek için, Denklem 3.3'te verilen n adet ve n bileşenli bir B sütun vektörü oluşturulması gerekmektedir (Karakaş, 2018).

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{12} \\ \vdots \\ b_{1n} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

B sütun vektörünün hesaplanmasında amaç, A Matrisi için normalize edilmiş matris değerlerini elde etmektir. Bu işlem adımı Denklem 3.4'te yer alan formül kullanılmaktadır. Bu işlem A matrisinin tüm elemanları için uygulanır ve Denklem 3.5'te verilen normalize edilmiş C matrisi oluşturulur (Karakaş, 2018). Kısaca ikili karşılaştırma matrisin sütun elemanları, matristeki her bir sütunun toplamına bölünmesiyle normalize karşılaştırma matrisi elde edilmektedir (Bozdoğan ve Canpolat, 2022).

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (3.4)$$

⇓

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

C matrisi oluşturulduktan sonra faktörlerin birbirlerine göre ağırlıklarını, diğer bir ifade ile yüzde önem derecelerini belirlemek amacıyla Denklem 3.6'daki formülle, C matrisini oluşturan satır elemanlarının aritmetik ortalaması alınarak “Öncelik Vektörü” olarak ifade edilen, [W] sütun vektörü elde edilir (Karakaş, 2018; Denklem 3.7). Her bir elemanı 0-1 aralığında değişmektedir. Çıkan öncelik vektörlerinin toplamaları da 1'e eşittir.

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^n c_{ij}}{n} \quad (3.6)$$

⇓

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

3.2.1.4. Tutarlılık İndeksinin ve Tutarlılık Oranının Hesaplanması

AHS yönteminde kriterlerin ikili karşılaştırmaları yapılırken belirli bir derecede tutarsızlık oluşabilir. Bunun için ikili karşılaştırmaların mantıksal tutarlılığı kontrol edilmelidir (Öztürk ve Batuk, 2010). Buradan hareketle kriterlerin önem ağırlıklarının tutarlı bir şekilde ortaya konulup konulmadığını analiz etmek için de Tutarlılık Oranı (CR) ve Tutarlılık İndeksi (CI) hesaplanmalıdır.

Bunun için ilk olarak (n) faktör sayısı kullanılarak “(λ) Temel Değer” olarak adlandırılan bir katsayının hesaplanması gerekmektedir. λ'nın hesaplanması için, [A] karşılaştırma matrisi ile [W] öncelik vektörünün matris çarpımından [D] sütun vektörü elde edilmelidir (Karakaş, 2018; Denklem 3.8).

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & & a_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Elde edilen [D] sütun vektörünün her bir elemanı [W] sütun vektörünün karşılığında yer alan elemana bölünür (Denklem 3.9) ve çıkan sonuçların aritmetik ortalaması alınarak en

büyük öz değer olarak adlandırılan λ_{max} değeri hesaplanır (Karakaş, 2018; Denklem 3.10). Burada λ_{max} matrisin “en büyük veya asıl öz değeridir”, n ise matrisin sırasıdır (Yalçın vd., 2011).

$$E_i = \frac{d_i}{w_i} \quad (3.9)$$

↓

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad (3.10)$$

Bu elde edilen “en büyük öz değer”, CI hesaplamak için kullanılır. (Phukon, 2012; Denklem 8). CI, Denklem 3.11’de belirtilen formül kullanılarak hesaplanır (Demirel, 2023).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3.11)$$

CR ise, CI’nin Rastgele İndeksi (RI) ile bölünmesiyle hesaplanır (Denklem 3.12). RI, parametre sayısına bağlı olarak değişen bir standart düzeltme değeri (Demirel, 2023) olmakla birlikte Saaty’ın tablo halinde sunmuş olduğu verilerdir (Tablo 3.3). Burada RI yerine kriter sayısına göre tabloya bakılıp karşısındaki değeri yazılır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3.12)$$

Tablo 3.3. Karşılaştırma Matrislerinde Rastgelelik İndeksi

n	RI
1	0
2	0
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.51
11	1.52
12	1.54
13	1.56
14	1.58
15	1.59

Kaynak: (Saaty, 1980)

CR, ikili karşılaştırmalar arasındaki tutarlılığı ölçer ve 0 ile 1 arasında bir değer alır. CR, 0,10'a eşit veya daha küçük olduğunda karşılaştırmaların tutarlı olduğunu ve uzmanların verdiği kararların güvenilir olduğunu gösterir. Ancak CR 0,10'dan büyük olduğunda uzmanların değerlendirmelerinin çelişkili olabileceğini gösterir (Denklem 3.13) ve uzmanların değerlendirmelerinin yeniden gözden geçirmesi gerekir (Saaty & Vargas, 2000). Diğer yönden yüksek tutarsızlık durumunda karşılaştırma matrisinin yeniden oluşturulması gerekmektedir (Bozdoğan ve Canpolat, 2022).

$$CR = \begin{cases} < 0.10 \\ \geq 0.10 \end{cases} \quad (3.13)$$

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

BULGULAR

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Ezine Çayı Havzası'nda Heyelana Neden Olan Faktörler

Bu bölümde Ezine Çayı Havzası'nda heyelana neden olan faktörlerin genel özellikleri, kapladıkları alanlar ile heyelan bölgeleri arasındaki ilişkilere değinilecektir.

4.1.1. Yükselti

Heyelan duyarlılık analizine dayalı çalışmalarda deniz seviyesini baz alan yükseklik parametresi sıklıkla kullanılmaktadır. Arazi yüksekliği biyolojik etmenlere ve doğal-yapay unsurlara etki edebilen, heyelanı tetikleyen faktörlerden biri olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle yükseklik faktörünün şev durağanlığına ve şev kırılmalarına yol açabilecek etkileri olduğu söylenebilir (Vivas, 1992).

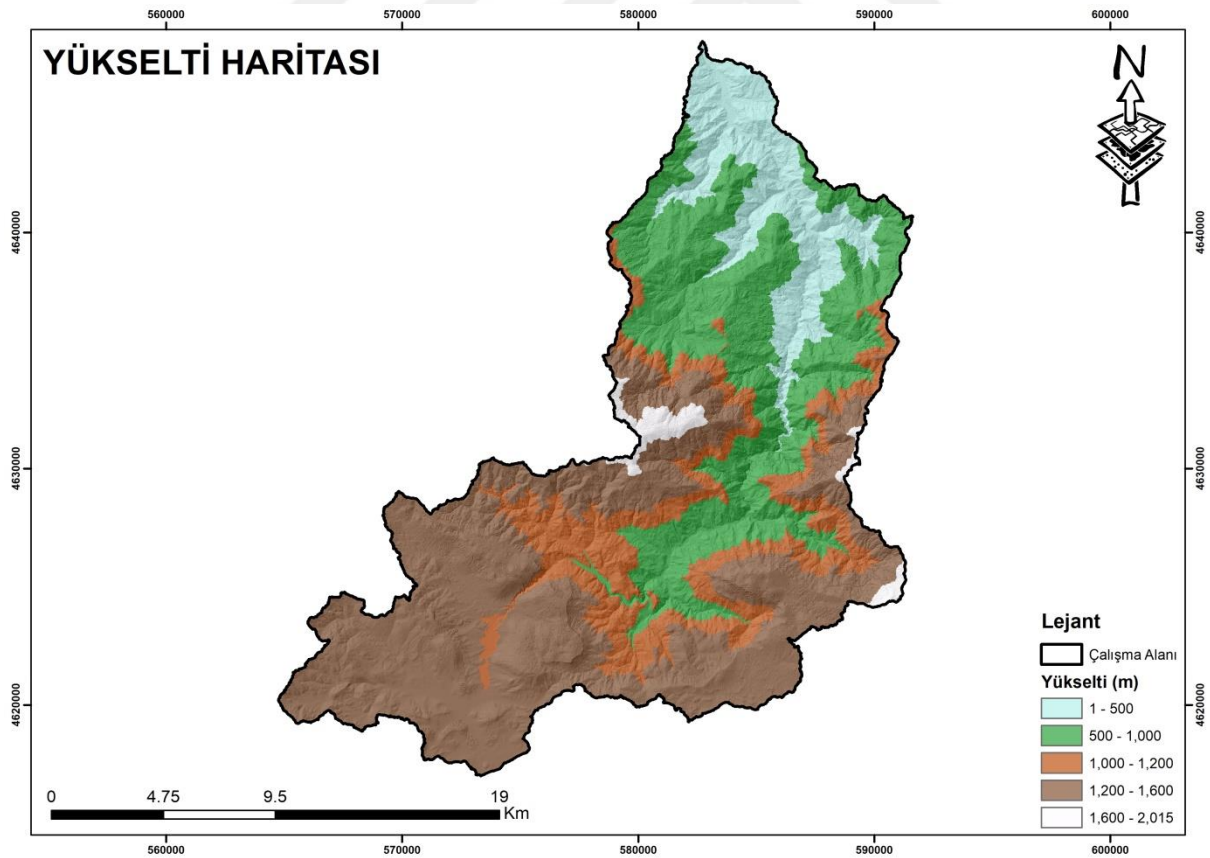
Yükseklik parametresi, heyelan duyarlılığını doğrudan etkilediğini belirten çalışma (Kayhan, 2021) olsa da bir yandan yağış ve sıcaklığı etkilemesi bir yandan da eğim ile birlikte yer çekimine etki etmesi bakımından kütle hareketlerini kolaylaştırdığı için heyelan olayı üzerinde dolaylı etkilere sahiptir (Taş vd., 2024).

Yüksekliğin farklı aralıklarda heyelan duyarlılığına etki eden bir faktör olduğu bazı bilimsel çalışmalarda ifade edilmektedir (Dai & Lee, 2002). Söz gelimi, yamaç eğiminin daha az ve örtü malzemesi kalın olması nedeniyle genelde 0-150 m arası çok düşük yükseklikler, daha az heyelana karşı duyarlı olarak değerlendirilmektedir. 150-400 m arası orta yükseklikteki alanlar, daha yüksek bölgelerden gelen malzeme ve ayrışma dolayısıyla oluşacak toprak örtüsü nedeniyle heyelanlara karşı daha duyarlı olarak değerlendirilmektedir. 400 m ve üzeri yüksek kotlardaki alanlar, kayalık türü malzemelerden oluştuğu ve daha alt kotlardaki malzemelere göre daha yüksek dayanıma sahip oldukları için heyelanlara karşı daha az duyarlı oldukları kabul edilmektedir (Aksoy, 2011). Bu durum orta yükselti sınıfların, çok yüksek sınıflara göre heyelana daha elverişli olduğunu göstermektedir (Demir, 2024). Dolayısıyla heyelanların oluşumunda, göreceli olarak daha yüksek kotlardaki bölgeler, daha düşük kotlardaki bölgelere göre heyelana karşı daha duyarlı olarak değerlendirilmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Bunun sebebi yüksek kesimlerde yer alan yamaçların daha fazla yağış alması ve sismik aktivitelerin daha yüksek oranda etkili olması olarak açıklanmaktadır (Karakaş, 2018).

Çalışma alanının yükselti haritası SYM (Sayısal yükseklik modeli) kullanılarak 0 m ile 2015 m arasında değişen yükselti değerleriyle 5 sınıfa ayrılarak üretilmiştir (Şekil 4.1). Ezine Çayı Havzası'nın en düşük noktası deniz seviyesidir. Havzanın en yüksek noktası ise 2015 m'dir. Çalışma sahasında yükselti değerlerinin kapladığı alan bakımından en fazla alan 1200-1600 m (%43,73) ve 1000-1200 m (%27,25) yükselti basamaklarında ve oran bakımından toplamda %70,98 dilimi kapsamakta, en az alan ise 1600-2015 m yükselti basamaklarında ve oran bakımından %1,92'lik bir dilimi göstermektedir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Yükselti İçin Alan ve Oran Değerleri

Yükselti (m)	Alan (ha)	Oran (%)
0-500	3.063,33	8,16
500-1000	7.116,48	18,95
1000-1200	10.236,51	27,25
1200-1600	16.423,92	43,73
1600-2015	719,82	1,92
TOPLAM	37.560,06	100,00



Şekil 4.1. Ezine Çayı Havzası'nın Yükselti Haritası

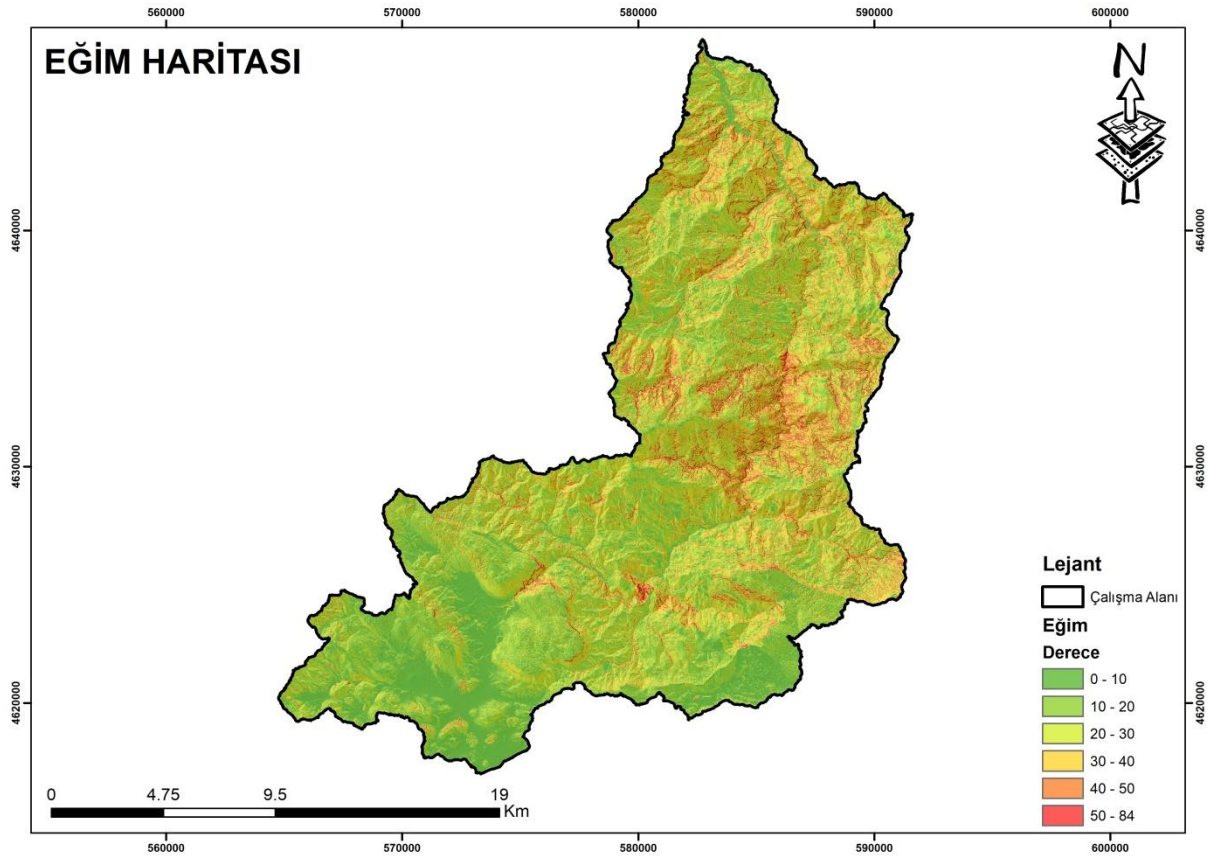
4.1.2. Eğim

Heyelanların oluşmasına etki eden en önemli topoğrafik faktörlerden biri arazinin eğimidir. Yükseltiye benzer şekilde toprak yapısı ile birlikte erozyon potansiyeli, suyun akış hızı ve toprak derinliği gibi heyelan üzerindeki etkili faktörleri doğrudan ya da dolaylı olarak şekillendirmesi nedeniyle eğim, heyelan araştırmalarında yaygın kullanılan parametrelerden birini oluşturmaktadır (Çellek, 2013). Eğim, yamaç boyunca yükseklik farklarına dayalı olarak hesaplanmaktadır. Dolayısıyla yamaç eğimi, topoğrafik özelliklerin yükseklik değerlerindeki değişim miktarına bağlı olarak belirlenen bir ölçüt olup, bu özelliklerin azalma yönünde yükseklik değerlerindeki değişim miktarının bir göstergesidir (Gallant & Wilson, 2000). Bununla birlikte heyelana neden olan diğer bir husus da yer çekimidir. Yer çekimini hızlandıran en önemli etken ise topografyanın eğim şartlarıdır (Bozdoğan ve Canpolat, 2022). Eğim arttıkça yer çekimi kuvveti artacağı için heyelan oluşma potansiyeli de yükselir (Özşahin, 2015a). Bundan dolayı yamaç eğimi, yer çekimine bağlantılı olarak malzemenin taşınmasına ve aşınmasına doğrudan etkili olmakta ve dolayısıyla erozyon potansiyeli, zemin yapısı ve yamaç yüzeyi gibi özellikleri de önemli derecede etkilemektedir (Çellek, 2013). Ayrıca yamaç eğimleri ile yer çekimi kuvveti pozitif bir korelasyon içerisindedir. Buna bağlı olarak eğim açısı arttıkça, kaya kütlelerinin eğim yönündeki ağırlığının gittikçe artması ve en sonunda kayma gerilmesinin kaymaya karşı koyan kuvvetleri (makaslama dayanımı) yenmesi sonucu, bu makaslama dayanımının aşıldığı yüzey boyunca, eğim yönüne doğru kütle hareketi meydana gelmektedir (Çellek, 2020). Bunun yanı sıra killi serilerin yaygın olduğu alanlarda su koşulları da elverişli ise heyelanın gelişme potansiyeli artmaktadır (Bozdoğan ve Canpolat, 2022). Özellikle eğimli topografyada, su ile doymuş kil tabakalarının yaygın olduğu sahalarda, heyelan vakaları her zaman meydana gelebilir (Ekinci, 2011).

Çalışma alanının eğim haritası SYM kullanılarak 0° ile 84° arasında değişen eğim dereceleriyle 6 sınıfa ayrılarak üretilmiştir (Şekil 4.2). Üretilen eğim haritasında en düşük eğim derecesi 0°, en yüksek eğim derecesi 84°'dir. Ayrıca araştırma sahasında yüksek eğimli alanların genel olarak vadi yamaçlarında olduğu; vadi tabanlarında ise eğimin daha az olduğu gözlemlenmiştir. Buradan hareketle akarsu kıyı kesiminden uzaklaştıkça eğim artmaktadır. Çalışma sahasında eğim değerlerinin kapladığı alan bakımından en fazla alan 50-84° eğim derecelerindedir ve oran bakımından %29,70 dilimi kapsamaktadır. Kapladığı en az alan ise 0-10° eğim değerlerindedir ve oran bakımından %7,45'lik bir dağılım göstermektedir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. Eğim İçin Alan ve Oran Değerleri

Eğim (°)	Alan (ha)	Oran (%)
0-10	2.773,08	7,45
10-20	4.636,35	12,46
20-30	6.135,84	16,49
30-40	6.577,29	17,68
40-50	6.037,83	16,23
50-84	11.049,57	29,70
TOPLAM	37.209,96	100,00



Şekil 4.2. Ezine Çayı Havzası'nın Eğim Haritası

4.1.3. Bakı (Eğim Yönü)

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi ile ilgili çalışmalarda bakı (eğim yönü), sıkça kullanılan bir parametredir. Bakı kavramı, saat yönünde 0°dan 360°a kadar olan derecelendirilmiş azimut değer olarak kabul edilmektedir (Çellek, 2013).

Bakı parametresinin heyelanlar üzerindeki etkisi konusunda evrensel bir kabulden söz etmek mümkün değildir (Çellek, 2013). Bu faktörün heyelanın oluşumunda doğrudan etkisi olduğu hakkında genel bir görüş bulunmamakla birlikte heyelanın oluşumu açısından bakı

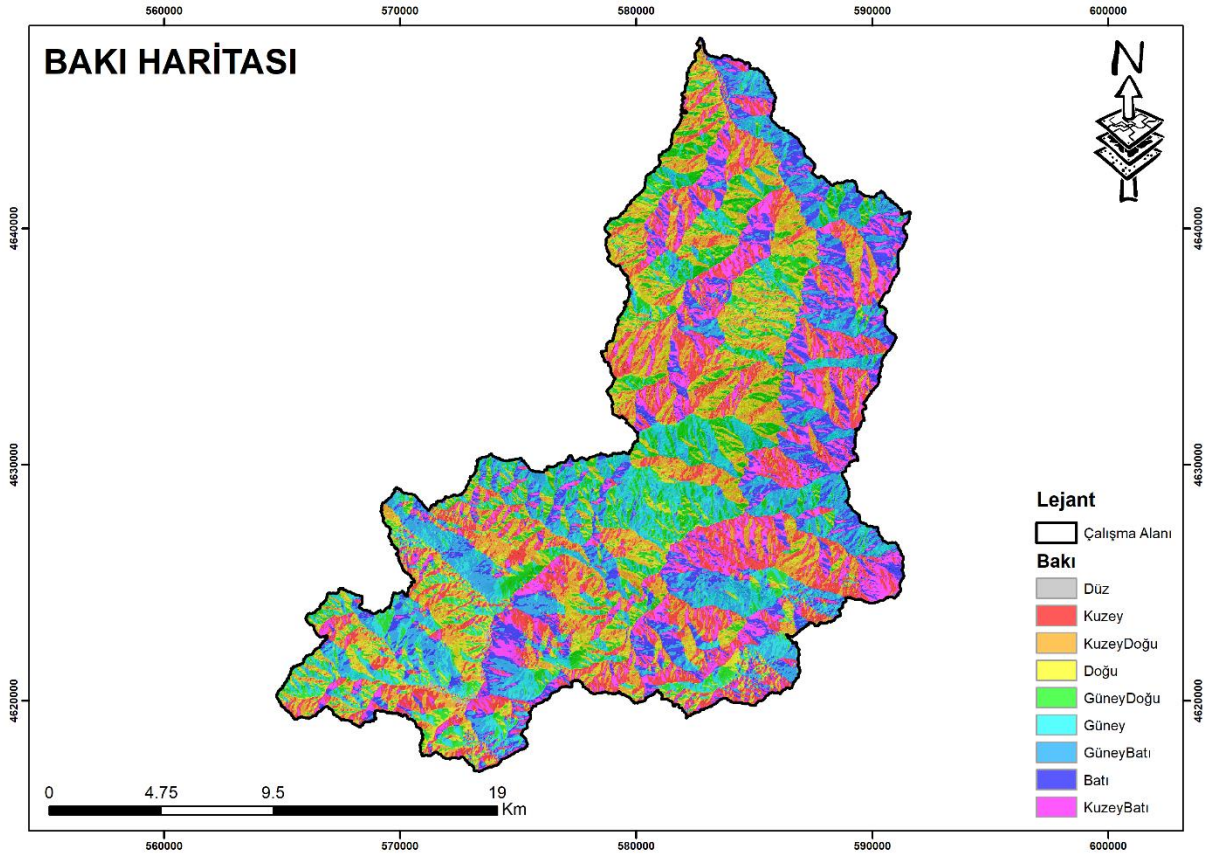
parametresi üzerinde çalışmalar yapılmaktadır (Carrara vd., 1991). Bazı araştırmacılar eğim yönünün heyelan oluşumu için önemli faktörlerden biri olduğunu belirtmekte iken buna karşın bazı diğer araştırmacılar ise heyelan oluşumu için eğim yönünün o kadar da önemli olmadığını düşünmektedir (Atkinsons ve Massari, 1998). Buna karşılık birçok araştırmacı yaptıkları istatistiksel çalışmalar sonucunda heyelanların çoğunlukla belli yönelimdeki yamaçlarda gerçekleştiğini ortaya koymuşlardır (Berber ve Ceryan, 2023). İncelenen alanın morfolojik yapısının, özellikle bölgenin genel yağış yönü ve güneş ışığını alması gibi meteorolojik olaylar heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasında etkili olmaktadır.

Yoğun yağış alan yamaçlar, topografik eğim ile zeminin türü, geçirimsizliği, gözenekliliği, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsü ve yağışın meydana geldiği mevsim gibi birçok faktör tarafından kontrol edilen süzülme kapasitesine de bağlı olarak hâkim bakıya sahip yamaçlardaki malzeme, diğer yamaçlara göre daha çabuk doygunluğa ulaşır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Özellikle yağışın fazla olduğu yamaçların heyelan duyarlılığı daha yüksektir ve güneşten gelen ısı enerjisi, terleme ve buharlaşma (evapotranspirasyon) ile su kaybına neden olmaktadır (Dalkes ve Korkmaz, 2023). Söz gelimi, kuzey yamaçların denizden gelen nemli etkiye sahip olup daha fazla yağış alması, güneşlenme süresinin az olması ve suya daha doygun olması gibi özelliklerinden dolayı heyelana etkisinin daha fazla olacağı düşünülmüştür (Taş vd., 2024). Özellikle Karadeniz Bölgesinin genelinde kuzeye bakan yamaçların heyelan duyarlılığı daha yüksektir. Bunun sebebi ise bölgeye kuzeyden gelen yağışların etkili olması ve kuzeye bakan yamaçların toprak nemliliği yağışlardan sonra uzun bir süre korunmakta olmasıdır (Çellek, 2013).

Çalışma alanının bakı haritası SYM kullanılarak üretilmiştir (Şekil 4.3). Bakı yönlerinin toplam çalışma alanının Kuzey yönü %41,01'ine, Güney yönü %36,09'una, Doğu-Batı yönü %22,36'sına ve Düz alanlar ise %0,54'üne sahip olduğu görülmektedir (Tablo 4.3). Bakı yönlerinin arazideki hakimiyeti incelendiğinde, kuzeye bakan yamaçların %41'lerde en fazla orana sahiptir. Bu değer ile arazinin genelinde denizden gelen hava akımlarının bölgede daha fazla alanı etkilediği neticesine varılmaktadır. Kuzey yamaçlar, kapladığı alan bakımından en fazla olan yamaçlardır (15.258,42 ha). Kapladığı alan bakımından en fazla ikinci eğim yönü ise güney yamaçlardır (13.430,88 ha). En az alan ise düz alanlardır (202,05 ha).

Tablo 4.3. Bakı İçin Alan ve Oran Değerleri

Bakı	Alan (ha)	Oran (%)
Kuzey	15.258,42	41,01
Güney	13.430,88	36,09
Doğu-Batı	8.318,61	22,36
Düz Alanlar	202,05	0,54
TOPLAM	37.209,96	100,00



Şekil 4.3. Ezine Çayı Havzası'nın Bakı Haritası

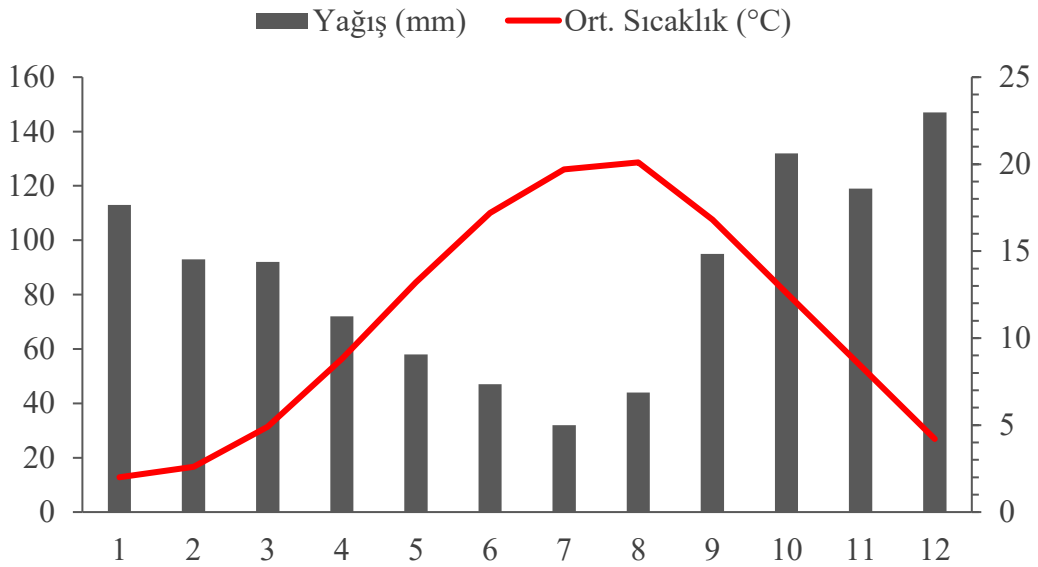
4.1.4. Yağış

İklim koşulları, heyelanların oluşmasında büyük bir öneme sahiptir. Özellikle yağış şartları, bir bölgenin heyelan duyarlılığı açısından önemli bir faktördür. Dolayısıyla heyelanların büyük bir çoğunluğu şiddetli yağışlardan sonra meydana gelir. Türkiye’de özellikle ilkbahar mevsiminde yağışların ve kar erimelerinin fazla olması heyelanların bu mevsimde daha çok yaşanmasına neden olmaktadır (Pektezel, 2015). Yağışlar, akarsuların özellikle bu dönemlerde akış hızının yükselmesine ve yer değiştirmesine neden olmakla birlikte aynı zamanda yamaçtaki topuk kısımlarının aşınmasına da neden olmaktadır. Aşınan

bu topuk kısmı ise zaman içerisinde heyelanların meydana gelmesine neden olmaktadır (Bozdoğan ve Canpolat, 2022).

Zemini oluşturan toprak ve ana kayanın içine yağış fazlalığı sonucu oluşan suyun bir kısmı sızar. Zemine sızan sular sonucunda zemin suya doymun hale gelir ve yeraltı suyu seviyesi yükselir ardından yamaç kütlesinin ağırlığını arttırarak yamaç stabilitesini bozar aynı zamanda suya doymun (satüre) haldeki yamaçlarda, yamaç unsurlarını bir arada tutan bağ direnci (kohezyon) zayıflar veya tamamen ortadan kalkarak kütle akıcı hale geçer (Hoşgören, 1992: 23).

Yağış verileri bölgedeki yağışların yoğunluğunu, sıklığını ve mevsimsel dağılımını vb. faktörleri içermektedir. Heyelan duyarlılığı haritalarının hazırlanmasında bu veriler kullanılabilir (Demirel, 2023). Kastamonu ili Bozkurt ilçesi için 1991-2021 yılları arası 30 yıllık veriler incelendiğinde, kış mevsiminde sıcaklıklar düşük ve yağışlı geçmekte; yaz mevsiminde ise sıcaklıklar yüksek ve yağışlar düşük geçmektedir (Şekil 4.4).



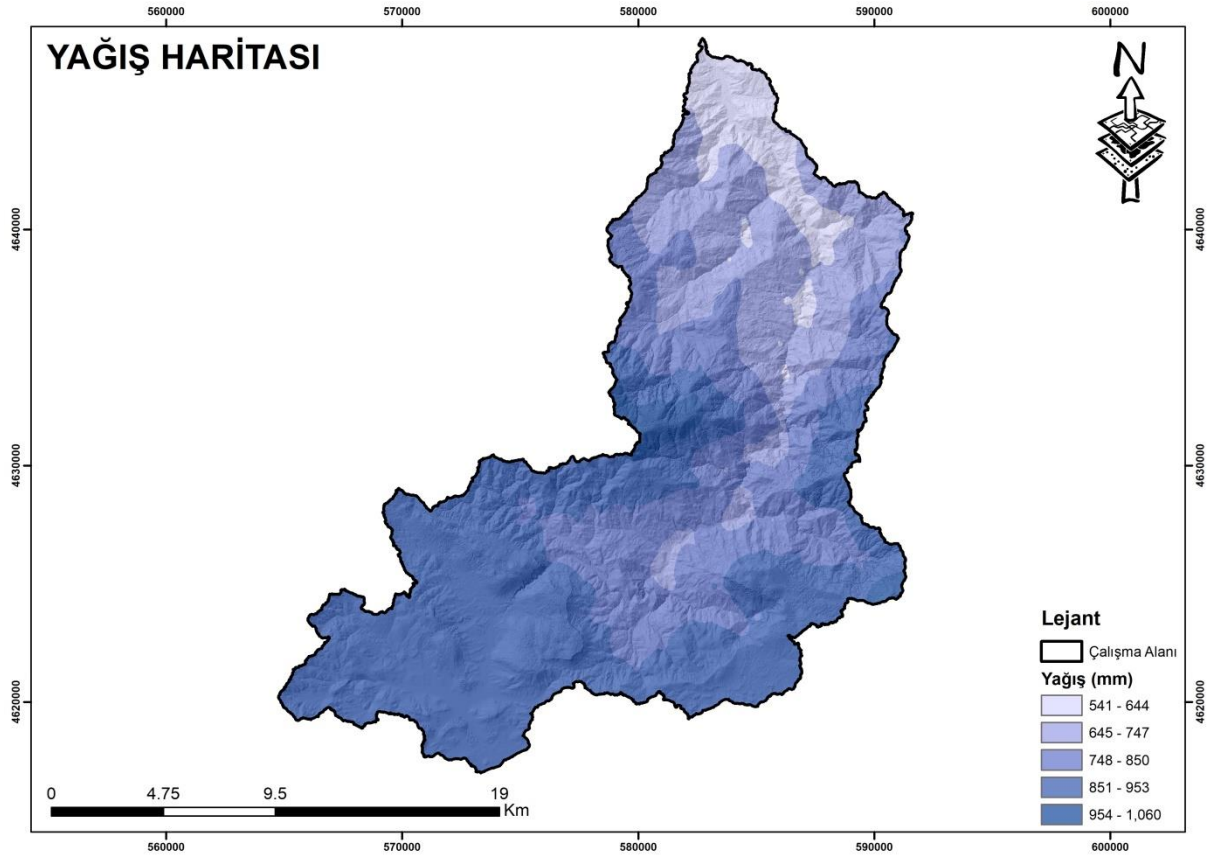
Şekil 4.4. 1991-2021 Yılları Arası Kastamonu/Bozkurt Ortalama Sıcaklık ve Yağış Grafiği

Çalışma alanının yağış durumunu tespit edebilmek için açık kaynak Climate sitesindeki verilerden yararlanılmıştır. Bu veriler kullanılarak enterpolasyon (IDW) tekniği uygulanmış, çalışma sahasının yağış koşulları ortaya konulmuştur (Şekil 4.5). Çalışma alanının yağış haritası 541 mm ile 1060 mm arasından değişen yağış miktarıyla 5 sınıfa ayrılarak üretilmiştir. Üretilen yağış haritasında en düşük yağış miktarı akarsuya yakın yerlerde, en yüksek yağış miktarı ise yükseltinin arttığı alanlarda görülmektedir. Çalışma

sahasında yağış değerlerinin kapladığı alan bakımından en fazla 17,515,83 ha (851-953 mm); en az alan ise 791,13 ha'lık (954-1060 mm) bir dağılım göstermektedir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. Yağış İçin Alan ve Oran Değerleri

Yağış (mm)	Alan (ha)	Oran (%)
541-644	3.188,55	8,57
645-747	6.844,21	18,39
748-850	8.871,83	23,84
851-953	17.515,83	47,07
954-1060	791,13	2,13
TOPLAM	37.211,54	100,00



Şekil 4.5. Ezine Çayı Havzası'nın Yağış Haritası

4.1.5. Litoloji

Bir arazi alanının jeomorfolojisiyle ilgili verilerin ana kaynağı, o arazinin litoloji özellikleri tarafından belirlenir (Moradi vd., 2012). Jeolojik çalışmaların ve araştırmaların bir parçası olan heyelan olayı da arazinin malzemesinin litolojisi ve aşınma özellikleriyle ilgilidir (Moradi vd., 2012). Dolayısıyla litoloji, heyelanların meydana gelmesinde etkili olan faktörlerin başında yer alır.

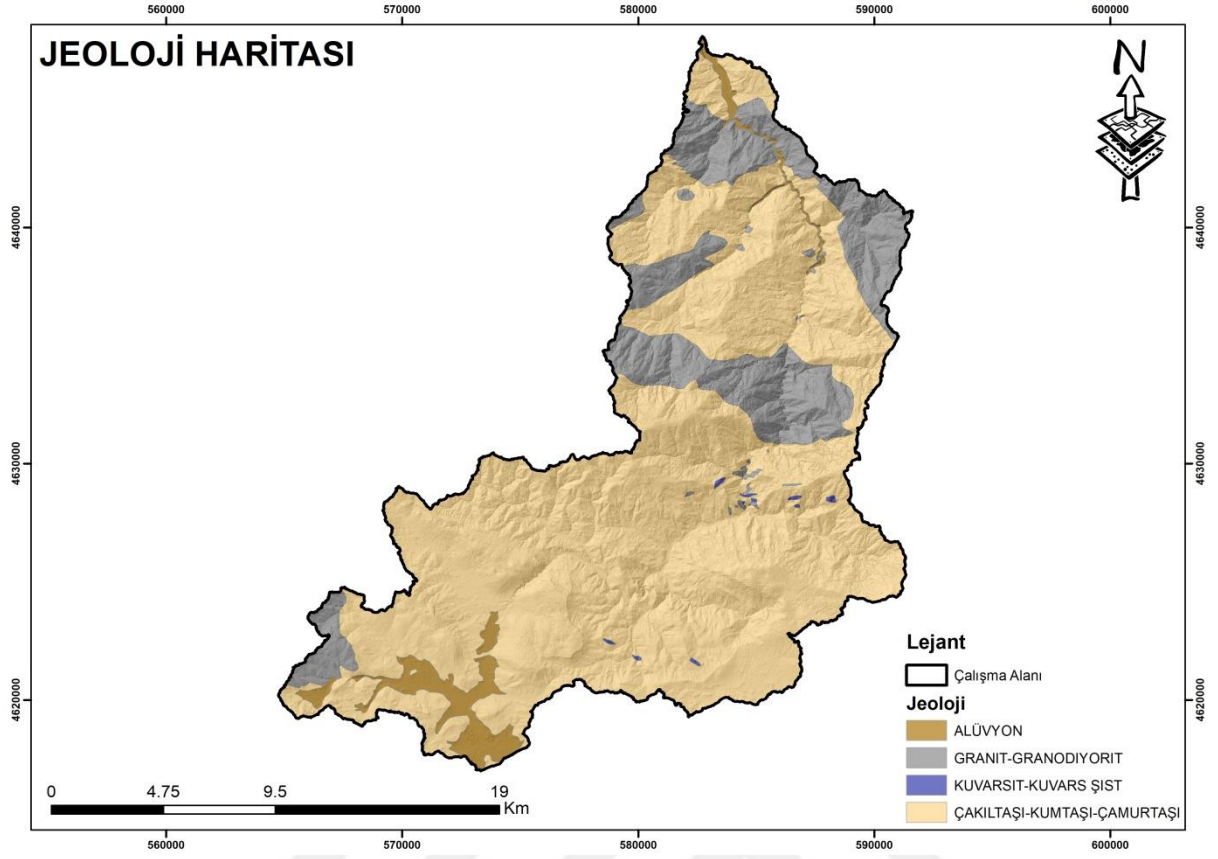
Kayaç türünün fiziksel, kimyasal özellikleri ve ayrışma derecesi kaymayı etkileyen önemli faktörlerdendir (Karakaya, 2023). Kayacın mekanik duraylılığına etki yapan yamacı oluşturan malzemenin tanelerinin çapı, biçimi, dağılışı, diziliş yüzeylerinin kayganlık ve pürüzlülük derecesi, taneleri birleştiren çimentonun miktarı, cinsi ve çimentolanma derecesi en önemli litolojik yapı özelliklerindendir (Ekinci, 2011: 104).

Çeşitli litolojiye sahip bölgelerin su iletim özellikleri, kayma gerilimleri ve kaymaya karşı duyarlılıkları farklı olmakta, farklı duyarlılık değerlerine sahip bölgeler oldukları için de heyelan duyarlılıkları farklılaşmaktadır (Dalkes ve Korkmaz, 2023). Bundan ötürü her kayacın kendine has özellikleri heyelan duyarlılığına olan etkisini de değiştirmektedir. Söz gelimi, zeminde pekiştirme olayının oluşmadığı killi ve geçirimsiz birimler üzerinde su drene olamaz. Geçirimliliği yüksek olan kum ve çakıl gibi zeminler içindeki su oldukça çabuk dışarı çıkmakta ve pekiştirme oldukça hızlı gelişmektedir. Kil minerallerinin hidrasyonu, suyu emmesi ve suya doymuş hale gelmesiyle killi zeminlerin kohezyonu azalmaktadır. Bu açıdan killi birimler kütle hareketleri için daha elverişli şartlar ortaya koymaktadır (Ekinci, 2005: 126; Haliloğlu, 1997).

Çalışma alanının 1/25000 ölçekli MTA jeoloji verisi temin edilerek 4 alt sınıf oluşturulmuş ve jeoloji haritası üretilmiştir (Şekil 4.6). Çalışma alanı 4 litolojik birime ayrılmasıyla bu birimler yaşlıdan gence doğru çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı ardalı birim; kuvarsit, kuvars, şist ardalı birim; granit, granodiyorit ve alüvyon şeklinde sıralanmaktadır. Kapladığı alan bakımından en fazla olan kırıntılar (çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı), oran bakımından %78,81'lik dilime sahiptir. Kapladığı alan bakımından en az olan ise granit-granodiyorittir ve oran bakımından %0.16'lık bir dağılımı içerir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5. Litoloji İçin Alan ve Oran Değerleri

Litoloji	Alan (ha)	Oran (%)
Alüvyon	1.408,00	3,74
Kırıntılar	29.696,00	78,81
Şist	6.513,00	17,29
Granit	62,00	0,16
TOPLAM	37.679,00	100,00



Şekil 4.6. Ezine Çayı Havzası'nın Jeoloji Haritası

4.1.6. Eğrisellik (Eğim Şekli)

Yamaçların eğrilik durumu, heyelan üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir (Pektezel, 2015) ve heyelanların ortaya çıkmasında etkili rol oynar (Nefeslioglu vd., 2008). Eğrisellik yamaçların iç bükey, dış bükey ve düz eğim olma durumunu ortaya koyan bir parametredir (Berber ve Ceryan, 2023). Mikroklimatik şartları, suyun akış yönünü, toprak ve bitki örtüsü özelliklerini yamaçların içbükey ve dışbükey olma özelliği etkilemektedir. Özellikle yamaçların içbükey ve dışbükey olma durumu, drenaj sahasını belirlemektedir. Suyun drenaj sahasının fiziksel karakteri de akışın hızlanmasını ya da yavaşlamasını kontrol ederek heyelan davranışını etkilemektedir (Akıncı vd., 2010). Ayrıca dışbükey yamaçların eğimi, içbükey yamaçların eğiminden daha fazladır. Buradan hareketle suyun hızlı hareketi nedeniyle dışbükey yamaçlarda toprak nemi göreceli olarak düşüktür (Mater, 1998).

Heyelan duyarlılığının hangi yamaçlarda daha fazla olduğu konusunda çeşitli tartışmalar araştırmacılar tarafından yapılmaktadır. Bazı çalışmalarda dışbükey yamaçların heyelan duyarlılığının daha yüksek olduğunu ifade ederken (Kayastha vd., 2013) bazı çalışmalarda ise içbükey yamaçların heyelan duyarlılığının daha yüksek olduğunu (Devkota vd., 2013) belirtmektedir. Çellek (2013), iç bükey yamaçlarda yüzey sularının dış bükey

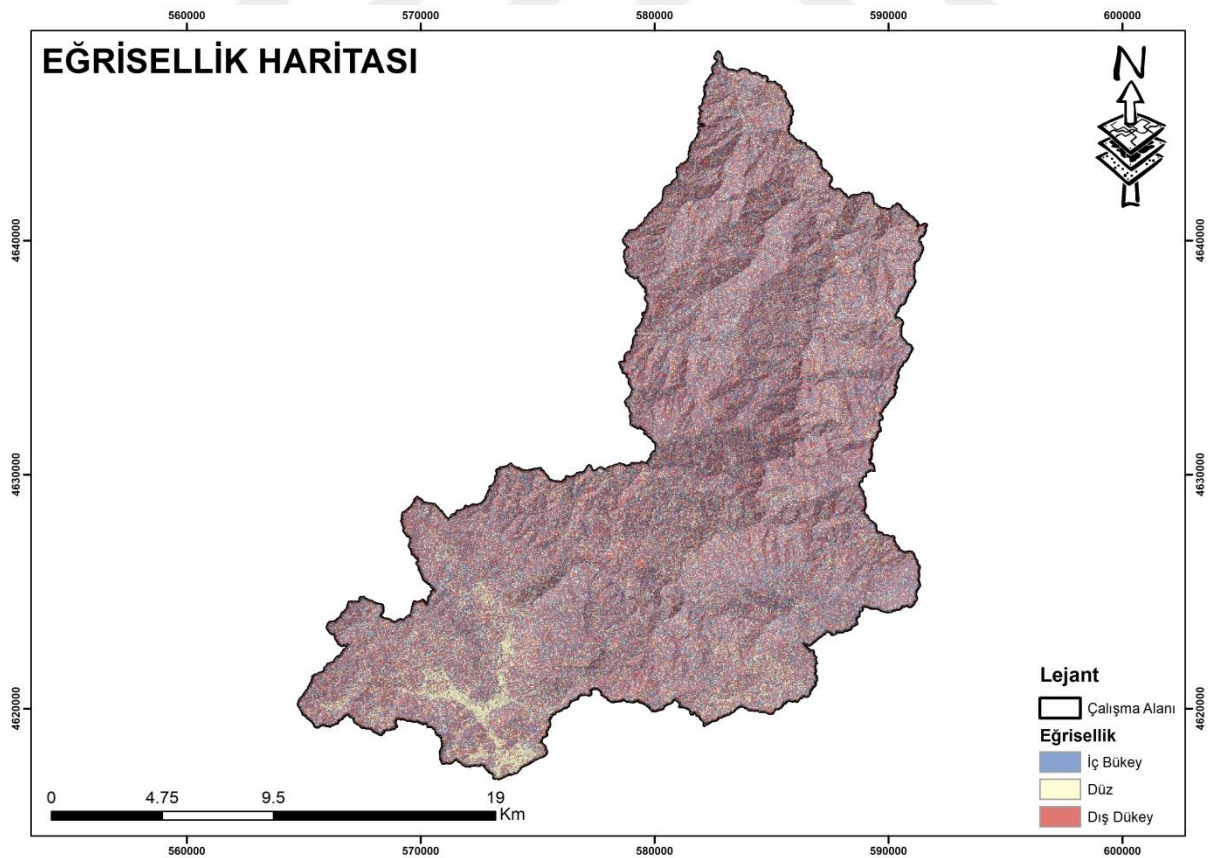
yamaçlara göre daha fazla bulunması heyelan duyarlılığının artmasına neden olduğunu ifade etmiştir.

Eğrisellik sınıfları üç gruba ayrılmaktadır. Eğimin yukarı doğru dışbükey olduğu yerlerde negatif (-), yukarı doğru içbükey eğime sahip alanlarda pozitif (+) ve sıfıra (0) yakın bir değer ise doğrusal yüzeyi göstermektedir (Das vd., 2022).

Çalışma alanı için eğrisellik faktörü SYM ile 3 farklı sınıfa ayrılarak üretilmiştir (Şekil 4.7). Düz eğim olan yamaçlar 23.823,72 ha'lık (%63,43) en fazla alan kaplayan; iç bükey olan yamaçlar ise 5.408,55 ha'lık (14,40) en az alan kaplayan eğrisellik durumudur (Tablo 4.6).

Tablo 4.6. Eğrisellik İçin Alan ve Oran Değerleri

Eğrisellik	Alan (ha)	Oran (%)
İçbükey	5.408,55	14,40
Düz Eğim	23.823,72	63,43
Dışbükey	8.327,79	22,17
TOPLAM	37.560,06	100,00



Şekil 4.7. Ezine Çayı Havzası'nın Eğrisellik Haritası

4.1.7. Arazi Kullanımı

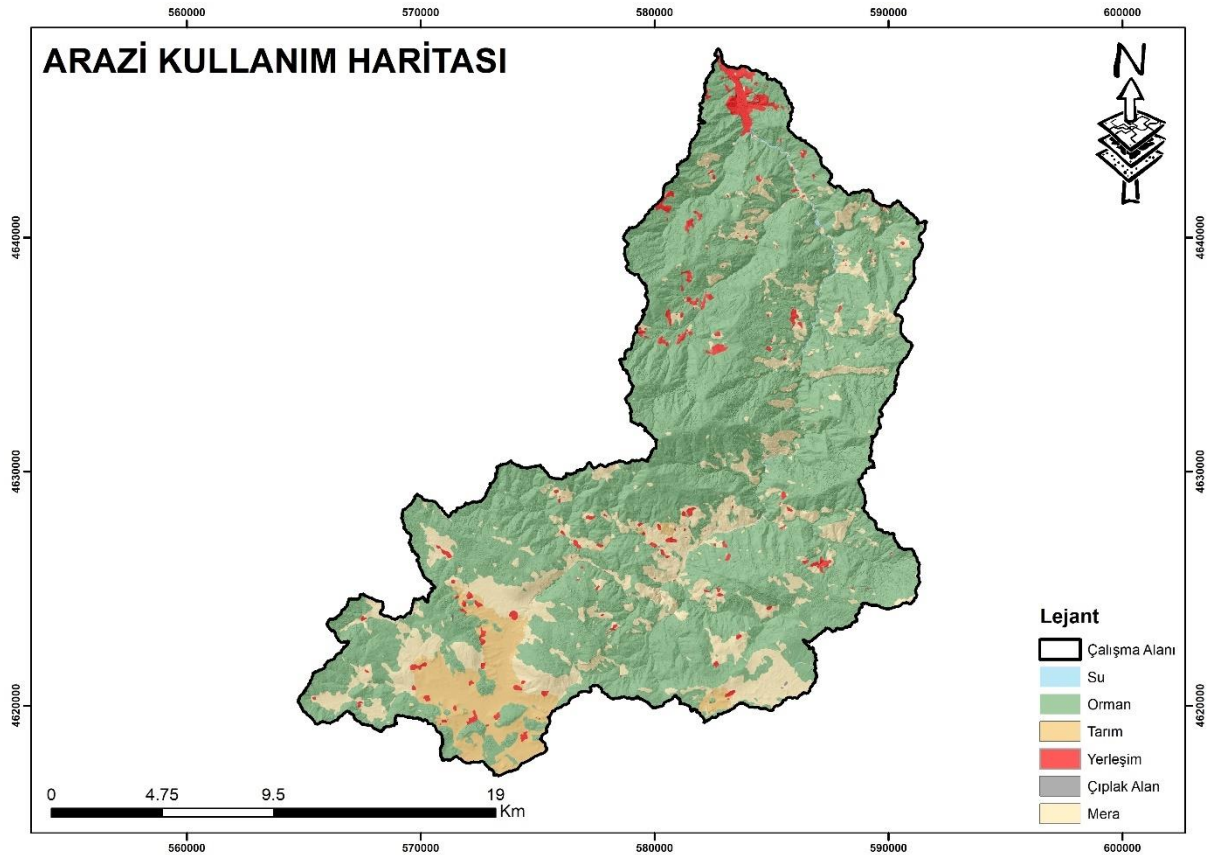
Arazi kullanım verisi bir bölgedeki arazi kullanımının türü, yoğunluğu ve dağılımı hakkında bilgi sağlar. Dolayısıyla bu parametrenin doğru bir şekilde yorumlanması ve analiz edilmesi heyelan olaylarının önlenmesi, azaltılması ya da yönetimi açısından hayati bir rol oynar. Söz gelimi heyelan oluşumunu ormanlık alanlar, meralar, tarım arazileri, yerleşim alanları ve endüstriyel tesisler gibi çeşitli arazi kullanım türleri farklı şekillerde etkileyebilir. Böylelikle bazı arazi kullanım türleri toprağın erozyona karşı korunmasına yardımcı olurken bazı arazi kullanım türleri ise toprağı daha fazla erozyona açık hale getirebilir (Demirel, 2023).

Literatürde farklı çalışma alanları için yapılan incelemelerde heyelan olaylarının oluşumunda arazi türlerinin etkisinin değiştiğı görülmektedir (Karakaş, 2018). Mehrotra vd. (1992), tarafından yapılan çalışmada heyelanların çoğı tarım alanlarında veya bitki örtüsünün olmadığı alanlarda meydana geldiğini tespit etmiştir. Diğer yandan Lee & Min (2001), araştırmalarında yerleşim ve tarım alanlarının düz alanlarda yer almasından dolayı heyelan olaylarının ormanlık alanlarda meydana geldiğini belirtmişlerdir. Bu iki farklı sonuç, araştırmaların yapıldığı coğrafi bölgeye, iklim koşullarına, arazi özelliklerine ve başka faktörlere bağılı olabilir. Bu yüzden heyelan olaylarının oluşumunu etkileyen faktörlerin geniş çerçevede değerlendirilmesi ve her bölge için ayrı ayrı incelenmesi gerekir (Demirel, 2023). Başka bir açıdan bakacak olursak kütle hareketlerinin oluşma olasılığı arazi kullanımının yoğunluğuna göre farklılaşmaktadır (Bhatt vd., 2013). Söz gelimi, arazi kullanımının yoğunluğun arttığı sahalarda kütle hareketlerinin oluşma olasılığı artarken, yoğunluğunun azaldığı sahalarda ise kütle hareketlerinin oluşma olasılığının azaldığı ileri sürülmüştür (Yalçın, 2008). Buna en iyi örnek yerleşim alanlarında bilhassa ulaşım güzergâhlarında heyelan duyarlılığı daha yüksektir. Zira insan etkisinin artmasına bağılı olarak heyelan oluşumunun da arttığı belirtilmiştir (Özşahin, 2015a).

Çalışma alanının arazi kullanım haritası Corine 2018 verisinden su, ormanlık alanlar, tarım alanları, yerleşim alanları, çıplak alanlar ve mera alanları olmak üzere 6 sınıfa ayrılarak üretilmiştir (Şekil 4.8). Corine 2018 verilerine göre; Ezine Çayı Havzası'nda ormanlık alanlar %76,36, mera alanları %15,91, tarımsal alanlar %5,34, çıplak alanlar %0,04 ve yerleşim alanları %2,19 olarak yer kaplamaktadır. Ezine Çayı Havzası'nda ormanlık sahalardan en fazla yer kaplayan; çıplak alanlar ise en az yer kaplayan sahalardır (Tablo 4.7).

Tablo 4.7. Arazi Kullanımı İçin Alan ve Oran Değerleri

Arazi Kullanımı	Alan (ha)	Oran (%)
Su	61,58	0,16
Orman	28.676,45	76,36
Tarım	2.004,14	5,34
Yerleşim	822,18	2,19
Çıplak Alan	13,60	0,04
Mera	5.976,15	15,91
TOPLAM	37.554,10	100,00



Şekil 4.8. Ezine Çayı Havzası'nın Arazi Kullanım Haritası

4.1.8. Toprak

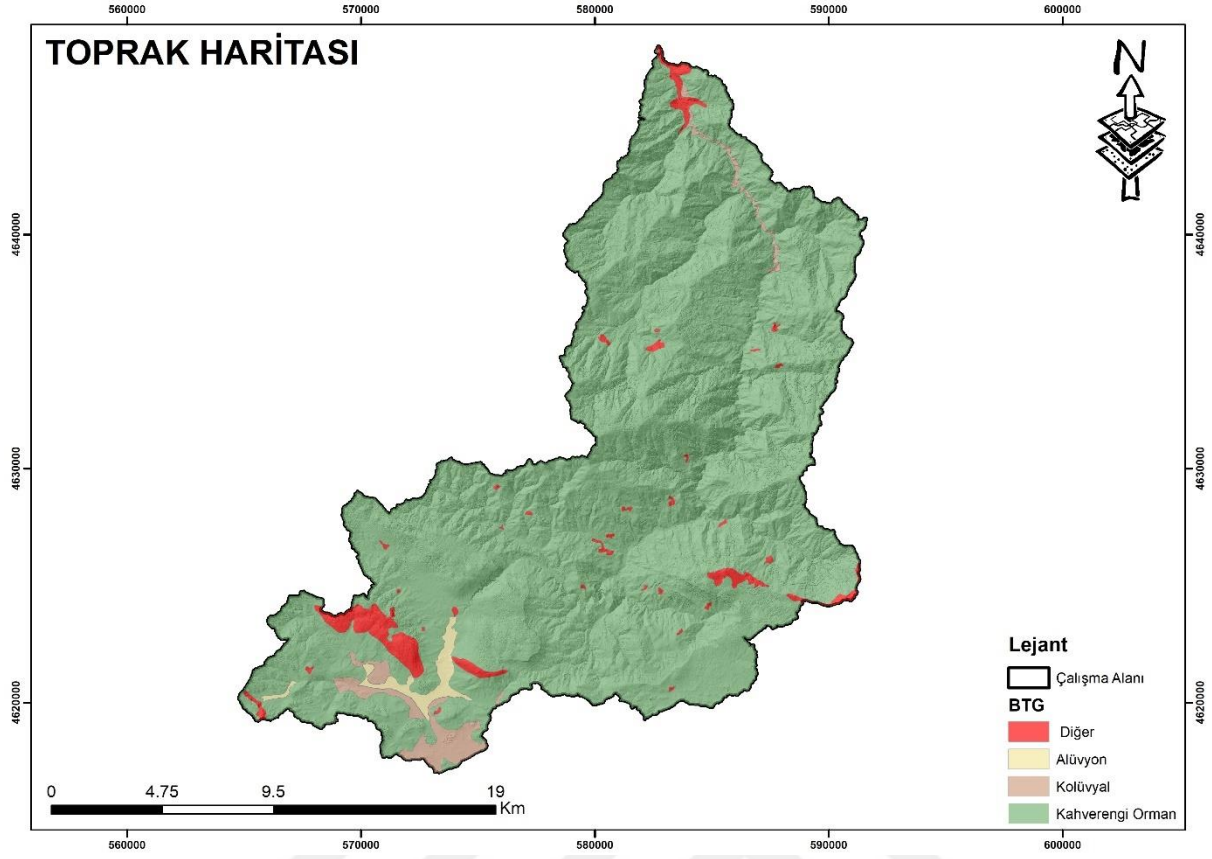
Toprağın tane büyüklüğü, dizilişi ve türü kısaca toprağın tekstür özellikleri heyelan oluşumunu etkileyen önemli bir faktördür. Toprak tekstürü, yüzey sularının sızma ve geçirimsizlik kapasitesini etkiler. Sızma, çakıllı ve kumlu gibi iri taneli topraklarda fazla; orta ve ince tekstürlü killi, siltli, balçıklı topraklarda ise daha azdır. Heyelan oluşumuna karşı sızma kapasitesi düşük topraklar, duyarlılık gösterirler (Ekinci, 2011: 124). Söz gelimi alüvyal topraklar, kumlu ve çakıllı olduklarından sızma kapasitesi fazladır. Dolayısıyla bu

topraklar yakın bir geçmişte oluştuklarından ve araştırma alanında daha çok vadi tabanlarında yer aldıklarından heyelan duyarlılıkları çok düşüktür. Vertisöller ise, zengin kil içeriğine sahip olduklarından (Efe, 2010) sızma kapasitesi düşüktür ve dolayısıyla heyelan duyarlılıkları çok yüksektir (Pektezel, 2015). Kahverengi orman toprağı ise, en fazla 75 cm kadar olan kalınlığa rağmen genelde ultrabazik kayalar üzerinde geliştiklerinden yüksek oranda kil içermektedir. Yoğun oranda kil içeriğine ek olarak bu toprak tipinde, eğim değerlerinin ve ani yükselti artışlarının olduğu alanlarda heyelanların sayısı fazla olabilmektedir. Yine kolüvyal depolar, duraysız özelliklerinden dolayı heyelan olayları açısından hareketli ortamlar oluşturmaktadır (Bozdoğan ve Canpolat, 2022).

Çalışma alanının toprak faktörü 1/25000 ölçekli BTG verisinden 4 farklı sınıfa ayrılarak üretilmiştir (Şekil 4.9). Üretilen haritada başlıca toprak tipleri incelendiğinde; kahverengi orman toprağı (M) çalışma alanının %93,63'ünü kapsamaktadır. Bu bakımdan en fazla alana sahiptir (35.280,41 ha). Ilıman kuşakta ve çevresinde yaprak döken ormanların altında görülen bu topraklarda, organik madde üst toprak zonlarındaki minerale karışmıştır. Bir diğeri ise, akarsuyun düşük eğimli alanlarda ince malzemelerini biriktirdiği vadi tabanlarında oluşan alüvyal topraklardır (Cihangir, 2018). Alüvyal toprak (A) çalışma alanının %1,07'sini oluşturmakta ve en az alanı kapladığı (404,54 ha) görülmektedir. Bunların yanında yamaçlardan taşınan farklı boyuttaki kum ve çakılın eğimin düştüğü alanlarda birikmesi sonucu oluşan kolüvyal topraklar (K) da bulunmaktadır (Cihangir, 2018). Bu toprak ise çalışma alanının %2,28'ini (860,40 ha) kapsamaktadır (Tablo 4.8).

Tablo 4.8. Toprak İçin Alan ve Oran Değerleri

Toprak	Alan (ha)	Oran (%)
Alüvyal	404,54	1,07
Kolüvyal	860,40	2,28
Orman Toprağı	35.280,41	93,63
Diğer	1.133,86	3,01
TOPLAM	37.679,22	100,00



Şekil 4.9. Ezine Çayı Havzası'nın Toprak Haritası

4.1.9. Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI)

NDVI, bitkilerin duyarlı olduğu uydu görüntülerinde yakın kızıl ötesi ve kırmızı spektral aralıkların oranlanması ile elde edilen bir indistir (Erener vd., 2019; Göksu vd., 2015) ve arazinin bitki yoğunluk durumunu belirten bir parametre olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda NDVI faktörü, heyelan oluşumuna etkisinin belirlenmesi amacıyla heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanılmaktadır.

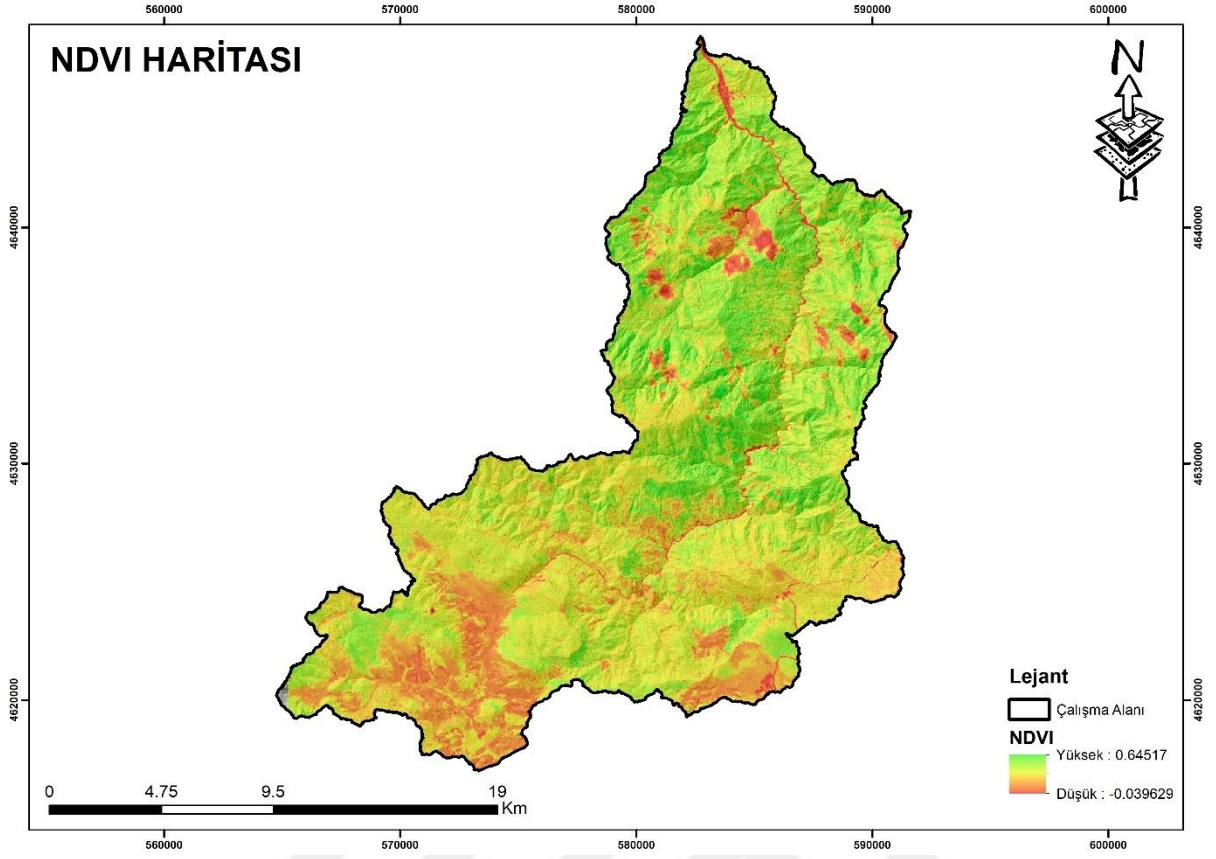
NDVI ile heyelan duyarlılığı arasındaki ilişkiyi, çeşitli araştırmalar incelemiştir (Demirel, 2023). Bu yönde literatür incelendiğinde bitki örtüsü özelliğinin heyelan oluşumunda olumlu ve olumsuz etkilerinden söz etmek mümkündür. Söz gelimi Lee vd. (2002), çalışmasında bitki köklerinin suyu tutarak boşluk suyu basıncının azalmasına katkı sağladığını ifade etmiş aynı zamanda yaşlı ve geniş gövdeli ağaçların bulunduğu bölgelerde heyelan riskinin daha az olduğunu belirtmiştir. Bir diğeri Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001), çalışmalarında bitkilerin zemindeki suyu emerek ortamdan uzaklaştırmasının yamacın dengesini olumlu anlamda etkilendiğini, buna karşın bitki köklerinin zeminde yayılmasıyla yüzey suyunun zemin içerisine doğrudan girmesini kolaylaştırması dolayısıyla yamaçlarda heyelan oluşumuna sebep olduğunu belirtmişlerdir.

NDVI sonuç değerleri bitki örtüsünün yoğunluk durumuna göre -1 ve +1 değerleri arasında değişmekte ve NDVI analizi aşağıdaki Denklem (4.1)'deki formül ile gerçekleştirilmektedir. Bu denklemde "NIR", yakın kıızıl ötesi bant yansıma değerine, "red" ise kırmızı bant yansıma değerine karşılık gelmektedir (Hasekioğulları, 2010).

$$NDVI = \left[\frac{NIR - red}{NIR + red} \right] \quad (4.1)$$

NDVI ile heyelan duyarlılığı arasında ters bir ilişki bulunmaktadır. Yani, NDVI değeri ne kadar düşükse o bölgenin heyelan duyarlılığı o kadar yüksektir. Bunun nedeni, bitki örtüsünün olmamasından kaynaklı toprağın erozyona daha açık hale gelmesi ve sonuç olarak heyelan riskini arttırmasıdır (Demirel, 2023). Söz gelimi NDVI değerleri 0,1 veya daha düşükse kayalık, çıplak sahalar vb. bitki örtüsünün bulunmadığı alanları; 0,2 ile 0,3 arası ayır, mera veya yeşil imenlik gibi orta yoğunlukta bitki alanları; 0,6 ile 0,8 arasında ise bitki örtüsünün çok yoğun olduğu ormanlık alanları ifade etmektedir (elik ve Karabulut, 2013).

Landsat 8 Band 4 ve Band 5 uydu görüntülerinden elde edilen çalışma alanının NDVI haritası, dağılıma uygun şekilde yüksek ve düşük olarak oluşturulmuştur (şekil 4.10). Oluşturulan harita kırmızıdan yeşile doğru renklendirilmiş ve bu renkler bitki örtüsü olmayan bölgelerden bitki örtüsü yoğun olan bölgelere doğru geçiş yapmaktadır. Haritada negatif değerler; su, kar, kayalık, toprak örtüsü ve bitki örtüsünden yoksun alanları; pozitif değerler ise bitki yoğunluğu bulunan bölgeleri göstermektedir (Dalkes ve Korkmaz, 2023). Neticede alışma alanının bitki örtüsü yoğunluğu geniş alanlarda yayılış göstermektedir.



Şekil 4.10. Ezine Çayı Havzası'nın NDVI Haritası

4.1.10. Fay Hattına Mesafe

Fay hatları, levhaların birbirine göre hareket etmesi sonucunda oluşan kırıklar ve çatlaklardır (Demirel, 2023). Ayrıca fay düzlemi sahaları, heyelanların oluşmasına zemin hazırlayacak belirli yükseltideki ve eğimdeki sahalardır (Bozdoğan ve Canpolat, 2022). Fay hatları boyunca oluşan hareketler, yer kabuğundaki kırıkları ve çatlakları tetikler ve sonucunda zeminin hareketliliğine neden olur (Luzi ve Pergalani, 1999). Oluşan bu sismik yatay ve düşey kuvvetler yamaçların stabilitesini bozmasıyla heyelanların meydana gelmesine neden olurlar (Değerliyurt, 2014).

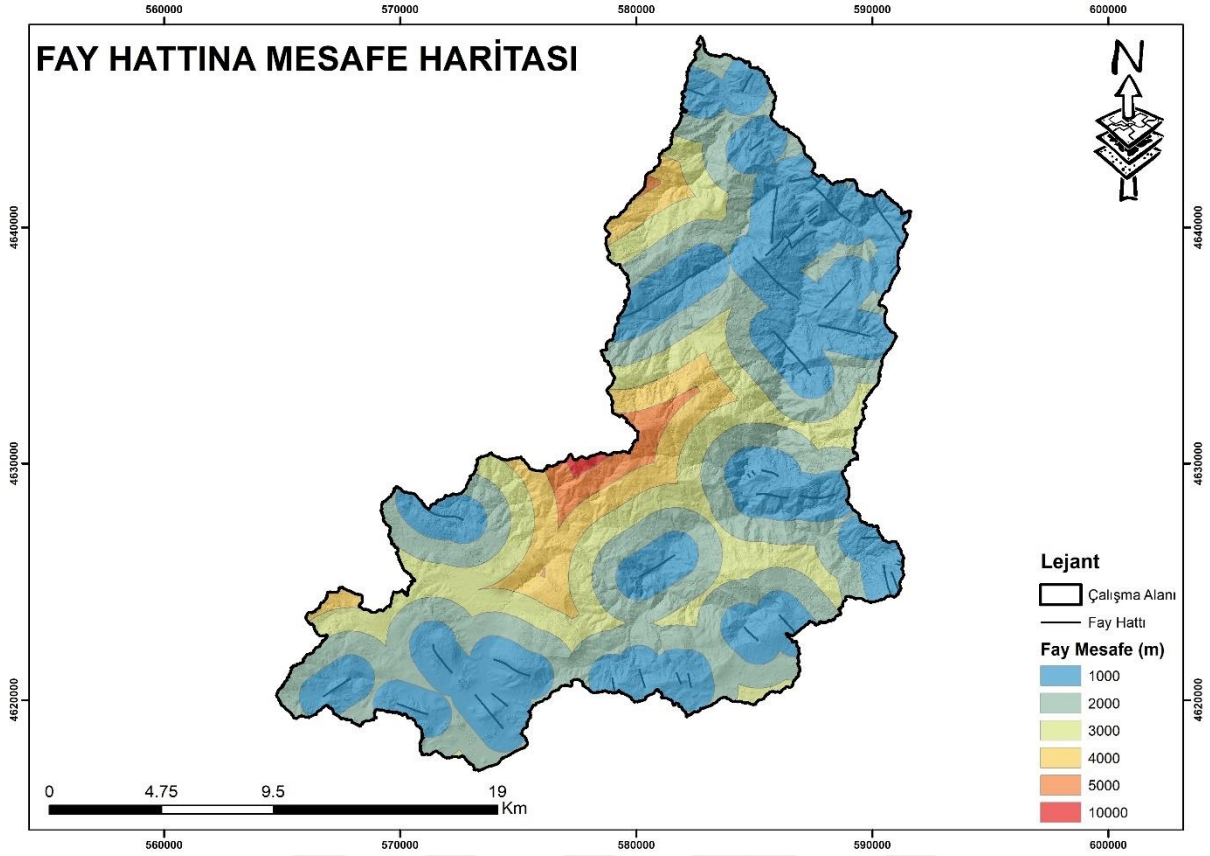
Araştırmacıların büyük çoğunluğu haritalama yapılan bölgede yer alan ana fayları, yapısal unsur olarak değerlendirip “faylara yakınlık” olarak dikkate almışlardır (Aksoy, 2011). Faylara yakınlık ile heyelan sıklığı arasında negatif bir ilişki olduğu kabul edilmiştir. Fay hatlarına yakın olduğu alanlarda heyelanların oluşumunun daha fazla olduğunu; fay hatlarından uzaklaştıkça da heyelanlarda bir azalmanın olduğu ifade edilmektedir. Yapısal unsurlara yakın olan bölgelerde heyelan oluşumunun daha fazla olmasının nedeni malzemelerin zayıf ve bozunmaya açık olmasından kaynaklandığı belirtilmektedir. Bunun nedenleri ise farklılık göstermektedir. Bunlardan ilki fay hattına yakın olmanın parçalanmaya

neden olduğudur. Bu durumda yamaçlar duraysızlığa daha duyarlı hale gelmektedir. İkinci olarak tabakaların yamaç eğimine paralel bulunmaları heyelanların oluşumunu kolaylaştırdığıdır. Bunlara ek olarak tabakalar arasında, süreksizlik düzlemleri boyunca killi birimlerin varlığı heyelanları etkilemektedir (Çellek, 2013).

Çalışma alanı, tektonik olarak aktif bir fay olan Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattına yakın bir sahada yer alması nedeniyle bölgedeki kayalar genellikle kırıklı ve çatlaklı olup süreksizlikler içermektedir. MTA'dan alınan 1/25000 ölçekli diri fay verisi, ArcGIS for Desktop programında 'Analysis' araç kutusu içerisinde yer alan "Multiple Ring Buffer" aracı ile çalışma alanı için 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ve 10000 m aralıklarla sınıflandırma işlemi yapılarak "fay hattına mesafe" haritası elde edilmiştir (Şekil 4.11). Fay hattına olan mesafe derecelerine göre kapladıkları alanları ve yüzde dağılımları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 1000 m fay hattına mesafe sınıfı 14.923,00 ha ile en fazla alan kaplayan, ardından 2000 m fay hattına mesafe sınıfı 11.778,00 ha'lık alanla ikinciye yerleşir. 10000 m ve üstü fay hattına mesafe sınıfı ise (95,00 ha) en az alan kaplayandır (Tablo 4.9).

Tablo 4.9. Fay Hattına Mesafe İçin Alan ve Oran Değerleri

Faya mesafe (m)	Alan (ha)	Oran (%)
1000	14.923,00	39,60
2000	11.778,00	31,26
3000	6.837,00	18,14
4000	3.134,00	8,32
5000	913,00	2,42
10000 +	95,00	0,25
TOPLAM	37.680,00	100,00



Şekil 4.11. Ezine Çayı Havzası'nın Fay Hattına Mesafe Haritası

4.1.11. Akarsulara Mesafe

Akarsulara mesafe, heyelan duyarlılık haritalarında sıklıkla kullanılan faktörlerden biri olarak yer almaktadır (Kayhan, 2021). Bu parametre, literatürde “drenaj ağlarına uzaklık” olarak da adlandırılmaktadır. Yapılan araştırmalarda drenaj ağlarına olan uzaklık arttıkça heyelan duyarlılığının azaldığı, drenaj ağlarına olan mesafe azaldıkça da heyelan duyarlılığının arttığı şeklinde genel bir görüş bulunmaktadır (Karakaş, 2018).

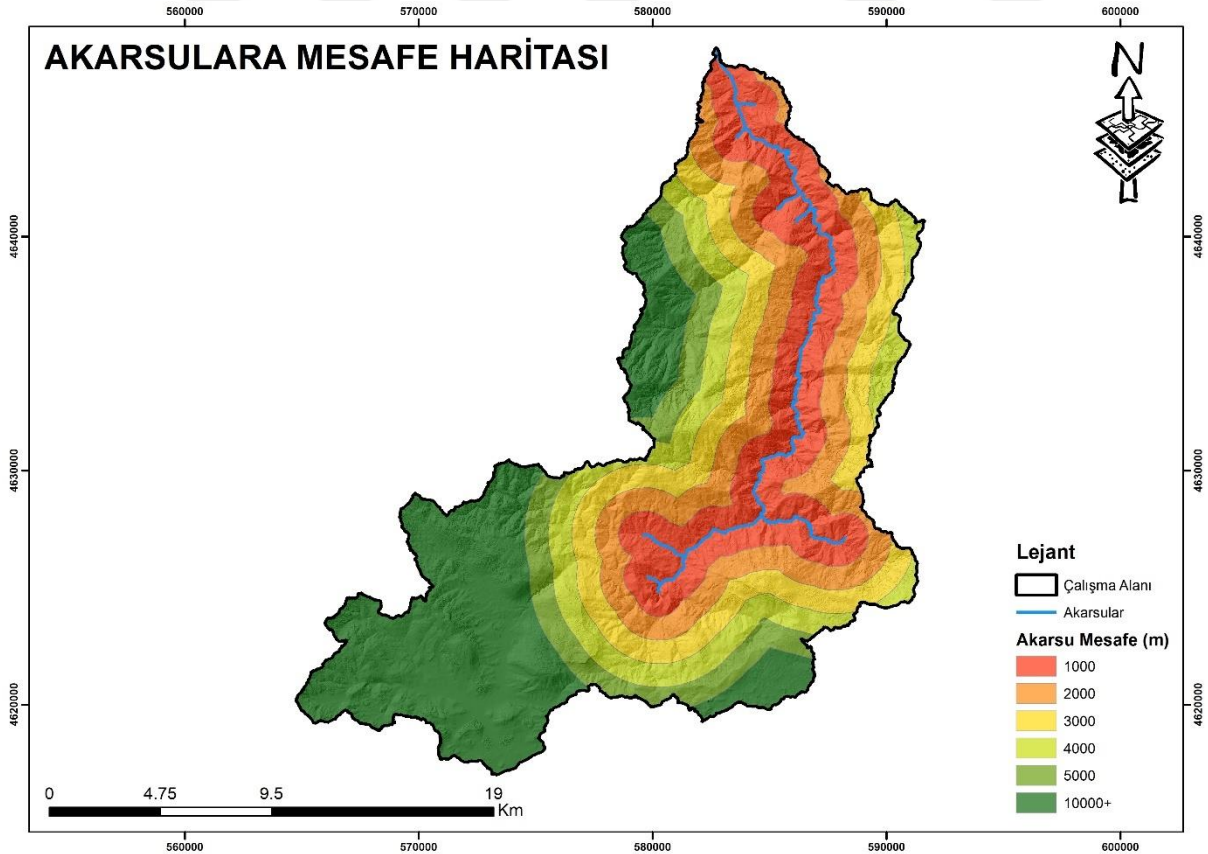
Akarsulara uzaklık, yamaçlardaki materyalin doygunluk derecesini ve yamacın durağanlığını kontrol eden önemli bir parametredir (Yalçın, 2008). Yamaçlardaki malzemenin gevşek yapısı ve suyun birikimi nedeniyle heyelan oluşumunu tetikleyebilir ve akarsulara olan yakınlık da bu süreci hızlandırabilir. Dolayısıyla yamaçta yer alan malzeme, akarsular tarafından nemlendirildiği oranda yamacın stabilitesini olumsuz bir şekilde etkileyerek heyelana neden olmaktadır (Bozdoğan ve Canpolat, 2022). Bu durum, özellikle yamaçların dik olduğu ve yamaç eğimlerin fazla olduğu alanlarda daha belirgindir.

Çalışma alanı için akarsulara mesafe haritasının üretilmesinde ilk olarak hidroloji analizi yapılmalıdır. Bunun yönde çalışma alanı için akarsu ağlarının belirlenmesi amacıyla ArcGIS for Desktop programında yer alan ‘Hidroloji’ aracı kullanılarak SYM’den “akarsu

ağları haritası” üretilmiştir. Ardından ‘Analysis’ araç kutusu içerisinde yer alan ‘Multiple Ring Buffer’ aracı ile çalışma alanı için 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ve 10000 m aralıklarla sınıflandırma işlemi yapılarak “akarsu mesafe haritası” elde edilmiştir (Şekil 4.12). Akarsulara olan mesafe derecelerine göre kapladıkları alanları ve yüzde dağılımları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 10000 m ve üstü akarsu mesafe sınıfı 10.674,00 ha ile en fazla alan kaplayan, ardından 1000 m akarsu mesafe sınıfı 7.862,00 ha’lık alanla ikinciye yerleşir. 5000 m akarsu mesafe sınıfı ise (3.068,00 ha) en az alan kaplayandır (Tablo 4.10).

Tablo 4.10. Akarsulara Mesafe İçin Alan ve Oran Değerleri

Akarsu mesafe (m)	Alan (ha)	Oran (%)
1000	7.862,00	20,87
2000	6.260,00	16,61
3000	5.499,00	14,59
4000	4.316,00	11,45
5000	3.068,00	8,14
10000 +	10.674,00	28,33
TOPLAM	37.679,00	100,00



Şekil 4.12. Ezine Çayı Havzası'nın Akarsulara Mesafe Haritası

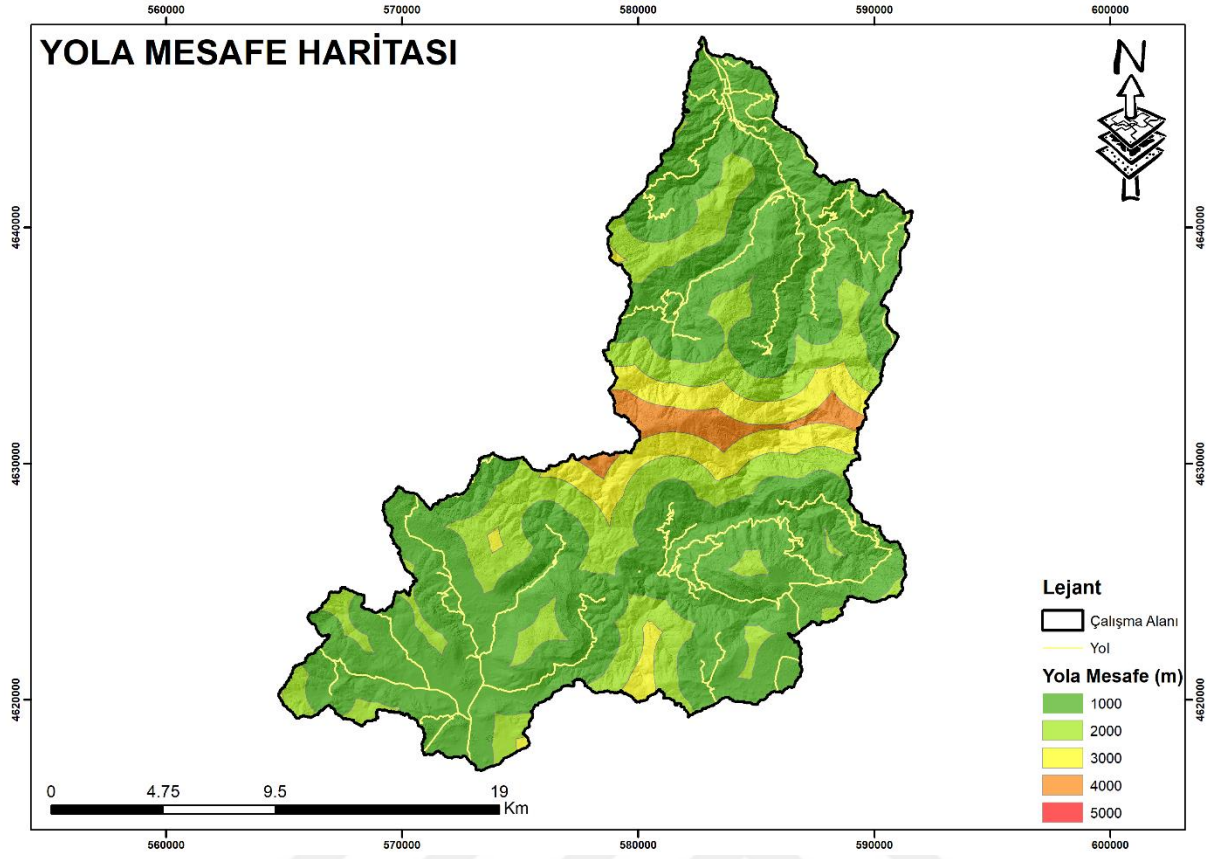
4.1.12. Yola Mesafe

Heyelanların meydana gelmesinde önemli bir parametre olan yol hatları, yoldan geçen araçların ağırlıkları nispetinde yaptıkları titreşimler (Bozdoğan ve Canpolat, 2022) yamaçların doğal dengesi bozmaktadır. Dolayısıyla heyelan oluşumunu da tetiklemektedir. Bu durum yola mesafe faktörünü heyelan araştırmalarında dikkate alınan parametrelerden biri haline getirmektedir (Biber, 2019). Aynı zamanda yol çalışmasının yapıldığı alanlar heyelan duyarlılığını artırmaktadır. Yol yapımı öncesinde dengede olan yamaçlar, yol yapımı sonrasında yamaç gerisinde gerilim artışına ve çatlakların meydana gelmesine sebep olur (Şahin, 2012). Dolayısıyla bu çatlaklar, yeraltına su girişlerini kolaylaştırmakta ve yamaç boyunca duraysızlıklar meydana getirmektedir (Yalçın, 2007). Ayrıca eğimli yamaçlar üzerinde yapılan yollar, topoğrafya üzerindeki mevcut durağan yük durumunu bozmakta ve topoğrafik değişikliklerle birlikte yük azalmasına sebep olmaktadır. Türkiye'nin birçok bölgesinde heyelanlar ekseriyetle yollara yakın yerlerde gerçekleşir, bu nedenle de ulaşım aksar ve yol kenarındaki yapılar tahrip olur (Taş vd., 2024).

Çalışma alanındaki yol ağını gösteren harita Şekil 4.13'te sunulmuştur. Çalışma alanında yoğun bir yol ağı bulunmamaktadır. Yola mesafe faktörünün heyelan duyarlılığı üzerindeki etkisinin araştırılması için yol güzergahlarının geçtiği hatlar boyunca 5 farklı tampon bölge oluşturulup 1000 m aralıkla buffer metoduna tabi tutularak diğer parametrelere eklenmiştir. ArcGIS for Desktop programında 'Analysis' araç kutusu içerisinde yer alan "Multiple Ring Buffer" aracı ile çalışma alanı için 1000, 2000, 3000, 4000 ve 5000 m aralıklarla sınıflandırma işlemi yapılarak "yola mesafe haritası" elde edilmiştir (Şekil 4.13). Yollara olan mesafe derecelerine göre kapladıkları alanları ve yüzde dağılımları belirlenmiş ve elde edilen sonuçlara göre 1000 m yola mesafe sınıfı 25.042,00 ha ile en fazla alan kaplayan, ardından 2000 m yola mesafe sınıfı 8.451,00 ha'lık alanla ikinciye yerleşir. 5000 m yola mesafe sınıfı ise (1,00 ha) en az alan kaplayandır (Tablo 4.11).

Tablo 4.11. Yola Mesafe İçin Alan ve Oran Değerleri

Yola mesafe (m)	Alan (ha)	Oran (%)
1000	25.042,00	66,46
2000	8.451,00	22,43
3000	3.124,00	8,29
4000	1.062,00	2,82
5000	1,00	0,00
TOPLAM	37.680,00	100,00



Şekil 4.13. Ezine Çayı Havzası'nın Yola Mesafe Haritası

BEŞİNCİ BÖLÜM

HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

5. Heyelan Duyarlılık Analizi

5.1. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi

Ezine Çayı Havzası'nın AHS yönteminde kullanılmak üzere 12 parametre (eğim, yükselti, yağış, bakı, litoloji, toprak, NDVI, eğrisellik, arazi kullanım, akarsulara mesafe, fay hatlarına mesafe ve yola mesafe) ile heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde; AHS modeli ile yapılan heyelan duyarlılık analizinin sonuçları, düşük-orta-yüksek duyarlı olan bölgeler değerlendirilmiştir.

Çalışma sahası için ilgili literatür taraması yapılarak havzada etkisi olduğu düşünülen parametreler belirlenmiştir. Analizde kullanılmak üzere parametrelerin ağırlık değerleri ve tutarlılık oranları Scbuk tarafından geliştirilen AHS Template aracı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın iş akışında tüm parametrelerin alt kriterleri sınıflandırılarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulup aynı şekilde parametrelerin de ikili karşılaştırma matrisi oluşturularak her parametre ve alt kriterin ağırlık değerleri ve tutarlılık oranları hesaplanmıştır. Tüm bu yapılan işlemler aşamalı bir şekilde aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Yükselti katmanı alt kriterlerinin heyelan duyarlılığındaki etki değerlerini belirlemek için oluşturulan yükselti haritası beş sınıfa ayrılmış ve her bir yükselti sınıfının karşılaştırılması için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve sonrasında yükselti sınıflarının ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır. 5. sınıf ağırlık değerinin (0,413) diğer sınıflara göre etkisi daha yüksek göstermiştir (Tablo 5.1).

Tablo 5.1. Yükselti Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri

Yükselti (m)	5	4	3	2	1	Ağırlık
5	1	2	3	4	5	0,413
4	1/2	1	2	3	4	0,259
3	1/3	1/2	1	2	3	0,159
2	1/4	1/3	1/2	1	3	0,110
1	1/5	1/4	1/3	1/3	1	0,058
Tutarlılık Oranı	0,04					

Eğim katmanı alt kriterlerinin heyelan duyarlılığındaki etki değerlerini belirlemek için oluşturulan eğim haritası altı sınıfa ayrılmış ve her bir eğim sınıfının karşılaştırılması için ikili

karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve sonrasında eğim sınıflarının ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır. 6. sınıf (0,372) ve 5. sınıf (0,243) ağırlık değerleri diğer sınıflara göre etkisi daha yüksek göstermiştir (Tablo 5.2).

Tablo 5.2. Eğim Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri

Eğim (°)	6	5	4	3	2	1	Ağırlık
6	1	2	3	4	5	6	0,372
5	1/2	1	2	3	4	5	0,243
4	1/3	1/2	1	2	3	5	0,162
3	1/4	1/3	1/2	1	3	5	0,123
2	1/5	1/4	1/3	1/3	1	2	0,060
1	1/6	1/5	1/5	1/5	1/2	1	0,039
Tutarlılık Oranı	0,05						

Bakı katmanı alt kriterlerinin heyelanlarla ilişkisi değerlendirilmek için bakı faktörü kuzey, güney, doğu-batı ve düz alan olmak üzere dört sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıfların karşılaştırılması için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve her bir alt kriterin ağırlık değeri ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Karadeniz Bölgesinde kuzeyden gelen hava kütlelerin etkili olması ve kuzeye bakan yamaçların toprak nemliliği yağışlardan sonra uzun bir süre korunmasından dolayı kuzeye bakan yamaçlar daha fazla etkilenmektedir. Çalışma sahası için yapılan değerlendirmelerde kuzeye bakan yamaçların heyelan duyarlılığı daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen hesaplamalar sonucunda kuzey yönünün ağırlık değeri (0,466) diğer yönlerle göre daha yüksek göstermiştir. (Tablo 5.3).

Tablo 5.3. Bakı Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri

Bakı	Kuzey	Güney	Doğu-Batı	Düz Alan	Ağırlık
Kuzey	1	2	3	4	0,466
Güney	1/2	1	2	3	0,277
Doğu-Batı	1/3	1/2	1	2	0,161
Düz Alan	1/4	1/3	1/2	1	0,096
Tutarlılık Oranı	0,01				

Yağış katmanı alt kriterlerinin heyelan duyarlılığındaki etki değerlerini belirlemek için oluşturulan yağış haritası beş sınıfa ayrılmış ve her bir yağış sınıfının karşılaştırılması için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve sonrasında yağış sınıflarının ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır. 5. sınıf ağırlık değerinin (0,413) diğer sınıflara göre etkisi daha yüksek göstermiştir (Tablo 5.4).

Tablo 5.4. Yağış Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri

Yağış (mm)	5	4	3	2	1	Ağırlık
5	1	2	3	4	5	0,413
4	1/2	1	2	3	4	0,259
3	1/3	1/2	1	2	3	0,159
2	1/4	1/3	1/2	1	3	0,110
1	1/5	1/4	1/3	1/3	1	0,058
Tutarlılık Oranı	0,04					

Ezine Çayı Havzası'nda yüzeylenen kayalarda çeşitli derecelerde litoloji sınıfları tanımlanmıştır. Bu sınıflardan dört tanesinin heyelanlarla ilişkisi belirlenmek üzere sınıfların ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Sonrasında litoloji sınıflarının ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda alüvyon (0,466) ve kırıntılar (0,277) ağırlık değerleri diğer sınıflara göre etkisi daha yüksek göstermiştir (Tablo 5.5).

Tablo 5.5. Litoloji Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri

Litoloji	Alüvyon	Kırıntılar	Şist	Granit	Ağırlık
Alüvyon	1	2	3	4	0,466
Kırıntılar	1/2	1	2	3	0,277
Şist	1/3	1/2	1	2	0,161
Granit	1/4	1/3	1/2	1	0,096
Tutarlılık Oranı	0,01				

Eğrisellik katmanı alt kriterlerinin heyelan duyarlılığındaki etki değerlerini belirlemek için oluşturulan eğrisellik haritası üç sınıfa ayrılmış ve her bir eğrisellik sınıfının karşılaştırılması için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve sonrasında eğrisellik sınıflarının ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır. İçbükey yamaç sınıfının ağırlık değeri (0,539) diğer sınıflara göre etkisi daha yüksek göstermiştir (Tablo 5.6).

Tablo 5.6. Eğrisellik Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri

Eğrisellik	İçbükey	Düz	Dışbükey	Ağırlık
İçbükey	1	2	3	0,539
Düz	1/2	1	2	0,297
Dışbükey	1/3	1/2	1	0,164
Tutarlılık Oranı	0,01			

Arazi kullanım katmanı alt kriterlerinin heyelan duyarlılığındaki etki değerlerini belirlemek için oluşturulan arazi kullanım haritası çıplak alan, mera, orman, tarım, yerleşme ve su alanı olmak üzere altı sınıfa ayrılmış ve her bir arazi kullanım sınıfının karşılaştırılması için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve sonrasında bu sınıfların ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Çıplak alan (0,372) ve mera alanların (0,243) ağırlık değerleri diğer sınıflara göre etkisi daha yüksek göstermiştir (Tablo 5.7).

Tablo 5.7. Arazi Kullanımı Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri

Arazi Kullanımı	Çıplak A.	Mera	Orman	Tarım	Yerleşme	Su	Ağırlık
Çıplak A.	1	2	3	4	5	6	0,372
Mera	1/2	1	2	3	4	5	0,243
Orman	1/3	1/2	1	2	3	5	0,162
Tarım	1/4	1/3	1/2	1	3	5	0,123
Yerleşme	1/5	1/4	1/3	1/3	1	2	0,060
Su	1/6	1/5	1/5	1/5	1/2	1	0,039
Tutarlılık Oranı	0,05						

Toprak katmanı alt kriterlerinin heyelan duyarlılığındaki etki değerlerini belirlemek için oluşturulan toprak haritası beş sınıfa ayrılmış ve her bir toprak sınıfının karşılaştırılması için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve sonrasında toprak sınıflarının ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Çıplak kayalık sınıfının ağırlık değeri (0,413) diğer sınıflara göre etkisi daha yüksek göstermiştir (Tablo 5.8).

Tablo 5.8. Toprak Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri

Toprak	Çıplak K.	Alüvyal	Kolüvyal	Yerleşme	Orman T.	Ağırlık
Çıplak K.	1	2	3	4	5	0,413
Alüvyal	1/2	1	2	3	4	0,259
Kolüvyal	1/3	1/2	1	2	3	0,159
Yerleşme	1/4	1/3	1/2	1	3	0,110
Orman T.	1/5	1/4	1/3	1/3	1	0,058
Tutarlılık Oranı	0,04					

NDVI katmanı alt kriterlerinin heyelan duyarlılığındaki etki değerlerini belirlemek için oluşturulan NDVI haritası beş sınıfa ayrılmış ve her bir NDVI sınıfının karşılaştırılması için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuş ve sonrasında NDVI sınıflarının ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır. 1. sınıf ağırlık değerinin (0,413) diğer sınıflara göre etkisi daha yüksek göstermiştir (Tablo 5.9).

Tablo 5.9. NDVI Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri

NDVI	1	2	3	4	5	Ağırlık
1	1	2	3	4	5	0,413
2	1/2	1	2	3	4	0,259
3	1/3	1/2	1	2	3	0,159
4	1/4	1/3	1/2	1	3	0,110
5	1/5	1/4	1/3	1/3	1	0,058
Tutarlılık Oranı	0,04					

Ezine Çayı Havzası'nın fay hattına mesafe değerine göre altı sınıflama yapılmıştır. Bu sınıfların heyelanlarla olan ilişkisi değerlendirilmek üzere ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinde alt kriterlerin ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda fay hattına 1000 m mesafedeki yakınlığın (0,377) diğer sınıflara göre heyelan duyarlılığına etkisi daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5.10).

Tablo 5.10. Faya Mesafe Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri

Fay Hattına Mesafe (m)	1000	2000	3000	4000	5000	10000+	Ağırlık
1000	1	2	3	5	7	9	0,377
2000	1/2	1	3	5	7	9	0,297
3000	1/3	1/3	1	3	5	7	0,165
4000	1/5	1/5	1/3	1	3	5	0,088
5000	1/7	1/7	1/5	1/3	1	3	0,047
10000+	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,026
Tutarlılık Oranı	0,08						

Ezine Çayı Havzası'nın akarsulara mesafe değerine göre altı sınıflama yapılmıştır. Bu sınıfların heyelanlarla olan ilişkisi değerlendirilmek üzere ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinde alt kriterlerin ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Hesaplama sonucunda akarsuya 1000 m mesafedeki yakınlığın (0,377) diğer sınıflara göre heyelan duyarlılığına etkisi daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5.11).

Tablo 5.11. Akarsuya Mesafe Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri

Akarsulara Mesafe (m)	1000	2000	3000	4000	5000	10000+	Ağırlık
1000	1	2	3	5	7	9	0,377
2000	1/2	1	3	5	7	9	0,297
3000	1/3	1/3	1	3	5	7	0,165
4000	1/5	1/5	1/3	1	3	5	0,088
5000	1/7	1/7	1/5	1/3	1	3	0,047
10000+	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,026
Tutarlılık Oranı	0,08						

Ezine Çayı Havzası'nın yola mesafe değerine göre beş sınıflama yapılmıştır. Bu sınıfların heyelanlarla olan ilişkisi değerlendirilmek üzere ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan ikili karşılaştırma matrisinde alt kriterlerin ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda yola 1000 m mesafedeki yakınlığın (0,370) diğer sınıflara göre heyelan duyarlılığına etkisi daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5.12).

Tablo 5.12. Yola Mesafe Sınıflarının İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri

Yola Mesafe (m)	1000	2000	3000	4000	5000	Ağırlık
1000	1	2	2	3	4	0,370
2000	1/2	1	2	2	3	0,247
3000	1/2	1/2	1	2	3	0,189
4000	1/3	1/2	1/2	1	2	0,120
5000	1/4	1/3	1/3	1/2	1	0,073
Tutarlılık Oranı	0,02					

Yapılan işlemler sonucunda parametrelerin alt sınıfları için oluşturulan matrislerin tamamında CR 0,10'un altında çıkmıştır. Bu oranlar, yapılan karşılaştırmaların tutarlı veya güvenilir olduğunu ortaya koymuştur. Çünkü CR 0,10'a eşit veya daha küçük çıktığında ikili karşılaştırmaların tutarlı olduğunu ve karar vericilerin kararlarının güvenilir veya mantıklı olduğunu gösterir.

Çalışmanın devamında AHS yöntemiyle heyelan duyarlılık haritasının üretimi için parametrelerin/katmanların birbirleriyle olan ilişkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Hangi parametrenin heyelan duyarlılığına ne kadar etki değerinin olduğunu belirlemek için parametreler arasında ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu ikili

karşılaştırma matrisinde parametrelerin her birinin heyelan duyarlılık haritası üretimindeki ağırlık değeri ve CR hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda, parametrelere ait ağırlık değerleri incelendiğinde heyelan duyarlılığında litoloji, eğim, eğrisellik parametrelerinin daha etkin olduğu sonucu çıkmıştır. Bu parametreler arasında en yüksek ağırlığa sahip litoloji 0,204 değeri ile ilk sırada yer alır. Bu değer ile bu parametrenin heyelan duyarlılığındaki etki değeri en fazla olduğunu gösterir. Bu parametreyi sırasıyla eğim (0,162) ve eğrisellik (0,150) izlemektedir. Bunların dışında yağış 0,125, bakı 0,093, fay hattına mesafe 0,072, akarsulara mesafe 0,061, yola mesafe 0,043, arazi kullanımı 0,032, toprak 0,025, yükselti 0,019 ve NDVI 0,013 ağırlığı ile takip etmektedir ve heyelan duyarlılığına etki değerleri diğer parametrelere göre daha azdır. En düşük ağırlığa sahip parametre ise NDVI olmuş ve heyelan duyarlılığındaki etki değeri en azdır.

Parametrelerin birbirleriyle yapılan karşılaştırmalarının tutarlı olup olmadığını kontrol etmek için CR hesaplanmış ve sonucunda 0,07 değeri elde edilmiştir. CR 0,10'un altında çıkması yapılan karşılaştırmaların tutarlı veya güvenilir olduğunu göstermiştir. CR 0,10'dan büyük olsaydı karşılaştırmalar tutarsız olacaktı ve matrisin tekrar gözden geçirilmesi gerekecekti ancak CR 0,07<0,10 olduğu için karşılaştırma matrisi tutarlıdır (Tablo 5.13).

Tablo 5.13. AHS'de Kullanılan Parametrelerin İkili Karşılaştırma Matrisi, Ağırlık ve Tutarlılık Değerleri

HEYELAN DUYARLILIK													
KRİTERLER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ağırlık
Litoloji	1	2	2	3	4	4	4	4	5	5	5	9	0,204
Eğim	1/2	1	2	2	3	3	4	5	5	5	5	7	0,162
Eğrisellik	1/2	1/2	1	2	3	4	4	5	5	4	6	9	0,150
Yağış	1/3	1/2	1/2	1	2	3	4	5	5	6	7	7	0,125
Bakı	1/4	1/3	1/3	1/2	1	2	3	4	5	5	5	7	0,093
Fay Hattına Mesafe	1/4	1/3	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	4	5	6	0,072
Akarsulara Mesafe	1/4	1/4	1/4	1/4	1/3	1/2	1	2	3	5	5	7	0,061
Yola Mesafe	1/4	1/5	1/5	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	0,043
Arazi Kullanım	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	0,032
Toprak	1/5	1/5	1/4	1/6	1/5	1/4	1/5	1/3	1/2	1	2	3	0,025
Yükselti	1/5	1/5	1/6	1/7	1/5	1/5	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	0,019
NDVI	1/9	1/7	1/9	1/7	1/7	1/6	1/7	1/5	1/4	1/3	1/2	1	0,013
Tutarlılık Oranı	0,07												

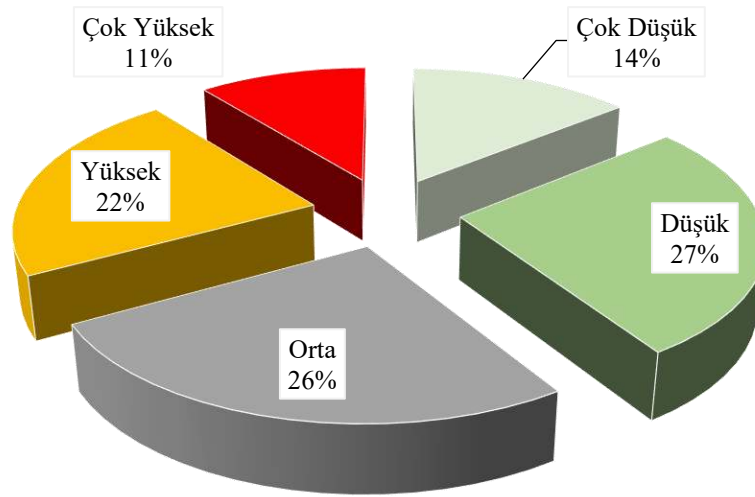
İşlemin son aşamasında ise hiyerarşik yapıda elde edilen kriter ve alt kriterlerin ağırlık atamaları ArcGIS/ArcMap 10.7 programında vektör şeklindeki girdi haritalarına AHS sonucunda belirlenen ağırlık değerlerine göre yapılmıştır. Ardından tüm haritalar raster

formata dönüştürülmüştür. ArcMAP içerisinde yer alan ‘ArcToolbox’ tool’u sonra ‘Spatial Analyst’ tool’u içerisinde bulunan ‘Weighted Sum (ağırlıklı toplam)’ tool’unda raster veriler ve kriterlerin ağırlık atamaları yapılmıştır. İşlem sonucunda çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Sonrasında genel sınıflamaya uygun olarak 5 sınıf oluşturulmuş, “çok düşük”, “düşük”, “orta”, “yüksek” ve “çok yüksek” duyarlılıklı sınıflar olarak dikkate alınmıştır.

Ezine Çayı Havzası’nın AHS ile yapılan heyelan duyarlılık analizi sonucunda, heyelan duyarlılık seviyesi çok düşük 5263,20 ha’lık alanı; düşük 9907,11 ha’lık alanı; orta 9691,38 ha’lık alanı; yüksek 8275,23 ha’lık alanı ve 3977,46 ha’lık alanı ise çok yüksek duyarlılık kaplamaktadır. Oran bakımından çok düşük %14,18; düşük %26,69; orta %26,11; yüksek %22,30 ve çok yüksek %10,72’lik bir dağılım göstermiştir. Sonuç olarak Ezine Çayı Havzası’nda heyelan oluşma potansiyelinin yüksek (%22,30) ve çok yüksek (%10,72) oranların toplamında havzanın %33,02’lik kısmı heyelana duyarlı olduğu tespit edilmiştir (Tablo 5.14; Şekil 5.1).

Tablo 5.14. Heyelan Duyarlılık Sınıflarının Alansal ve Oransal Dağılımları

Heyelan Duyarlılık	Alan (ha)	Oran (%)
Çok Düşük	5263,20	14,18
Düşük	9907,11	26,69
Orta	9691,38	26,11
Yüksek	8275,23	22,30
Çok Yüksek	3977,46	10,72
TOPLAM	37114,38	100,00



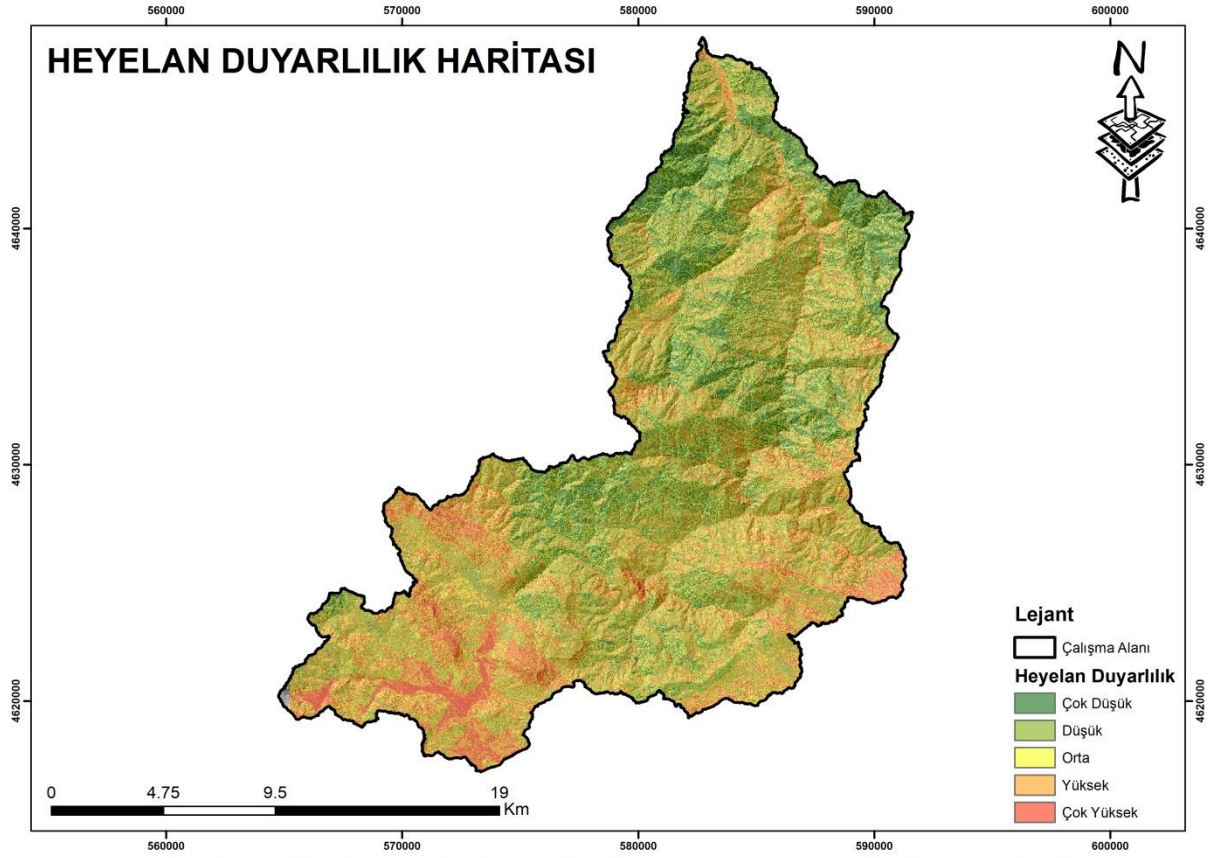
Şekil 5.1. Ezine Çayı Havzası'nın AHS Heyelan Duyarlılığı Oranları

Ezine Çayı Havzası'nın kuzey kesimleri, akarsu ağlarına sahip olan bölgelerinde ve yerleşime açık alanlarda heyelan duyarlılığı “düşük ve çok düşük” göstermiştir. Çünkü havzanın kuzey kesiminin alüvyonlarla kaplı alanların olduğu, gür bitki örtüsünün varlığı, yükseltinin, yağışların ve yamaç eğimin düşük olduğu alanlarda heyelan duyarlılığı düşük olduğundan dolayı ve heyelan vakalarının gerçekleşmesini etkilediği için bu bölgelerde heyelan duyarlılığı “düşük ve çok düşük” duyarlılık göstermiştir.

Havzada akarsu ağlarının yamaçlarındaki heyelan duyarlılığı “orta sınıf” şeklinde sonuç göstermiştir. Bu alanlarda topografik ve meteorolojik koşulların heyelana sebep olabilecek şekilde çok riskli olmayışından dolayı “orta sınıf” heyelan duyarlılık olarak sonuçlanmıştır.

Havzanın orta ve güney kesimlerinde yer alan yamaçların 10-20° eğime sahip olan alanlarda heyelan duyarlılığı “yüksek ve çok yüksek” göstermiştir. Çünkü eğim değerleri heyelan olayları için en önemli etkidir. Bunun yanında yer çekimi nedeniyle yamaçlardaki malzemenin zemin ile temasının güçlü olmaması kaynaklı heyelan duyarlılığı “yüksek ve çok yüksek” sonucunu çıkarmıştır. Ayrıca yükselti değerleri 1200 m ile 1600 m arasında olan alanlarda heyelan duyarlılığının yüksek çıkması, heyelan oluşma koşullarının yükseklik ile ilişkisi göz önüne alındığında doğru orantı göstermektedir. Bununla beraber yağış değerlerinin yüksek, bitki örtüsünün düşük olduğu, kolüvyal toprak tipi ve gevşek karasal kırıntılı birimlerin varlığı heyelan duyarlılığını arttırmıştır. Aynı zamanda heyelan duyarlılığının yüksek ve çok yüksek çıkmasında beşerî faaliyetlerin de etkisi bulunmaktadır. Havzanın genel bitki örtüsünün orman formasyonu olması, bu alanların tarıma açılması ve

meraların olmasından dolayı bu bölgelerin heyelan duyarlılığı “yüksek ve çok yüksek” göstermiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Ezine Çayı Havzası'nın AHS ile Üretilen Heyelan Duyarlılık Haritası

ALTINCI BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışması Karadeniz Bölgesinin Batı Karadeniz Bölümünde yer alan Kastamonu ilinin, 375,54304741 km²'lik alanını kaplayan Ezine Çayı Havzası ile sınırlandırılmıştır. Bu sınırlandırma ile çalışmaya temel teşkil etmesi nedeniyle kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Yapılan literatür araştırmasında, çalışma alanı kapsamında daha önce yapılmış bir heyelan çalışmasına rastlanılmamıştır. Çalışma alanındaki heyelanların meydana gelmesinde etkin olduğu düşünülen ve literatürde yaygın olarak kullanılan; eğim, yükselti, yağış, bakı, litoloji, toprak, NDVI, eğrisellik, arazi kullanım, akarsulara mesafe, fay hatlarına mesafe, yola mesafe parametrelerinin ve alt kriterlerinin kapladıkları alanları, AHS modelinin heyelan ile olan ilişkilerini ele alarak başlıklar halinde tek tek açıklanmıştır. Yapılan tüm bu çalışmaların ardından ulaşılan sonuçlar aşağıda sunulmuştur;

AHS yöntemiyle heyelan duyarlılık haritasının üretimi için elde edilen parametrelerin analizi yapılmış ve bu parametrelere ait alt kriterlerinin kapladığı alan bakımından yüzde dağılımları hesaplanmıştır. Bunun sonucunda;

Çalışmanın alanının %7,45'inin eğimi 0-10°, %12,46'sının eğimi 10-20°, %16,49'unun eğimi 20-30°, %17,68'inin eğimi 30-40°, %16,23'ünün eğimi 40-50° ve %29,70'inin eğimi 50-84° olduğu; %14,40'ının içbükey yamaç, %63,43'ünün düz eğim ve %22,17'sinin dış bükey yamaç olduğu; %8,16'sının yükseltisi 0-500 m, %18,95'inin yükseltisi 500-1000 m, %27,25'inin yükseltisi 1000-1200 m, %43,73'ünün yükseltisi 1200-1600 m ve %1,92'sinin yükseltisi 1600-2015 m olduğu; %41,01'inin kuzeye bakan yamaçlar, %36,09'unun güneye bakan yamaçlar, %22,36'sının doğu ve batıya bakan yamaçlar ve %0,54'ünün düz alanlar olduğu; %8,57'sinin 541-644 mm, %18,39'unun 645-747 mm, %23,84'ünün 748-850 mm, %47,07'sinin 851-953 mm ve %2,13'ünün 954-1060 mm yağışın olduğu; %39,60'ının faya 1000 m, %31,26'sının faya 2000 m, %18,14'ünün faya 3000 m, %8,32'sinin faya 4000 m, %2,42'sinin faya 5000 m ve %0,25'inin faya 10000 m uzaklık olduğu; %20,87'sinin akarsuya 1000 m, %16,61'inin akarsuya 2000 m, %14,59'unun akarsuya 3000 m, %11,45'inin akarsuya 4000 m, %8,14'ünün akarsuya 5000 m ve %28,33'ünün akarsuya 10000 m uzaklık olduğu; %66,46'sının yola 1000 m, %22,43'ünün yola 2000 m, %8,29'unun yola 3000 m, %2,82'sinin yola 4000 m ve %0,00'ının yola 5000 m uzaklık olduğu; %0,16'sının sulak alan, %76,36'sının ormanlık alan, %5,34'ünün tarımsal

alan, %2,19'unun yerleşim yeri, %0,04'ünün çıplak alan ve %15,91'inin mera alanı olduğu; %3,74'ünün alüvyon, %78,81'inin kırıntılar, %17,29'unun şist, %0,16'sının granit olduğu; %1,07'sinin alüvyal toprak, %2,28'inin kolüvyal toprak, %93,63'ünün orman toprağı ve %3,01'inin diğer toprak türlerinin olduğu tespit edilmiştir.

Her parametre alt kriterlerinin heyelan duyarlılığı açısından yüksek ve çok yüksek duyarlılık gösteren sınıfların sonuçları şu şekildedir; yamaç eğimi için 10-20° arasında, eğrisellik için düz eğim olan sahalarda, litoloji için gevşek karasal kırıntıların olduğu sahalarda, bakı için kuzeye bakan yamaçlarda, yükselti için 1200-1600 m arasında, NDVI için bitki örtüsünün düşük gösterdiği alanlarda, arazi kullanımı için tarım ve mera alanlarında, yağış için 851-953 mm yağış alan alanlarda ve toprak için ise kolüvyal toprak sahalarda heyelanların yüksek duyarlılık içerdiği tespit edilmiştir.

Ezine Çayı Havzası'nın heyelan duyarlılığı çok yüksek olduğu alanlarda yerleşme ve tarım alanlarının bulunması can ve mal kaybı açısından risk taşımaktadır. Bu bağlamda havza genelinde yeni yapılacak olan yerleşim alanları, okul alanları, sağlık tesisleri, alışveriş merkezleri, yol yapımı, hayvancılık ve tarımsal faaliyetler gibi beşerî, ekonomik ve sosyal faaliyetlerin planlamasında heyelan duyarlılık haritası göz önünde bulundurularak ve gerekli önlemler alınarak hareket edilmesi elzemdir. Bunun yanı sıra var olan koşullarda değişimler ve yenilikler yapılmalıdır. Söz gelimi dik ve eğimli yerlerdeki yapılaşmanın önlenmesi, çok katlı binaların ve zeminin taşıma kapasitesini aşan yapıların azaltılması, yüksek düzeyde duyarlı bölgelerde yapılaşmaların engellenmesi eğer varsa bunların toplu konutlar halinde daha güvenli yerlere taşınması gerekmektedir (Taş vd., 2024). Ayrıca üretilen bu heyelan duyarlılık haritasının yerel yöneticilerle, valilikler, ilgili kamu kurum ve kuruluşlarla paylaşılması ile afetin gerçekleşmeden önce bölgede alınacak önlemlerle heyelanların etkisinin en aza indirgenebilmesine yarar sağlayacaktır. Bununla birlikte erişilen sonuçların afet yönetimi konusunda, doğal ortam ve insan ilişkilerinden doğan problemlerin çözümünde yöre halkına fayda sağlayacaktır (Demir, 2024). Sonuç olarak CBS kullanılarak yapılan bu analizler, hem doğal afet açısından riskli alanların belirlenmesini hem de zaman ve maliyet açısından daha ekonomik hale getireceği öngörülmektedir (Demirel ve Hastaoğlu, 2022).

Afet eğitimleriyle heyelan olaylarının zararlarını azaltmak ve önlemek mümkündür. Bu anlamda her türlü kurum-kuruluş ve okullar bu konuda hızlı bir bilinç oluşturmada ciddi katkı sağlamaktadır. Söz gelimi ilköğretim (sosyal bilgiler), ortaöğretim, lisans ve lisansüstü eğitim kademelerinde, coğrafya dersleri veya coğrafya ile bağlantılı çeşitli programlarda heyelan konusu yer almaktadır. Bu programların bazılarında arazi uygulamaları bazılarında

ise gezi etkinliği içeren dersler bulunmaktadır. Bu dersler kapsamında heyelan bölgelerinin eğitim kurumları tarafından derslik olarak kullanılması hem afet konusunda hem de eğitimde kalıcılığı arttırma açısından ciddi anlamda önem taşıyacaktır.

Son olarak heyelan duyarlılık haritalarının güncel olarak üretilmesi afet planlaması ve diğer planlama faaliyetleri açısından son derece önemlidir. Dolayısıyla araştırmacılar tarafından dikkate alınması gereken en önemli husus, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde bu haritaların güncel verilerle değişen şartlara göre yeniden üretilmesi gerekliliğidir (Başara, 2021). Aynı zamanda CBS tabanlı heyelan duyarlılık çalışmalarının bölgede çok sayıda artırılması gerekmektedir. Buna ek olarak her doğal afet için bu tür çalışmalar hazırlanmalıdır (Durak & Altınçekiç, 2023) ve yapılan çalışmaların diğer çalışmalarda altlık olarak kullanılmasının n açılmalıdır (Karakaya, 2023).

KAYNAKÇA

- Acar, E.** (2019). AHP Yöntemi ve CBS Analizleri Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ankara.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)** (2024). Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü. [Erişim: 28.10.2024, <https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu>]
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)** (2024). Heyelan-Kaya Düşmesi Temel Kılavuz. [Erişim: 14.11.2024, https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/3469/xfiles/kutle-hareketleri-temel-kilavuz_tr.pdf]
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)** (2024). Türkiye’de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikleri. [Erişim: 14.11.2024, https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/35429/xfiles/Turkiye_de_Afetler.pdf]
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)** (2025). Afet Türleri. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. [Erişim: 12.01.2025, <https://www.afad.gov.tr/afet-turleri>]
- Aghlmand, M., Onur, M. İ., & Talaei, R.** (2020). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 224-230.
- AİGM.** (2002). Disaster Impact on Development Disaster Reduction and Sustainable Development, United Nations International Strategy for Disaster Reduction.
- Akıncı, H., Dogan, S., Kılıçoğlu, C., & Keçeci, S. B.** (2010). Samsun İl Merkezinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(3), 13-27.
- Akıncı, H., Özalp Yavuz, A., & Kılıçer, S. T.** (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve AHP Yöntemi Kullanılarak Planlı Alanlarda Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesi: Artvin Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1-2), 40-53.
- Aksoy, G.** (2011). Arhavi (Artvin) ve Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi. (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Alptekin, A., & Yakar, M.** (2020). Heyelan Bölgesinin İHA Kullanarak Modellenmesi, *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*.

Ankara Üniversitesi Açık Ders Malzemeleri (2024). Konu 11: Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri–III. [Erişim: 22.11.2024,

https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/105296/mod_resource/content/0/11.%C3%87ok%C3%96l%C3%A7%C3%BCtl%C3%BC%20Karar%20Verme%20Y%C3%B6ntemleri-III.pdf]

Atkinson, P. M., & Massari, R. (1998). Generalized linear modelling of landslide susceptibility in the Central Apennines, Italy. *Computers & Geosciences*, 24 (4), 373–385.

Aytop, H., Saygın, F., Dengiz, O., & Alaboz, P. (2023). Determination Of Landslide Susceptibility With The Fuzzy-Analytical Hierarchical Process-Andırın Example. *EEDINGS*, 84.

Azimli Çilingir, G., & Örçen Güler, İ. (2020). Afet Politikalarında Risk Unsuru ve Afet Mevzuatında Risk Yönetimi. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 3(1), 152-165.

Bahadır, H., & Uçku, R. (2018). Uluslararası Acil Durum Veri Tabanına Göre Türkiye Cumhuriyeti Tarihindeki Afetler. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1), 28-33.

Bank, E., & Taştan, H. (1994). Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Analiz Türleri, Kullanım Amaçları ve Uygulama Alanları. *Harita Dergisi*, 112, 1-29.

Başara, A. C. (2021). İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi ve Konumsal Hassasiyetlerinin İncelenmesi (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Türkiye).

Berber, S., & Ceryan, Ş. (2023). Güzelyalı-Lapseki (Çanakkale) Arasındaki Bölgenin Heyelan Duyarlılığının Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemiyle (AHP) Değerlendirilmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(1), 305-316.

Bhatt, B. P., Awasthi, K. D., Heyojoo, B. P., Silwal, T., & Kafle, G. (2013). Using Geographic Information System And Analytical Hierarchy Process In Landslide Hazard Zonation. *Applied Ecology And Environmental Sciences*, 1(2), 14-22.

Biber, T. C. (2019). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanılan Yöntemlerin Karşılaştırılması: Şebinkarahisar İlçesi Örneği. (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Bozdoğan, M., & Canpolat, E. (2022). Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) ile Delibekirli (Kırıkhan/Hatay) Havzası'nın Kütle Hareketleri Duyarlılık Analizi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 31(1), 33-53.

Bozkurt Belediyesi (2024). Coğrafi Konum Bilgileri. [Erişim: 10.11.2024, <https://www.bozkurt.bel.tr/sayfa/cografi-konum/>]

Brito, M. M. D., Weber, E. J., & Silva Filho, L. C. P. D. (2017). Multi-criteria analysis applied to landslide susceptibility mapping. *Revista Brasileira de Geomorfologia. Uberlândia. Vol. 18, n. 4 (out./dez. 2017), p. 719-735.*

Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., & Reichenbach, P. (1991). GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surf. Proc. & Landf.*, 16, 427-445.

Cihangir, M. E. (2018). Kelkit Çayı Vadisinde (Umurca-Koyulhisar Arası) Heyelan Riskinin Belirlenmesi. (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Climate Data (2024). 1991-2021 Yılları Kastamonu-Bozkurt İklim Verisi. [Erişim: 05.11.2024, <https://tr.climate-data.org/>]

Copernicus (2024). CORINE 2018 Arazi Örtüsü Verisi. [Erişim: 05.11.2024, <https://land.copernicus.eu/>]

Çelik, M., ve Karabulut, M. (2013). Yağış Koşullarının Antep Fıstığı (*Pistacia Vera L.*) Biomas Aktivitesi ve Fenolojik Özelliklerine Etkisinin Uzaktan Algılama Verileri Kullanılarak İncelenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (60), 37-48.

Çellek, S. (2013). Sinop-Gerze Yöresinin Heyelan Duyarlılık Analizi. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Trabzon, Doktora Tezi, 271s.

Çellek, S. (2020). Effect of the slope angle and its classification on landslide. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1-23.

Çellek, S. (2023). Batı Karadeniz Heyelan Alanlarının Litolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Ahi Evran Üniversitesi, Kırşehir.

Çellek, S., Bulut, F., & Ersoy, H. (2015). AHP Yöntemi'nin Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Kullanımı ve Uygulaması (Sinop ve Yakın Çevresi). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 39(2), 59-90.

Çirak, O. (2019). *Babadağ (Denizli) heyelan afeti ve coğrafi etkileri* (Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).

Dağdelenler, G. (2013), Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Örneklem ve Doğrulama Stratejilerinin Değerlendirilmesi (Gelibolu Yarımadası'nın Doğu Kesimi), Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Dai, F. C., & Lee, C. F. (2002), Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong, *Geomorphology*, 42, 213-228.

Dalkes, M., & Korkmaz, M. S. (2023). Analitik Hiyerarşi Süreci ve Frekans Oranı Yöntemlerinin Heyelan Duyarlılık Analizinde Karşılaştırılması: Trabzon İli Akçaabat ve Düzköy İlçeleri Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(1), 16-38.

Das, S., Sarkar, S., & Kanungo, D. P. (2022). GIS-based landslide susceptibility zonation mapping using the analytic hierarchy process (AHP) method in parts of Kalimpong Region of Darjeeling Himalaya. *Environ. Monit. Assess.* 194, 234. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09851-7>.

Değerliyurt, M. (2014). İskenderun-Arsuz İlçelerinin (Hatay) CBS Tabanlı Zemin Hareketleri Duyarlılık Analizi. *Turkish Studies (Elektronik)*, 9(5), 655-678.

Demir, S. (2024). Salıpazarı (Samsun) İlçesinde Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun.

Demirel, B. (2023). Yalova İli Merkez İlçesinin CBS Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Analitik Hiyerarşi Prosesi, Htea ve Pareto Sistemik Analizlerinin Kullanılarak Oluşturulması. (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bursa.

Demirel, Ş. C., & Hastaoğlu, K. Ö. (2022). CBS Tabanlı AHP Yöntemi Kullanılarak Oluşturulan Sivas Koyulhisar Heyelan Duyarlılık Haritalarının Güvenilirliğinin Araştırılması. *Afet ve Risk Dergisi*, 5(2), 715-730.

Devkota, K. C., Regmi, A. D., Pourghasemi, H. R., Yoshida, K., Pradhan, B., & Ryu, I. C. (2013). Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling- Narayanghat road section in Nepal Himalaya. *Natural Hazards*, 65 (1), 135–165.

Duman, O., & Gökgöz, B. (2018). Türkiye’de ve Dünyada Afet Veritabanları. In *2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies* (pp. 556-561).

- Durak, M. Ö., & Altınçekiç, T. H.** (2023). Determination of Landslide Susceptibility in Artvin Central District and Its Nearby Surroundings by Analytical Hierarchy Method. *Turkish Journal Of Agriculture: Food Science And Technology*, vol.11, no.11, 2127-2136.
- Durgun, M.** (2019). Denizli İli İçin Heyelan Duyarlılık Haritalarının Oluşturulması. (Yüksek Lisans Tezi). Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Efe, R.** (2010). Biyocoğrafya. MKM Yayıncılık, Bursa.
- Ekinci, D.** (2005). Karadeniz Ereğlisi'nin Zemin Hareketleri Duyarlılık Sahalarının Sınıflandırılması ve Yüksek Riskli Yerleşmelerin Zemin Stabilitate Analizi. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 13, 121-137.
- Ekinci, D.** (2007). Zonguldak-Hisarönü Arasındaki Karadeniz Akaçlama Havzasının Kütle Hareketleri Duyarlılık Analizi. Çantay Yayınevi, İstanbul.
- Ekinci, D.** (2011). Zonguldak-Hisarönü Arasındaki Karadeniz Akaçlama Havzasının Kütle Hareketleri Duyarlılık Analizi. Titiz Yayınları, İstanbul.
- El Jazouli, A., Barakat, A., & Khellouk, R.** (2019). GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco). *Geoenvironmental Disasters*, 6(1), 1-12.
- Erener, A., Sarp, G., Duzgun, S. H.** (2019). Use Of Gİs And Remote Sensing For Landslide Susceptibility Mapping. In *Advanced Methodologies And Technologies İn Engineering And Environmental Science*, Igi Global, 384 398pp.
- Erinç, S., Ertek, A., & Güneysu, C.** (2015). *Jeomorfoloji I.* (Güncelleştirilmiş Yeni Basım). *Der Yayınları*, 284.
- Erkal, T., & Değerliyurt, M.** (2009). Türkiye'de Afet Yönetimi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 14(22), 147-164.
- Explore Google Earth.** (2024). Ezine Çayı Havzasının Uydu Görüntüsü. [Erişim: 10.11.2024, <https://earth.google.com/web>]
- Gallant, J. C., & Wilson, J. P.** (2000). Primary topographic attributes. In J. P. Wilson and J. C. Gallant (eds) *Terrain Analysis: Principles and Applications*. New York: John Wiley and Sons, pp. 51–86.

- Ghanavati, E. A. Y. E.** (2016). Landslide hazard zonation by using AHP (analytical hierarchy process) model in GIS (geographic information system) environment (case study: Kordan watershed). *Int J Sci High Technol*, 2, 24-39.
- Gorsevski, P. V., Jankowski, P., & Gessler, P. E.** (2006). An heuristic approach for mapping landslide hazard by integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process. *Control and Cybernetics*, 35(1), 121-146.
- Gökçe, O., Özden, Ş., & Demir, A.** (2008). Türkiye’de Afetlerin Mekânsal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 118.
- Gökçeoğlu, C., & Ercanoğlu, M.** (2001). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametrelere İlişkin Belirsizlikler. *Yerbilimleri*, 22(23), 189-206.
- Göksu, G., Karabulut, M., ve Karakoç, A.** (2015). Türkiye’de Bitki Örtüsünün Spot Vegetation Verileri ile İncelenmesi. Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi Bildiriler Kitabı 21-23 Mayıs 2015, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Haliloğlu, S. B.** (1997). Heyelan Analizinde Kullanılan Yöntemler ve Sayısal Çözümleri. (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Harita Genel Müdürlüğü (HGM)** (2024). Sayısal Yükseklik Modeli (SYM). Tıp Fakültesi Caddesi 06590 Cebeci/Ankara.
- Hasekioğulları, G. D.** (2010). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Parametre Etkilerinin Değerlendirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- He, H., Hu, D., Sun, Q., Zhu, L., & Liu, Y.** (2019). A Landslide Susceptibility Assessment Method Based On GIS Technology And An AHP-Weighted Information Content Method: A Case Study Of Southern Anhui, China. *ISPRS International Journal Of Geo-Information*, 8(6), 266.
- Highland, L. M., & Bobrowsky, Peter.** (2008). The landslide handbook—A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p
- Hoşgören, M. Y.** (1992). "Hidrografiya’nın Ana Çizgileri, İstanbul Üniversitesi." Edebiyat Fakültesi Yayın No: 2619.

Hoyois, P., Below, R., Scheuren, J-M., Guha-Sapir, D. (May. 2006). Annual Disaster Statistical Review Numbers and Trends. Univeriste Catholique de Louvain-Brussels-Belgium. Brussels.

Huggett, R. J. (2019). *Jeomorfolojinin Temelleri*. (Çev.) Uğur Doğan, Nobel Akademik Yayıncılık. Ankara.

Kadıoğlu, M. (2008). Modern, Bütünleşik Afet Yönetimin Temel İlkeleri. Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri, 1.

Kadıoğlu, M. (2011). Afet Yönetimi Beklenilmeyeni Beklemek, En Kötüsünü Yönetmek (M. Yılmaz, Ed.). T.C. Marmara Belediyeler Birliği

Kadıoğlu, M., & Özdamar, E. (2008). Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri. *JICA Türkiye Ofisi, Yayın, (2)*.

Kadıoğlu, M., (2008). Sel, Heyelan ve Çığ için Risk Yönetimi; Kadıoğlu, M. ve Özdamar, E., (editörler), “Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri”; s. 251-276, JICA Türkiye Ofisi Yayınları No: 2, Ankara.

Kapluhan, E. (2014). Coğrafi Bilgi Sistemleri’nin (CBS) Coğrafya Öğretiminde Kullanımının Önemi ve Gerekliliği. *Marmara Coğrafya Dergisi, (29)*.

Karakaş, V. E. (2018). Karabük Bölgesinin FR ve AHP Yöntemleri Kullanılarak CBS Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Karakaya, M. (2023). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Heyelan Duyarlılık Analizi: Hakkâri-Yüksekova Örneği. (Yüksek Lisans Tezi). Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.

Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) (2024). Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu. [Erişim: 14.11.2024,

<https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Baskanliklar/BaskanliklarTeknikArastirma/Yeni%20Klas%C3%B6r/Yay%C4%B1mlar/HeyelanTan%C4%B1mlamaK%C4%B1lavuzu.pdf>]

Kayastha, P., Dhital, M. R., De Smedt, F. (2013). “Evaluation of the consistency of landslide susceptibility mapping: a case study from the Kankai watershed in East Nepal”. *Landslides* 10, 785-799.

- Kayhan, H.** (2021). İzmir Metropolitan Alanının Heyelan Hassasiyet Haritalaması. (Yüksek Lisans Tezi). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kıncal, C., & Kayhan, H.** (2022). A Combined Method For Preparation Of Landslide Susceptibility Map İn Izmir (Türkiye). *Applied Sciences*, 12(18), 9029.
- Koç, E.** (2021). Erkenez Havzası Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Kumtepe, P., Nurlu, Y., Cengiz, T., Sütçü, E.** (2011). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi* (104.1), 41-46.
- Le, T. T. T., Hoang, V. H., Van, T. B., Bui, T. K. T., & Nguyen, H. P.** (2021). Developing a landslide susceptibility map using the analytic hierarchical process in Ta Van and Hau Thao Communes, Sapa, Vietnam. *Journal of Disaster Research*, 16(4), 529-538.
- Lee, S., & Min, K.** (2001). “Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea”, *Environmental Geology*, V. 40, p. 1095-1113.
- Lee, S., Choi, J., & Min, K.** (2002). Landslide Susceptibility Analysis and Verification Using the Bayesian Probability Model, *Environmental Geology*, 43,120–131.
- Luzi, L., & Pergalani, F.** (1999). Slope Instability in Static and Dynamic Conditions for Urban Planning: The “Oltre Po Pavese” Case History (Region Lombardia-Italy), *Natural Hazards*, 20, 57-82.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)** (2024). 1/25000 Ölçekli MTA Jeoloji Verisi. Çankaya/Ankara.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)** (2024). 1/25000 Ölçekli MTA Diri Fay Verisi. Çankaya/Ankara.
- Mater, B.** (1998). Toprak Coğrafyası. Çantay Kitabevi, İstanbul.
- Mehrotra, G. S., Sarkar, S., & Dharmaraju, R.** (1992). Landslide Hazard Assessment in Rishikesh-Tehri Area, Garhwal Himalaya, India, *Proceedings of 6th International Symposium on the Landslides*, 1001–1007.
- Mengstie, L., Nebere, A., Jothimani, M., & Taye, B.** (2024). Landslide susceptibility assessment in Addi Arkay, Ethiopia using GIS, remote sensing, and AHP. *Quaternary Science Advances*, 15, 100217.

- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)** (2023). *2023 Yılı Meteorolojik Afetler Değerlendirmesi Raporu*. [Erişim: 28.10.2024, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/raporlar/2023-metafet-raporu.pdf>]
- Moradi, M., Bazyar, M. H., & Mohammadi, Z.** (2012). GIS-based landslide susceptibility mapping by AHP method, a case study, Dena City, Iran. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 2(7), 6715-6723.
- Nefeslioglu, H. A., Duman, T. Y., Durmaz, S.** (2008). "Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey)". *Geomorphology* 94 (3-4), 401-418.
- OpenStreetMap** (2024). Ezine Çayı ve Çevresi Yol Verisi. [Erişim: 05.11.2024, <https://www.openstreetmap.org/#map=6/38.27/35.55>]
- Özcan, K.** (2024). Türkiye Pafta Bölümlemesi. [Erişim:16.11.2024, https://www.kursatozcan.com/turkiye_pafta_bolumlemesi_google_earth/]
- Özdemir, N.** (2005). Sinop İlinde Etkili Bir Doğal Afet Türü: Heyelan. D.Ü. Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi, 5, 67-106.
- Özşahin, E.** (2014a). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Kullanılarak Antakya (Hatay) Şehri'nde Kütle Hareketleri Duyarlılığının Değerlendirmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(2), 19-35.
- Özşahin, E.** (2014b). Tekirdağ İlinde Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Süreci Kullanarak Heyelan Duyarlılık Analizi. *HUMANITAS-Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(03), 167-186.
- Özşahin, E.** (2015a). Landslide Susceptibility Analysis of Tekirdağ City Using Geographic Information Systems (GIS) and Analytic Hierarchy Process (AHP). *Avrasya Bilimler Akademisi Sosyal Bilimler Dergisi*. 6, 50-71.
- Özşahin, E.** (2015b). Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Heyelan Duyarlılık Analizi: Ganos Dağı Örneği (Tekirdağ). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(1), 47-63.
- Öztürk, D., & Batuk, F.** (2010), Konumsal Karar Problemlerinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Kullanılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 28, 124-137.

Öztürk, K. (2002). Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22(2), 35-50.

Panchal, S., & Shrivastava, A. K. (2022). Landslide hazard assessment using analytic hierarchy process (AHP): A case study of National Highway 5 in India. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(3), 101626.

Pektezel, H. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analitik Hiyerarşi Yöntemi Kullanılarak Gelibolu Yarımadası'nda Heyelana Duyarlı Alanların Belirlenmesi. *Turkish Studies (Elektronik)*.

Phukon, P., Chetia, D., & Das, P. (2012). Landslide susceptibility assessment in the Guwahati city, Assam using analytic hierarchy process (AHP) and geographic information system (GIS). *Int J Comput Appl Eng Sci*, 2(1), 1-6.

Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process McGraw Hill, New York. *Agricultural Economics Review*, 70. [Erişim: 21.11.2024, https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2805-6_12]

Saaty, T. L. (1984). The analytic hierarchy process: Decision making in complex environments. In *Quantitative assessment in arms control: mathematical modeling and simulation in the analysis of arms control problems* (pp. 285-308). Boston, MA: Springer US.

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2000). "Models, Methods, Concepts&Applications of the Analytic Hierarchy Process", Kluwer Academic Publisher, Boston/Dordrecht/London.

Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2001). Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process. Boston: Kluwer Academic Publishers.

SCB Associates (2024). AHP Template-3 to 15 criteria. [Erişim: 05.11.2024, <https://www.scbuk.com/AHP%20Template%20SCBUK.xls>]

Şahan, C., & Kaya, İ. (2021). Türkiye Afet Bilgi Bankası (TABB) ile EM-DAT Veri Tabanlarının Karşılaştırılarak Değerlendirilmesi. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 4(3), 679-695.

Şahin, E. K. (2012). CBS Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi Yöntemi Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi: Trabzon İli Örneği. (Yüksek Lisans Tezi). Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

Şengün, M. T., Şaman, B., & Karadeniz, E. (2019). Kalaba Yolu (Sivrice-Elâzığ) Heyelanı ve Duyarlılık Analizi. Fırat Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Elâzığ.

Tarım Reformu Genel Müdürlüğü (2024). 1/25000 Ölçekli Büyük Toprak Grubu Verisi. Çankaya/Ankara.

Taş, M. A., Şenol, C., & Yanık, M. E. (2024). Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Metodu ile Of İlçesi'nde (Trabzon) Heyelan Risk Duyarlılığı Analizi. *Afet ve Risk Dergisi*, 7(1), 279-302.

Taşdemiroğlu, M. (1970). Türkiye'de Kütle Hareketleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 13(2), 26-35.

Tešić, D., Đorđević, J., Hölbling, D., Đorđević, T., Blagojević, D., Tomić, N., & Lukić, A. (2020). Landslide susceptibility mapping using AHP and GIS weighted overlay method: a case study from Ljig, Serbia. *Serbian Journal of Geosciences*, 6(1), 9-21.

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (2024). "Heyelan Geliyorum" Der. [Erişim: 14.11.2024, https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/18dd95a75a91f07_ek.pdf]

TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası (2024). Heyelan El Kitabı-Heyelanları Anlama Kılavuzu. [Erişim: 14.11.2024, https://eski.jmo.org.tr/resimler/ekler/047b9a12067f906_ek.pdf]

Tümertekin, E., & Özgüç, N. (2022). Beşerî Coğrafya: İnsan, Kültür, Mekân (20. Baskı). *İstanbul: Çantay Kitabevi*, 48-51.

Türk Dil Kurumu (TDK) (2025). Afet. [Erişim: 25.01.2025, <https://sozluk.gov.tr/>]

United States Geological Survey (USGS) (2004). Landslide Types and Processes. U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey. [Erişim: 14.11.2024, <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072.html>]

United States Geological Survey (USGS) (2024). Landsat 8 Band 4 ve Band 5 Verisi. [Erişim: 05.11.2024, <https://earthexplorer.usgs.gov/>]

Varnes, D. J (1984). Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practices Commision on Landslides of the IAEG, UNESCO, Paris.1-63.

Varnes, D. J. (1978). Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Vivas, L. (1992). Los Andes Venezolanos. Academia Nacional de la Historia, Caracas.

Wang, F., Xu, P., Wang, C., Wang, N., & Jiang, N. (2017). Application of a GIS-based slope unit method for landslide susceptibility mapping along the Longzi River, Southeastern Tibetan Plateau, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(6), 172.

Wicaksono, Y. S., Sihombing, F. M. H., & Indra, T. L. (2020, July). Landslide susceptibility map of Bogor Area using analytical hierarchy process. In *IOP Conference series: earth and environmental science* (Vol. 538, No. 1, p. 012050). IOP Publishing.

Yalçın, A. (2005). Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İncelenmesi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi*, Trabzon.

Yalçın, A. (2007). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve CBS'nin Kullanımı. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 22(3), 1-14.

Yalçın, A. (2008). "GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations". *Catena* 72, 1- 12.

Yalçın, A., Reis, S., Aydınoğlu, A. C., & Yomralioğlu, T. (2011). A GIS-Based Comparative Study Of Frequency Ratio, Analytical Hierarchy Process, Bivariate Statistics And Logistics Regression Methods For Landslide Susceptibility Mapping İn Trabzon, NE Turkey. *Catena*, 85(3), 274-287.