

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



GÜZELYALI-LAPSEKİ (ÇANAKKALE) ARASINDAKİ BÖLGENİN
HEYELAN TEHLİKESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

SAMET BERBER

DOKTORA TEZİ

Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Şener CERYAN (Tez Danışmanı)
Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU
Prof. Dr. Harun SÖNMEZ
Doç. Dr. Hakan ELÇİ
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan BÜYÜKKAHRAMAN

BALIKESİR, MAYIS - 2023

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Güzelyalı-Lapseki (Çanakkale) Arasındaki Bölgenin Heyelan Tehlikesinin Değerlendirilmesi**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Samet BERBER

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi BAP.2022/063 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

**GÜZELYALI-LAPSEKİ (ÇANAKKALE) ARASINDAKİ BÖLGENİN
HEYELAN TEHLİKESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ
DOKTORA TEZİ
SAMET BERBER
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ŞENER CERYAN)
BALIKESİR, MAYIS - 2023**

Bu tez çalışması kapsamında, Güzelyalı-Lapseki (Çanakkale) arasındaki bölgenin heyelan tehlike değerlendirmesinin yapılması amaçlanmıştır. Saha çalışmalarıyla 75 adet heyelan haritalanmış ve bu heyelanlara ilişkin gözlemler kayıt altına alınarak bir heyelan envanteri oluşturulmuştur. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi için eğim, bakı, arazi kullanımı, topoğrafik yükseklik, normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI), akarsulara mesafe, topoğrafik nemlilik indeksi ve litoloji parametreleri kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık haritaları Frekans Oranı (FO), Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Lojistik Regresyon (LR), Yapay Sinir Ağları (YSA), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Rastgele Orman Algoritmaları (RF) yöntemleriyle üretilmiştir. Üretilen duyarlılık haritaları için AUC değerleri; FO için 0,920, AHP için, 0,893, LR için 0,925, YSA için 0,944, DVM için 0,937 ve RF için 0,950 olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanının heyelan tehlike değerlendirmesi için mekânsal, zamansal ve alansal olasılık hesaplamaları yapılmıştır. Zamansal olasılık için Gumbel dağılımı kullanılarak tetikleyici faktör olarak belirlenen eşik yağış değerinin 1, 5, 10, 25 ve 50 yıllık zamanlar için aşılma olasılıkları hesaplanmıştır. Hesaplanan olasılık değerleri sırasıyla; 0,453, 0,701, 0,951, 0,997 şeklindedir. Alansal olasılık için heyelan alan sınıflarına karşılık gelen olasılık yoğunluk grafiği üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Tehlike değerlendirmesi için heyelanlar; 0,1 km²den büyük olanlar küçük, 0,35 km²den büyük olanlar orta ve 1 km²den büyük olanlar büyük olarak sınıflandırılmış ve olasılık değerleri sırasıyla; 0,701, 0,361, 0,184 olarak hesaplanmıştır. Olasılık hesaplamaları tamamlandıktan sonra çalışma alanına ait küçük, orta ve büyük boyut olarak tanımlanan heyelanların 1, 5, 10, 25 ve 50 yıllık süreçlerde oluşma olasılıklarını gösteren tehlike haritaları üretilmiştir. Tez çalışmasının son aşamasında heyelanların alansal değerleri kullanılarak heyelan büyüklüğü yoğunluk haritası üretilmiştir. Heyelan büyüklüğü yoğunluk haritası, heyelan duyarlılık haritası ve 1, 5, 10, 25, ve 50 yıllık zamana aralıkları için hesaplanan eşik yağış aşılma olasılığı değerleri kullanılarak bu zaman periyotlarına karşılık gelen heyelan tehlike yoğunluğu haritaları üretilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Çanakkale, heyelan duyarlılık, heyelan tehlike, rastgele orman algoritması, heyelan tehlike yoğunluğu

ABSTRACT

**LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENT OF THE REGION
BETWEEN GÜZELYALI-LAPSEKİ (ÇANAKKALE)
PH.D THESIS
SAMET BERBER
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
GEOLOGICAL ENGINEERING
(SUPERVISOR: PROF. DR. ŞENER CERYAN)
BALIKESİR, MAY - 2023**

In the scope of this thesis, it is aimed to make a landslide hazard assessment of the region between Güzelyalı and Lapseki (Çanakkale). With field studies, 75 landslides were mapped and a landslide inventory was created by recording the observations of these landslides. Slope, aspect, land use, topographic elevation, normalized vegetation index (NDVI), distance to streams, topographic wetness index and lithology parameters were used to produce landslide susceptibility maps. Landslide susceptibility maps were produced by Frequency Ratio (FR), Analytical Hierarchy Process (AHP), Logistic Regression (LR), Artificial Neural Networks (ANN), Support Vector Machines (SVM) and Random Forest Algorithms (RF) methods. AUC values for the susceptibility maps produced; It was calculated as 0,920 for FO, 0,893 for AHP, 0,925 for LR, 0,944 for ANN, 0,937 for SVM and 0,950 for RF. Spatial, temporal and dimensional for landslide hazard assessment of the study area probability calculations were made. By using the Gumbel distribution for temporal probability, the probability of exceeding the threshold precipitation value determined as the triggering factor for 1, 5, 10, 25 and 50-year times was calculated. The calculated probability values are respectively; 0,453, 0,701, 0,951, 0,997. Calculations were made on the probability density plot corresponding to the landslide area classes for the dimensional probability. Landslides for hazard assessment; Those larger than 0.1 km² are classified as small, those larger than 0.35 km² are classified as medium and those larger than 1 km² are classified as large and their probability values are respectively; It was calculated as 0,701, 0,361, 0,184. After the probability calculations were completed, hazard maps were produced showing the probabilities of the landslides of the study area, defined as small, medium and large size, to occur in 1, 5, 10, 25 and 50 years. In the last stage of the thesis, a landslide size density map was produced by using the areal values of the landslides. By using the landslide size density map, landslide susceptibility map and threshold precipitation probability values calculated for 1, 5, 10, 25, and 50-year time intervals, landslide hazard density maps corresponding to these time periods were produced.

KEYWORDS: Çanakkale, landslide susceptibility, landslide hazard, random forest algorithm, landslide hazard density

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışma Alanının Tanıtımı.....	1
1.2 Çalışma Alanının İklim Özellikleri.....	2
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	3
1.4 Önceki Çalışmalar.....	4
1.5 Çalışma Alanının Jeolojisi	24
1.5.1 Giriş	24
1.5.2 Şahinli Formasyonu	26
1.5.3 Erdağ Volkaniti	26
1.5.4 Atikhisar Volkaniti.....	26
1.5.5 Gazhanedere Formasyonu.....	27
1.5.6 Çanakkale Formasyonu.....	28
1.5.6.1 Kirazlı Üyesi.....	28
1.5.6.2 Çamrakdere Üyesi	29
1.5.6.3 Alçıtepe Üyesi	30
1.5.7 Kuvaterner Yaşlı Eski Akarsu Çökelleri.....	30
1.5.8 Alüvyon.....	30
1.6 Heyelanlarla İlgili Tanımlamalar	31
2. HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ	35
2.1 Heyelan Duyarlılık Analizlerinde Kullanılan Parametreler.....	35
2.2 Heyelan Duyarlılık Analizlerinde Kullanılan Yöntemler	36
2.2.1 Yöntemlerin Sınıflandırılması.....	36
2.2.2 Frekans Oranı (FO)	38
2.2.3 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP).....	39
2.2.4 Lojistik Regresyon (LR)	42
2.2.5 Yapay Sinir Ağları (YSA).....	44
2.2.6 Destek Vektör Makineleri (DVM).....	46
2.2.7 Rastgele Orman Algoritması (Random Forest-RF)	49
2.3 Heyelan Duyarlılık Analizlerinin Performans Değerlendirmesi.....	50
3. HEYELAN TEHLİKE ANALİZİ	53
3.1 Heyelanların Zamansal Olasılığı.....	53
3.2 Heyelanların Alansal Olasılığı	55
4. BULGULAR	57
4.1 Heyelan Envanter Çalışmaları	57

4.2 Çalışma Alanının Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretiminde Kullanılan Parametreler	64
4.2.1 Yamaç Eğimi.....	64
4.2.2 Bakı.....	66
4.2.3 Topoğrafik Yükseklik	67
4.2.4 Eğrisellik	69
4.2.5 Arazi Kullanımı.....	70
4.2.6 Akarsulara Mesafe	72
4.2.7 TWI (Topoğrafik Nemlilik İndeksi)	74
4.2.8 NDVI (Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi)	75
4.2.9 Litoloji.....	77
4.3 Çalışma Alanının Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretimi	79
4.3.1 Frekans Oranı Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretimi ve Performans Analizi.....	79
4.3.2 AHP Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretimi ve Performans Analizi.....	82
4.3.3 Lojistik Regresyon Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretimi ve Performans Analizi.....	87
4.3.4 YSA Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretimi ve Performans Analizi.....	89
4.3.5 DVM Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretimi ve Performans Analizi.....	91
4.3.6 RF Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretimi ve Performans Analizi.....	93
4.4 Heyelan Duyarlılık Haritalarının Performanslarının Karşılaştırılması	95
4.5 Çalışma Alanının Heyelan Tehlike Analizleri	96
4.5.1 Zamansal Olasılığın Değerlendirilmesi.....	96
4.5.2 Alansal Olasılığın Değerlendirilmesi	99
4.5.3 Heyelan Tehlike Haritalarının Üretimi	101
4.6 Çalışma Alanının Heyelan Tehlike Yoğunluğu Analizi	102
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	109
6. KAYNAKLAR	113
ÖZGEÇMİŞ	122

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Çalışma alanının yer bulduru haritası.	1
Şekil 1.2: Çanakkale ilinin 1929-2019 yılları arasındaki aylara göre en düşük ve en yüksek sıcaklık grafiği.	2
Şekil 1.3: Çanakkale ilinin 1929-2019 yılları arasındaki aylık toplam ortalama yağış (mm) ve yağışlı gün sayısı grafiği.	2
Şekil 1.4: Şebinkarahisar (Giresun) ilçe merkezi kitle hareketleri ve mikrobölgelendirme haritası (Ceryan, 1990).	6
Şekil 1.5: Çalışma alanının genel jeoloji haritası (MTA 2008'den değiştirilerek).	25
Şekil 1.6: Umurbey barajı gövde kısmında gözlemlenen Erdağ volkanitlerine ait görüntü.	27
Şekil 1.7: Atikhisar barajı çevresinde gözlemlenen volkanitlere ait görüntü.	27
Şekil 1.8: İlyasköy-Subaşı köy yolu arasında gözlenen Çanakkale formasyonundaki kumtaşı, silttaşı, marn ardalanmasına ait görüntü.	28
Şekil 1.9: Subaşı köyü batısında gözlemlenmiş Kirazlı Üyesi'ne ait konglomera.	29
Şekil 1.10: İlyasköy kuzey kesimlerinde gözlemlenmiş Alçıtepe kireçtaşı.	30
Şekil 1.11: Tipik bir heyelan kesiti ve tanımlanmış bölümleri (IAEG, 1990).	31
Şekil 2.1: Taranan makalelerde parametrelerin kullanımına ilişkin dağılım.	35
Şekil 2.2: Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntemler (Aleotti ve Chowdhury, 1999; Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001'den değiştirilerek).	37
Şekil 2.3: İncelenen heyelan duyarlılık konu başlıklı 163 bilimsel yayında kullanılan yöntemlerin dağılımı.	38
Şekil 2.4: İki nöronlu bir biyolojik sinir ağı (Konar 2005).	44
Şekil 2.5: Yapay sinir ağları hücre yapısı.	45
Şekil 2.6: DVR'de hiperdüzlemin belirlenmesi.	48
Şekil 2.7: Rastgele orman algoritmasının temel çalışma prensibi.	50
Şekil 4.1: Saha çalışmalarında heyelanlar için doldurulan Heyelan Veri Formu örnekleri.	58
Şekil 4.2: Çalışma alanında haritalanan; a) 7, b) 9, c) 10, d) 12, e) 15, f) 16, g) 17, h) 20, i) 21, j) 28 numaralı heyelanlara ait görüntüler (Tablo 4.1).	59
Şekil 4.3: Çalışma alanında haritalanan; a) 23, b) 27, c) 43, d) 44, e) 45, f) 64, g) 70, h) 75 numaralı heyelanlara ait görüntüler (Tablo 4.1).	60
Şekil 4.4: Çalışma alanına ait heyelan envanter haritası.	63
Şekil 4.5: Çalışma alanına ait yamaç eğimi haritası.	65
Şekil 4.6: Çalışma alanına ait bakı haritası.	67
Şekil 4.7: Çalışma alanına ait topoğrafik yükseklik haritası.	68
Şekil 4.8: Çalışma alanına ait eğrisellik haritası.	70
Şekil 4.9: Çalışma alanına ait arazi kullanımı haritası.	71
Şekil 4.10: Çalışma alanına ait akarsulara mesafe haritası.	73
Şekil 4.11: Çalışma alanına ait TWI haritası.	75
Şekil 4.12: Çalışma alanına ait NDVI haritası.	76
Şekil 4.13: Çalışma alanına ait litoloji haritası.	78
Şekil 4.14: Çalışma alanının Frekans Oranı (FO) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası.	81

Şekil 4.15: Frekans Oranı (FO) yöntemiyle üretilen duyarlılık haritasının ROC eğrisi.	82
Şekil 4.16: Çalışma alanının Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	86
Şekil 4.17: AHP yöntemiyle üretilen duyarlılık haritasının ROC eğrisi.....	86
Şekil 4.18: Çalışma alanının Lojistik Regresyon (LR) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası.	88
Şekil 4.19: Lojistik Regresyon (LR) yöntemiyle üretilen duyarlılık haritasının ROC eğrisi.	89
Şekil 4.20: Tek gizli katmanlı oluşturulan YSA tasarımı.	90
Şekil 4.21: Çalışma alanının Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası.	90
Şekil 4.22: Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının ROC eğrisi.	91
Şekil 4.23: Çalışma alanının Destek Vektör Makineleri (DVM) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	92
Şekil 4.24: Destek Vektör Makineleri (DVM) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının ROC eğrisi.	93
Şekil 4.25: Çalışma alanının Rastgele Orman Algoritması (RF) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	94
Şekil 4.26: Rastgele Orman Algoritması (RF) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının ROC eğrisi.	95
Şekil 4.27: Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde kullanılan yöntemlerin ROC eğrileri.....	95
Şekil 4.28: 3, 5, 7, 14, 21 ve 28 günlük normalize edilmiş kümülatif yağış-günlük yağış grafikleri.	97
Şekil 4.29: 1960-2021 yılları arası için yıllık maksimum 21 günlük kümülatif yağış değerleri frekans dağılımları.....	98
Şekil 4.30: 21 günlük kümülatif yağış değeri olasılık grafiği.....	99
Şekil 4.31: Heyelan alan sınıfı-olasılık yoğunluk grafiği.	100
Şekil 4.32: Heyelan alansal olasılık grafiği.....	101
Şekil 4.33: 1, 5, 10, 25 ve 50 yıllık zaman aralığında 0.1 km ² den büyük heyelanlar için heyelan tehlike haritaları.....	103
Şekil 4.34: 1, 5, 10, 25 ve 50 yıllık zaman aralığında 0.35 km ² den büyük heyelanlar için heyelan tehlike haritaları.....	104
Şekil 4.35: 1, 5, 10, 25 ve 50 yıllık zaman aralığında 1 km ² den büyük heyelanlar için heyelan tehlike haritaları.....	105
Şekil 4.36: Çalışma alanına ait heyelan büyüklüğü yoğunluk haritası.	106
Şekil 4.37: 1, 5, 10, 25 ve 50 yıllık heyelan tehlike yoğunluğu haritaları.	108

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Hareketin tipi ve malzeme cinsine göre heyelanların sınıflaması (Varnes, 1978).....	31
Tablo 1.2: Tipik bir heyelan kesitinde gelişen bölümler (IAEG, 1990).....	32
Tablo 2.1: İkili karşılaştırma ölçeği (Saaty, 1980).....	40
Tablo 2.2: Rastgelelik Göstergesi değerleri (Yaralıoğlu, 1999).....	42
Tablo 2.3: Çekirdek fonksiyonları.....	49
Tablo 2.4: Duyarlılık analizi sonucunda değerlendirme yapılırken karşılaşılabilecek durumlar.....	51
Tablo 2.5: AUC değerleri ile ROC modelinin doğruluk değerlendirmesi.....	52
Tablo 3.1: Gumbel Dağılımı (Fisher Tippett I) N değerine karşılık gelen \bar{y}_n ve σ_n sabitleri.....	54
Tablo 4.1: Çalışma alanında haritalanan heyelanlara ilişkin birtakım bilgiler.....	61
Tablo 4.2: Çalışma alanında yamaç eğimi alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.....	65
Tablo 4.3: Çalışma alanında yamaç yönelimi (bakı) alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.....	66
Tablo 4.4: Çalışma alanında topoğrafik yükseklik alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.....	68
Tablo 4.5: Çalışma alanında eğrisellik alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.....	69
Tablo 4.6: Çalışma alanında arazi kullanımı alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.....	72
Tablo 4.7: Çalışma alanında akarsulara mesafe alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.....	73
Tablo 4.8: Çalışma alanında TWI alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.....	74
Tablo 4.9: Çalışma alanında NDVI alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.....	77
Tablo 4.10: Çalışma alanında litoloji alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.....	78
Tablo 4.11: Parametre alt sınıfları için hesaplanmış Frekans Oranı (FO) değerleri.....	79
Tablo 4.12: AHP yöntemiyle oluşturulan girdi parametreleri matrisi.....	82
Tablo 4.13: AHP yöntemiyle oluşturulan parametre alt sınıflarına ait matrisler.....	83
Tablo 4.14: Lojistik Regresyon yöntemiyle elde edilen istatistiksel sonuçlar.....	87
Tablo 4.15: Çalışma alanında tarihi bilinen heyelanlar.....	96

SEMBOL LİSTESİ

°C	: Santigrat Derece
mm	: Milimetre
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
ARAS	: Afet Risk Azaltma Sistemi
IAEG	: Uluslararası Mühendislik Jeolojisi ve Çevre Derneği
CI	: Tutarlılık İndeksi
RI	: Rastgelelik Göstergesi
CR	: Tutarlılık Oranı
f_h	: Aktivasyon Fonksiyonu
AUC	: Eğri Altında Kalan Alan
p(A_L)	: Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
N_{LT}	: Heyelan Envanterindeki Toplam Heyelan Sayısı
Γ	: Gamma Fonksiyonu
\bar{A}_L	: Heyelanların Ortalama Alanı (km ²)
A_{LT}	: Heyelanların Toplam Alanı (km ²)
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
u	: Heyelan Uzunluğu (m)
g	: Heyelan Geniliği (m)
NIR	: Yakın Kızılötesi Spektroskopisi
BFGS	: Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno Algoritması

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgi, tecrübe ve önerilerini benden esirgemeyen, akademik hayatım boyunca bana daima destek olan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Şener CERYAN'a,

Tez izleme dönemlerinde doktora tezimin gelişiminde katkı sağlayan ve değerli yorumlarıyla beni yönlendiren, Tez İzleme Komitesi Üyeleri, Sayın Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Gökhan BÜYÜKKAHRAMAN'a,

Değerli önerileri ve katkılarından dolayı, Jüri Üyeleri, Sayın Prof. Dr. Harun SÖNMEZ ve Sayın Doç. Dr. Hakan ELÇİ'ye,

Beni yetiştirip bugünlere getiren, maddi manevi her türlü yardımlarını esirgemeyen canım aileme,

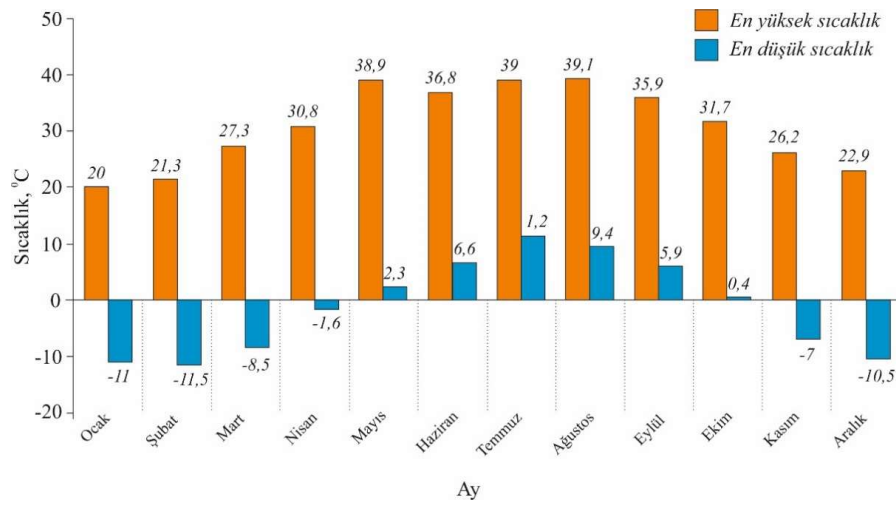
Sonsuz Teşekkürler...

Balıkesir, 2023

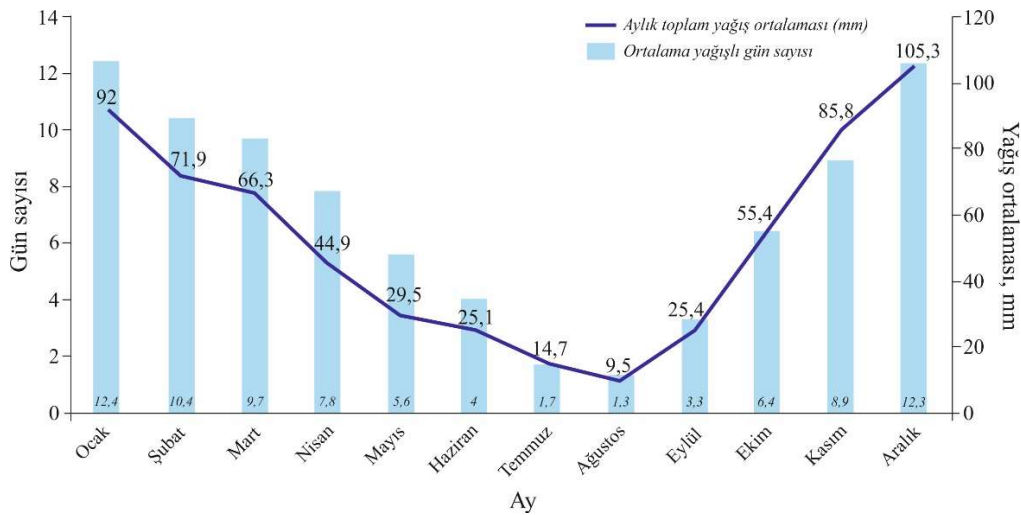
Samet BERBER

1.2 Çalışma Alanının İklim Özellikleri

Çanakkale’de genel olarak Akdeniz iklimi hakimdir ve geçiş iklimi özellikleri sergilemektedir. Son 90 yıllık Meteoroloji verilerine bakıldığında; en düşük sıcaklık -11,5 °C ile Şubat ayında, en yüksek sıcaklık 39,1 °C ile Ağustos ayında görülmüştür (Şekil 1.2). Çanakkale ilinin yıllık sıcaklık ortalaması 15,05 °C ve ortalama nem oranı da %72,6’dır (İRAP, 2021). Bölgede yıllık ortalama yağış 625,8 mm iken en çok yağışın gözlendiği ay 105,3 mm ortalama yağış ile Aralık ayı, en düşük yağışın gözlendiği ay ise 9,5 mm ile Ağustos ayıdır. Eldeki verilere göre Çanakkale için ölçülen en yüksek yağış ise günlük 137,8 mm’dir (Şekil 1.3) (MGM, 2022).



Şekil 1.2: Çanakkale ilinin 1929-2019 yılları arasındaki aylara göre en düşük ve en yüksek sıcaklık grafiği.



Şekil 1.3: Çanakkale ilinin 1929-2019 yılları arasındaki aylık toplam ortalama yağış (mm) ve yağışlı gün sayısı grafiği.

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Afet; çoğunlukla insanların kontrolü dışında gerçekleşen, can ve mal kaybına neden olabilecek tehlike ve genellikle büyük çaplı olay olarak tanımlanabilir. Türkiye’de afet denildiğinde depremlerden sonra en fazla can ve mal kaybına neden olan afet türünün heyelanlar olduğu bilinmektedir (İldır, 1995).

Heyelanlar, can ve mal kayıplarının yanında çevresel unsurları da olumsuz etkilemektedirler. Heyelanlardan kaynaklı tarım ve orman alanlarında meydana gelen üretim kayıpları ve heyelanları önlemek için yapılan çalışmalarla ilgili harcamalar ve iş gücü kayıpları gibi dolaylı etkiler doğrudan etkilere göre ülke ekonomisine daha çok zarar vermektedirler (Dağdelenler, 2013). Dolayısıyla heyelanların sebep olduğu bu olumsuzlukların üstesinden gelebilmek için heyelan duyarlılık, tehlike ve risk çalışmalarının önemi her geçen gün artmaktadır.

Bu amaçla doktora tez çalışması kapsamında, çalışma alanı olarak belirlenen Çanakkale iline bağlı Güzelyalı-Lapseki arasındaki bölge, heyelan tehlike değerlendirmesinin yapılması için seçilmiştir. Öncelikli olarak heyelan duyarlılığı ve tehlike analizleri üzerine yapılan çalışmaların yer aldığı, SCI kapsamında taranan dergilerdeki en çok atıf alan çalışmalar incelenmiş ve tez çalışmasına yön verilmiştir. Çalışmanın en önemli adımlarından olan heyelan envanter haritası; eski kayıtlar, hava fotoğrafları, MTA heyelan envanteri ve saha çalışmalarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Sahada oluşturulan heyelan envanteri, Coğrafi Bilgi Sistemleri programı (ArcGIS 10.2v) vasıtasıyla bilgisayar ortamında sayısallaştırılmıştır. Bölgenin Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) haritası, Harita Genel Müdürlüğü’nden elde edilmiş ve CBS ortamında 30mx30m çözünürlükte olacak şekilde düzenlenmiştir.

Yapılan literatür çalışmaları ve sonrasında gerçekleştirilen saha çalışmalarındaki gözlemler sonucunda heyelan duyarlılığı analizlerinde kullanılmak üzere 9 adet parametre seçilmiş olup bunlar; eğim, bakı, eğrisellik, arazi kullanımı, topoğrafik yükseklik, NDVI (Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi), akarsulara mesafe, TWI (Topoğrafik Nemlilik İndeksi) ve litolojidir. Her bir parametrenin belirlenen sınıflar doğrultusunda sayısal olarak haritaları üretilmiş ve analize uygun hale getirilmiştir. Heyelan envanter haritasıyla birlikte 9 adet girdi parametre haritası kullanılarak Frekans Oranı (FO), Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP),

Lojistik Regresyon (LR), Yapay Sinir Ağları (YSA), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Rastgele Orman Algoritması (RF) yöntemleriyle heyelan duyarlılık analizleri yapılmıştır.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinin ardından tehlike analizleri, Guzzetti vd. (1999) tanımına uygun olacak şekilde yapılmıştır. Bu tanım gereği heyelanın nerede ($P_{mekansal}$), ne zaman ($P_{zamansal}$) ve ne kadar büyüklükte ($P_{alansal}$) olacağının olasılık hesabı yapılmalıdır. Heyelan duyarlılığı bu tanımda mekânsal olabilirliği temsil etmektedir. Zamansal olabilirlik için Çanakkale merkez istasyonuna ait 1960-2021 yılları arasındaki günlük yağış verileri analiz edilmiştir. Alansal olasılığı hesaplamak için Malamud vd. (2004)'ün ortaya koyduğu üç parametrelili ters gamma dağılımları kullanılmıştır. Çalışma alanındaki heyelanların büyüklük-frekans ilişkisi de göz önünde bulundurulmuş ve 0.1 km², 0.35 km² ve 1 km²lik alandan büyük olma olasılıkları söz konusu dağılım kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak çalışma alanı için mekânsal, zamansal ve alansal olabilirlik parametrelerinin değerlendirilmesiyle 1, 5, 10, 25, 50 yıllık; 0,1, 0,35 ve 1 km²den büyük alana sahip heyelanların oluşma olasılıklarını gösteren heyelan tehlike haritaları üretilerek çalışma sahasının heyelan tehlike değerlendirmesi yapılmıştır.

Tez çalışmasının son adımı olarak çalışma alanının heyelan tehlike yoğunluğu haritaları da üretilmiştir. Bunun için öncelikli olarak heyelan büyüklüğü yoğunluğunu gösteren harita, ArcGIS programının bir modülü (Kernel Density) kullanılarak üretilmiştir. Sonraki aşamada ise zamansal olasılığı da hesaba katarak çalışma alanına ait 1, 5, 10, 25 ve 50 yıllık heyelan tehlike yoğunluğu haritaları üretilmiştir.

1.4 Önceki Çalışmalar

Tez kapsamında önceki çalışmalar jeoloji, heyelan duyarlılık ve heyelan tehlike çalışmaları olarak değerlendirilmiş oluş bu sıra içerisinde verilmiştir.

Erol (1968), yaptığı çalışmada Çanakkale Boğazı'nın oluşumu ile ilgili olarak fayların etkili olduğunu ancak bu oluşumun yalnızca faylanma ile açıklanamayacağını belirtmiştir. Araştırmacı Pliyosen sonlarında gözlenen akarsular sayesinde bir vadi geliştiğini ve Kuvaterner sonlarında da bu vadinin deniz suları ile dolduğunu belirtmiştir. Ayrıca Çanakkale Boğazı'nın mevcut durumunu oluştururken faylarla birlikte tabaka doğrultu ve eğimlerinin de etkili olduğunu yine benzer şekilde kayaçların farklı dayanımlara sahip olmasının da payının olduğunu belirtmiştir.

Demirbağ vd. (1998), yaptıkları çalışmada Çanakkale Boğazı kuzeydoğu kesimlerini kapsayan bölgeyi jeolojik ve jeofizik açıdan incelemişlerdir. Bu çalışmaya göre boğazı oluşturan temel kayaların farklı aşınma dönemleri olduğunu belirtmişlerdir. Aşınım dönemlerinden sonra ise iki farklı evrede (Kuvaterner ve daha sonrasında) uyumsuz olarak birikimlerin gerçekleştiğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar yaptıkları çalışma sonucunda boğazın kuzeydoğu kesiminin bir graben oluşumu ile geliştiğini ortaya koymuşlardır. İki farklı evrede gelişen çökellerin ise Kuvaterner’de iki farklı zamandaki düşey hareketliliğin göstergesi olduğunu söylemişlerdir.

Atabey vd. (2004), Çanakkale havzasının Orta-Üst Miyosen stratigrafisini ele aldıkları çalışmada Truva havzasında Sarıyar formasyonu ile Çanakkale formasyonunun çökeldiğini ortaya koymuşlardır. Orta Miyosen sonu yaşlı olan Sarıyar formasyonunun alüvyon yelpazesi ortamını karakterize ettiğini vurgulayan araştırmacılar Çanakkale-Lapseki kıyısı boyunca Çanakkale formasyonu ve Sarıyar formasyonunun Pleyistosen yaşlı denizel çakıltaşlarıyla ve güncel alüvyon çökelleriyle örtüldüğünü belirtmişlerdir.

Genç vd. (2012), yaptıkları çalışmada Biga Yarımadası’ndaki Tersiyer volkanizmasının stratigrafik, petrografik ve kimyasal özelliklerini araştırmışlardır. Araştırmacılar bölgedeki Tersiyer kayaçlarının Orta Eosen yaşlı granitoidler ve volkanitlerle başladığını belirtmişlerdir. Edincik ve Beyçayır volkanitlerinin temel kayaçlar üzerinde uyumsuzlukla yer aldığını ve bu birimlerin üzerine de Orta Eosen yaşlı Fıçitepe formasyonunun uyumsuzlukla geldiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar çalışma sahasında Orta Eosen yaşlı Şahinli formasyonu, Orta-Geç Eosen yaşlı Soğucak formasyonu, Geç Eosen yaşlı Dededağ volkanitleri, Geç Eosen yaşlı Beybaşı formasyonu ve Erdağ volkanitlerinin Eosen dönemi boyunca gözlemlenen birimler olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Oligosen boyunca da volkanizmanın devam ettiğini vurgulamışlardır. Biga Yarımadası’ndaki Oligosen volkanitlerinin sırasıyla, Atikhisar, Yeniköy, Saraycık, Bağburun ve Hallaçlar volkaniti olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar son olarak bölgede Erken Miyosen’den itibaren oldukça yoğun volkanik faaliyetle birlikte birbirinden kopuk ve/veya bağlantılı çok sayıda gölsel havzanın oluştuğunu belirtmişlerdir.

Tez çalışması kapsamında heyelan duyarlılık konu başlıklı 2000-2020 yılları arasında yayımlanmış ve en çok atıf alan 163 makale taranmıştır.

Ercanoğlu ve Gökçeoğlu (2002), Yenice-Karabük bölgesinde yaptıkları çalışmada heyelan duyarlılığını bulanık mantık yöntemiyle ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar bu çalışmada 6 farklı girdi parametresi kullanmışlardır. Bulanık mantık yöntemiyle oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarında, %10'luk bir kesimin duyarsız alanı, %23'lük kesimin düşük, %14'lük kesimin orta ve %29'lük kesimin ise yüksek duyarlılık alanları gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca çalışma sonucunda yamaç eğimi parametresinin heyelanları kontrol eden en önemli parametre olduğu vurgulanmıştır.

Ermini vd. (2005), İtalya'da bulunan Riomaggiore havzasını çalışma alanı olarak belirlemiş ve iki farklı Yapay Sinir Ağları kurgusu ile (MLP ve PNN) bölgenin heyelan duyarlılığını ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar, heyelan duyarlılığına etki ettiğini düşündükleri; litoloji, eğim, eğrisellik, arazi kullanımı ve yamaç yukarısı alanı olmak üzere 5 girdi parametresi kullanmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları çalışma sonucunda, bu havza için MLP'nin daha iyi sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır.

Ayalew ve Yamagishi (2005), Kakuda-Yahiko bölgesindeki heyelan duyarlılığını Lojistik Regresyon yöntemini kullanarak ortaya koymuşlardır. Oluşturdukları heyelan envanterinde 87 adet heyelan haritalamışlar ve bağımlı değişken olduğunu varsayarak heyelanlı alanlara "1" heyelan olmayan alanlara ise "0" değerini atamışlardır. Regresyon modelinde bağımsız değişkenler ise girdi parametreleri olup bunlar; litoloji, eğim, bakı, topoğrafik yükseklik, yol durumu ve çizgisellikler şeklindedir.

Ceryan ve Ceryan (2008), Doğan kent-Giresun bölgesinde yaptıkları çalışmada heyelan duyarlılığını etkileşim matrisi yöntemiyle ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar heyelan duyarlılığını ortaya koymak için oluşturdukları matriste su durumu, ayrışma, kayma direnci, eğim, bitki örtüsü, faylara uzaklık, süreksizlik frekansı, duraylı alanlar olmak üzere 9 adet girdi parametresi kullanmışlardır. Araştırmacılar Doğan kent bölgesi için uyguladıkları etkileşim matrisi sonucunda heyelan duyarlılıklarını düşük, orta ve yüksek duyarlılık olarak sınıflamışlardır. Çıkan sonuç haritalarına göre %9'luk bir alan düşük, %26'lık bir alan orta ve %65'lik bir alan ise heyelanlara yüksek duyarlı olarak sınıflandırılmıştır.

Nefeslioğlu vd. (2008), Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer alan İspir ve çevresindeki bölgeyi çalışma alanı olarak belirlemişlerdir. Yaptıkları çalışmadaki amaç, farklı örneklem stratejileri (tüm heyelan kütleleri ve kök hücre) kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık

modellerinin farklılıklarını değerlendirmektir. Bu amaç doğrultusunda heyelan duyarlılık haritalarını oluşturabilmek için güncel yöntemlerden Lojistik Regresyon ve Yapay Sinir Ağları yöntemlerini kullanmışlardır. Kullanılan yöntemlerin performans analizi ROC eğrileri ile yapılmıştır. Buna göre heyelan kütesinde yapılan örneklerle oluşturulan YSA yöntemi için AUC değerlerinin 0,949 ile 0,915 arasında değiştiğini ve LR yönteminden daha iyi performans sergilediğini gözlemlemişlerdir.

Bai vd. (2010), Çin'de heyelanların sıkça gözlemlendiği Three Gorges Reservoir olarak tanımlanan bölgede bulunan Zhongxian-Shizhu segmentini çalışma alanı olarak belirlemişlerdir. Toplam çalışma alanının 260,9 km² olduğu ve heyelanlı alanların da 5.3 km² olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir. Araştırmacılar girdi parametresi olarak bakı, topoğrafik yükseklik, eğim, arazi kullanımı, plan eğriselliği, zemin türü, akarsulara mesafe parametrelerini kullanmışlardır. Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası Lojistik Regresyon yöntemiyle oluşturulmuştur. Çalışmada üretilen heyelan duyarlılık haritasında alanının %2,8'inin çok yüksek, %16,1'inin yüksek, %26,7'sinin orta, %36,2'sinin düşük ve %18,2'sinin çok düşük duyarlılık alanları oluşturduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar kullanılan yöntemin performans analizi için ise doğru sınıflandırma yüzdesi ve RMSE'yi tercih etmiş olup elde edilen değerlerin sırasıyla %81,4 ve 0.392 olduğunu belirtmişlerdir.

Tien Bui vd. (2011), yaptıkları çalışmada Vietnam-Hoa Binh bölgesinde heyelan duyarlılık analizi yapmak için istatistiksel indeks ve lojistik regresyon yöntemlerini kullanmış ve heyelan duyarlılık haritasından elde edilen heyelan alanları ile gerçekleşen heyelanları karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar girdi parametrelerini, litoloji, zemin türü, arazi kullanımı, bakı, yağış, eğrisellik, eğim, faylara uzaklık, akarsulara uzaklık ve yollara uzaklık olarak belirlemişlerdir. Araştırmacılar her iki modelin de hemen hemen yakın tahmin yeteneğine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Kayastha vd. (2013), yaptıkları çalışmada heyelanların sıkça gözlemlendiği Nepal'in Tineu havzasını çalışma alanı olarak belirlemişlerdir. Heyelan duyarlılığını ortaya koyabilmek için çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan AHP'yi kullanmışlardır. Araştırmacılar heyelan duyarlılığına etki ettiğini düşündükleri; eğim, rölyef, arazi kullanımı, faylara mesafe, litoloji, akarsulara uzaklık ve yağış girdi parametreleri olarak belirlemişlerdir. Üretilen heyelan duyarlılık haritasını "Düşük", "Orta", "Yüksek" ve "Çok Yüksek" olmak üzere 4 sınıfa ayırmışlardır. Sırasıyla bu sınıflara karşılık gelen alansal yüzde değerlerinin;

%40, %30, %20 ve %10 şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Heyelan duyarlılık haritasını üretirken kullanılan yöntemin doğruluğu için de AUC değeri %77,54 olarak hesaplanmış ve çalışmanın bölge için önemli bir altlık olarak kullanılabilceği vurgulanmıştır.

Chen vd. (2017), Çin'in Shaanxi eyaletine bağlı Long County bölgesinde, en gelişmiş veri madenciliği tekniklerinden LMT, RF ve CART modellerini kullanarak heyelan duyarlılığını ortaya koymayı amaçlamışlardır. Araştırmacılar öncelikli olarak tarihi kayıtlar, hava fotoğrafları ve detaylı saha çalışmaları sonucunda 171 adet heyelan haritalamış ve heyelan envanterini oluşturmuşlardır. Duyarlılık analizleri için 12 adet girdi parametresi belirlemiştirlerdir. Parametreler; eğim, bakı, plan eğriliği, profil eğriliği, yükseklik, NDVI, arazi kullanımı, faylara uzaklık, yollara uzaklık, akarsulara uzaklık, litoloji ve yağıştır. Haritalaması yapılan 171 adet heyelan eğitim ve doğrulama amacıyla 70/30 oranında rastgele iki gruba ayrılmıştır. Araştırmacılar üç yöntemle oluşturdukları heyelan duyarlılık haritalarının performans analizini yapmak amacıyla ROC eğrisi yöntemini kullanmışlardır. Buna göre genel olarak üç yöntemin de iyi performans sergilediğini ancak en yüksek öngörü yeteneğinin 0,781 AUC değerine sahip olan RF yönteminde olduğunu vurgulamışlardır.

Chen vd. (2017), Çin'in güneybatı kesiminde yer alan Hanyuan-Sichuan bölgesinde 2388 km²lik bir alanda heyelan duyarlılığını ortaya koyabilmek için bir çalışma yürütmüşlerdir. Heyelan envanteri için hava fotoğraflarından yararlanan araştırmacılar ayrıca detaylı saha çalışmaları da yapmışlardır. Bu bağlamda çalışma alanında toplam 225 adet heyelan haritalamışlardır. Bölgedeki heyelanların birçoğu dönel kayma şeklinde gerçekleştiğinden kaya düşmesi, devrilme ve akma türü duraysızlıklar bu çalışmada dikkate almamışlardır. Bu çalışmada üç farklı veri madenciliği yöntemi (ANFIS-FR, GAM, SVM) kullanan araştırmacılar eğitim ve doğrulama verisetlerini; heyelanların %70'ini eğitim veriseti (158 heyelan) %30'unu ise doğrulama veriseti (67 heyelan) şeklinde ayırmışlardır. Araştırmacılar, heyelan duyarlılığına etki ettiğini düşündükleri 12 parametreyi girdi parametresi olarak kullanmış olup bunlar; eğim, bakı, yükseklik, plan eğriselliği, profil eğriselliği, akarsulara uzaklık, faylara uzaklık, yollara uzaklık, arazi kullanımı, NDVI ve litolojidir. Model performans değerlendirmesini ROC eğrisi yöntemiyle yapan araştırmacılar en iyi sonucun 0,875 AUC değerine sahip SVM'nin verdiğini ve ANFIS-FR ile GAM modellerinin de sırasıyla 0,851 ve 0,846 AUC değerleriyle oldukça iyi tahmin yeteneklerine sahip olduğunu vurgulamışlardır.

Chen vd. (2018), Çin'in Jiangxi eyaletine bağlı Chongren County bölgesinde, BN, RBF, LMT ve RF olmak üzere dört gelişmiş makine öğrenme yöntemini kullanarak heyelan duyarlılığı analizi yapmayı amaçlamışlardır. Tarihsel kayıtlar, hava fotoğrafları ve kapsamlı saha çalışmaları sonucunda bölgede 222 adet heyelan haritalanmış ve heyelan envanteri oluşturulmuştur. Araştırmacılar eğitim ve doğrulama seti olmak üzere heyelanları 70/30 oranında rastgele iki gruba ayırmışlardır. Yapılan çalışmada girdi parametresi olarak 15 adet parametre belirlenmiş olup bunlar; yükseklik, akarsulara uzaklık, yollara uzaklık, STI, TWI, litoloji, NDVI, faylara uzaklık, SPI, eğim, yağış, bakı, arazi kullanımı, profil eğriliği ve plan eğriliği şeklindedir. Araştırmacılar kullanılan modellerin performans analizi için ROC eğrilerini kullanmış ve en iyi performansın 0,824 AUC değeriyle LMT yönteminin verdiğini belirtmişlerdir.

Ercanoğlu (2019), Balıkesir ili için yaptığı çalışmada heyelan haritalama çalışmalarının en önemli aşamasının heyelan envanter haritalarının ve ilgili veritabanlarının oluşturulması olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca bu çalışmada Afet Risk Azaltma Sistemi'ni (ARAS) kullanan araştırmacı bu arayüzün önemli oranda zaman ve ekonomik kazanç sağladığını belirtmiştir. Araştırmacı heyelan duyarlılık haritasını üretmek amacıyla eğim, arazi örtüsü, akarsulara uzaklık, bakı, litoloji, TWI, faylara uzaklık ve yükseklik parametrelerini kullanmıştır. Ayrıca araştırmacı bu çalışmasında Balıkesir ili için heyelan duyarlılık haritasını lojistik regresyon yöntemini kullanarak oluşturmuştur. Heyelan tehlikesi için farklı senaryolar ve farklı tetikleyici faktörleri dikkate alarak Balıkesir ili için bir değerlendirme yapmıştır. Sonuç olarak muhtelif kesimlerde heyelan duyarlılığı ve tehlikesinin farklı zamansal periyotlar ve tetikleyici faktörler göz önünde bulundurulduğunda yüksek oranda mevcut olabileceği özellikle bu kesimlerde ayrıntılı analizlerin yapılmasının gerekliliği ortaya koyulmuştur.

Tez çalışması kapsamında heyelan tehlikesi ve heyelan riskini konu alan 2018-2021 yılları arasında yapılmış bilimsel çalışmalardan 25 tanesi incelenmiş ve kronolojik olarak aşağıdaki paragraflarda açıklanmıştır.

Liu ve Miao (2018), yaptıkları çalışmada Çin'in heyelan hasar görülebilirlik ve risk analizini büyük ölçekli bir çalışmayla ortaya koymuşlardır. CBS tabanlı yapılan bu çalışmada CF (Kesinlik Faktörü) ve LR (Lojistik Regresyon) modelleri heyelan duyarlılığını değerlendirmek için birlikte kullanılmıştır. Araştırmacılar heyelan duyarlılığını ortaya

koyabilmek amacıyla eğim, litoloji, jeolojik yaş, faylara uzaklık, yıllık ortalama yağış, aylık yağış değişim katsayısı, yıllık ortalama rüzgâr gibi parametreler kullanmıştır. Bu çalışmada Çin'in ulusal ölçeğinde heyelan veritabanı elde edilmiş heyelan tehlikesi ve hasar görebilirlik durumuyla birlikte heyelan risk haritasını oluşturmak hedeflenmiştir. Araştırmacılar tarafından hasar görebilirlik haritasını üretebilmek için, nüfus yoğunluğu, GDP (gayri safi yurtiçi hasıla) ve arazi kullanımı şeklinde 3 parametre kullanılmıştır. Çalışmada heyelan tehlike haritası üretilerek 0-1 değerleri arasında eşit dağılımlı 5 sınıf oluşturulmuştur. Heyelan tehlike haritası ve hasar görebilirlik haritası kullanılarak büyük ölçekli bir heyelan risk haritası oluşturulmuştur. Araştırmacılar sonuç haritasında 5 sınıf kullanmış ve sınır değerlerini şu şekilde oluşturmuşlardır; risksiz (0-0,04), düşük riskli (0,04-0,16), orta risk (0,16-0,36), yüksek risk (0,36-0,64) ve çok yüksek risk (0,64-1). Araştırmacılar heyelanların çok yüksek riskli olduğu alanların Çin'in güneybatısında, çok düşük riskli alanların ise batı ve kuzeybatı kesimlerinde dağılım gösterdiğini belirtmişlerdir. Yöntem doğrulaması amacıyla ROC eğrisi kullanan araştırmacılar AUC değerini 0,92 olarak hesaplamıştır. Bu sonuçla birlikte modelin makro ölçekte uygulanabilirliğinin yüksek olduğu belirtilmiştir.

Talaei ve Samadov (2018), İran'ın kuzeybatı kesiminde yer alan Hashtchin bölgesi için nicel bir yöntem kullanıp heyelan risk analizini ortaya koyma amaçlı bu çalışmayı yürütmüşlerdir. Çalışmaya öncelikli olarak envanter haritasını üreterek başlayan araştırmacılar hava fotoğrafları, tarihi belgeler ve saha çalışmalarından yararlanarak yaklaşık 50 yıllık geçmiş olan bir envanter çalışması yapmışlardır. Heyelan duyarlılık ve sonrasında tehlike haritasını üretmek için Lojistik Regresyon yöntemini kullanan araştırmacılar litoloji, eğim, yükseklik, eğrimsellik, arazi kullanımı, faylara uzaklık, akarsulara uzaklık, gradyan, yollara uzaklık, yerleşim alanlarına uzaklık, ivme, yıllık ortalama yağış gibi parametreleri kullanmışlardır. Hasar görebilirlik durumunu ortaya koyabilmek için yolların durumu, binaların durumu, arazi kullanımı, ormanlık alanlar gibi faktörler dikkate alınarak euro/m² cinsinden olası kayıplar hesaplanmıştır. Çalışmanın sonunda bu haritalar kullanılarak üretilen heyelan risk haritaları; yolların, yapıların ve arazi örtüleri koşulları euro/piksel/50 yıl olarak haritalanmış ve buna göre toplam heyelan risk haritasında maksimum risk değeri 400464 euro/piksel olarak hesaplanmıştır. Son aşamada yöntemi doğrulamak amacıyla ROC eğrisini kullanan araştırmacılar %84,1 doğruluk değeri bulmuşlardır. Dolayısıyla bu yöntemin heyelan risk değerlendirme çalışmalarında kullanılabileceğine vurgu yapılmıştır.

Skilodimou vd. (2019), Batı Yunanistan'da bulunan Peneus Nehri ve civarı için yaptıkları çalışmada CBS tabanlı Analitik Hiyerarşi Yöntemini (AHP) kullanarak heyelan, sel ve depremlerden kaynaklı tehlikeler hakkında değerlendirme yapmış ve sonucunda bu olayları tek bir tehlike haritasında göstermeyi amaçlamışlardır. Öncelikli olarak araştırmacılar heyelan duyarlılık haritalarını üretebilmek amacıyla 7 adet girdi parametresi kullanmış olup bunlar; litoloji, faylara uzaklık, akarsulara uzaklık, yollara uzaklık, eğim, yağış, arazi kullanımıdır. Sonrasında ise sel duyarlılık haritalarını üretebilmek için benzer şekilde eğim, yükseklik, akarsulara uzaklık, geçirimsizlik ve arazi kullanımı parametrelerini kullanmışlardır. Yine deprem duyarlılık haritalarını üretebilmek için de aktif faylar, ivme, litoloji gibi parametreleri kullanmışlardır. Bu haritalar kullanılarak çalışma alanına ait uygunluk derecesine göre 3 farklı (S_{min} , S , S_{max}) çoklu tehlike haritası üretilmiştir. Temel uygunluk haritası incelendiğinde heyelan olaylarının %22'sinin yüksek uygunluk alanları içerisinde %47'sinin orta uygunluk alanları içerisinde %25'inin düşük uygunluk alanları içerisinde %6'sının da çok düşük uygunluk alanların içerisinde geliştiği ve çok yüksek uygunluk alanlarını temsil eden bölgelerde heyelan olaylarının gelişmediği belirtilmiştir. Sel olayları için ise %30'unun orta uygunluk alanları içerisinde %20'sinin düşük uygunluk alanları içerisinde ve %50'sinin çok düşük uygunluk alanları içerisinde geliştiği belirtilmiştir. Ayrıca araştırmacılar üretilen çoklu tehlike haritalarına göre kentsel gelişim için en uygun alanların çalışma alanının doğu kesimlerinde yer almakta olduğunu belirtmişlerdir. Son olarak bu kesimlerin doğal tehlikelere maruz kalma düzeylerinin düşük ve çok düşük olduğunu vurgulamışlardır.

Zou vd. (2019), Çin'deki Longxi nehir ve çevresinin heyelan risk değerlendirmesini Hidrolojik İşlem Birimleri (HRU) tabanlı bir yaklaşımla ortaya koymuşlardır. Son yıllarda bölgede gelişmiş 50 adet heyelan haritalanmış ve bu heyelanların nehir yatağını tıkayarak sellere de sebep olduğu belirtilmiştir. Bu yaklaşımda heyelan duyarlılığına etki parametresi olarak eğim, bağıl yükseklik farkı, litoloji, gradyan, faylar, yağış parametreleri belirlenmiştir. Çalışmada hasar görülebilirlik durumunu belirleyebilmek için binaların özellikleri, yolların durumu ve arazi kullanımı gibi faktörler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bölge için üretilen heyelan risk haritasında 5 farklı sınıf belirlenmiş olup bunlar alan yüzdeleriyle birlikte; çok yüksek riskli (%36,44), yüksek riskli (%14,06), orta riskli (%20,18), düşük riskli (%14,75) ve çok düşük riskli (%10,40) şeklindedir. Önerilen HRU tabanlı bu yöntemin tehlike, hasar görülebilirlik gibi haritaları birleştirip bölgesel afet riskini ortaya koymak için uygun bir model olduğu belirtilmiştir.

Xiong vd. (2019), Çin'in Sichuan eyaletinin Guangyuan şehrinden geçen petrol boru hattının geçtiği kritik alan boyunca heyelan tehlikesinin değerlendirmesini Levenburg-Marquardt algoritması yöntemiyle yapmışlardır. Araştırmacılar öncelikli olarak tarihi heyelan verilerini edinmiş ve gerekli saha çalışmalarıyla birlikte 315 adet heyelan haritalamışlardır. Çalışma alanında heyelan duyarlılığını etkileyen 11 adet parametre belirlenmiş olup bunlar; yer şekilleri, arazi örtüsü, jeoloji ve yağış ana başlıkları altında değerlendirilmiştir. Araştırmacılar heyelan tehlike değerlendirmesi için saatlik, günlük ve yıllık yağış verilerini analiz ederek heyelanları tetikleyen yağış koşullarını belirlemiştir. Çalışma alanının heyelan tehlike haritasında 4 adet sınıf belirlenmiş olup bu sınıfların alan yüzdeleri de şu şekildedir; düşük tehlike (%10,48), orta derecede tehlike (%19,68), yüksek tehlike (%35,56) ve çok yüksek tehlike (%34,29). Araştırmacılar tarafından üretilen haritalar sonucunda boru hattının güney ve kuzey kesimlerinin ciddi derecede tehlikeli olduğu ortaya konmuştur. Çalışma alanının yaklaşık %70'inin yüksek ve çok yüksek heyelan tehlike bölgesine karşılık geldiğini belirlemiştir. Çalışma sonucunda boru hattının heyelanların etkisiyle ciddi hasara uğrayabileceği belirtilerek boru hattının güvenliği ve yönetimi için daha fazla çalışmanın yapılmasını önermişlerdir.

Banshtu vd. (2020), Hindistan'ın Himachal Pradesh eyaletine bağlı Kullu şehrini heyelan risk değerlendirmesini nicel bir yaklaşımla ele almışlardır. Bölgedeki artan nüfus ve madencilik faaliyetlerinin artmasına bağlı olarak heyelan olaylarının sayısının arttığı belirtilmiştir. Araştırmacılar tarafından yapılan saha çalışmaları ve Google Earth programından yararlanılarak 142 adet heyelan belirlenmiştir. Bu çalışmada heyelan duyarlılığını ortaya koymak amacıyla belirlenen parametreler şunlardır; topografik yükseklik, eğim, bakı, jeoloji, toprak türü, arazi kullanımı, drenaj yoğunluğu. Ayrıca bu çalışmada Frekans Oranı ve Bulanık Mantık yöntemleri kullanılmıştır. Çalışmada hasar görülebilirlik durumunu değerlendirirken arazi kullanımı faktörü göz önünde bulundurulmuş ve tehlike haritasıyla birlikte kullanılarak bölgeye ait heyelan risk haritası oluşturulmuştur. Araştırmacılar, son aşamada heyelan risk haritasında risk durumuna göre 3 sınıf ayırtlamış olup bunlar; düşük riskli bölge (%97,21), orta riskli (%1,57) ve yüksek riskli (%1,2) şeklindedir.

Bıçer ve Ercanoğlu (2020), Türkiye'nin Doğu Akdeniz bölgesinde bulunan Kahramanmaraş ilinin heyelan riskini değerlendirmeyi amaçladıkları çalışmada yarı nicel bir yaklaşımı ele almışlardır. Öncelikli olarak yapılan saha çalışmalarıyla çalışma alanında 215 adet heyelan

haritalayan araştırmacılar heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için Lojistik Regresyon (LR) ve Frekans Oranı (FR) yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışma alanında heyelan duyarlılığına etki eden eğim, litoloji, bakı, topografik yükseklik, akarsulara uzaklık, arazi kullanımı, eğrisellik, faylara uzaklık ve NDVI parametreleri kullanılmıştır. Sonraki aşamada heyelan tehlike değerlendirmesi için duyarlılık haritasıyla birlikte tetikleyici parametreler olarak belirlenen yer ivmesi ve yağış parametreleri birlikte kullanılmıştır. Araştırmacılar hasar görebilirlik analizi için de arazi kullanımı, altyapı ve nüfus yoğunluğu verilerini kullanmışlardır. Son aşamada ise üretilen duyarlılık, tehlike ve hasar görebilirlik haritalarını kullanarak heyelan risk indeksi hesaplanmış ve çalışma alanının heyelan risk haritası oluşturulmuştur. Araştırmacılar tarafından üretilen heyelan risk haritasında 5 farklı sınıf kullanılmış olup bunlar çalışma alanında kapladıkları alanlarla birlikte; çok düşük (%21,4), düşük (%10,8), orta (%37,4), yüksek (%24,8) ve çok yüksek (%5,6) şeklinde sınıflanmıştır. Ayrıca araştırmacılar bu tür heyelan risk değerlendirme çalışmalarının bölge planlaması için faydalı olabileceğine vurgu yapmışlardır.

Dikshit vd. (2020), Phuentsholing (Bhutan) bölgesi için yaptıkları çalışmada 2004'ten 2014'e kadar gerçekleşen heyelan olaylarının kayıtlarını kullanarak heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalarını üretmeyi amaçlamışlardır. Çalışma alanının bir parçasını oluşturan Phuentsholing-Thimphu otoyolunun ülkenin ithalat ve ihracat mallarının geçiş güzergahında bulunduğu için kritik öneme sahip olduğunu ve bu otoyol üzerinde belirli zaman aralığında gerçekleşen heyelan olaylarının ülke ekonomisini olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Çalışmada heyelan duyarlılık haritasını üretebilmek amacıyla jeolojik formasyon, eğim, yükseklik, bitki örtüsü arazi kullanımı, akarsu ve yolların durumu gibi parametreler kullanılmıştır. Çalışma alanının büyük çoğunluğunda eğimin 45°'nin altında ve nispeten düz bir plato olduğu belirtilmiştir. Ancak buna rağmen araştırmacılar tarafından bölgede özellikle yoğun muson yağmurları gözleendiği için heyelanları ciddi derecede tetiklediği tespit edilmiştir. Heyelan bölgesi için öncelikli olarak mekânsal ve zamansal olasılıkları belirleyerek tehlike haritası oluşturulmuştur. Yapılan çalışmada mekânsal olasılık heyelanları etkileyen parametrelerin ağırlıklandırılması yöntemiyle hesaplanırken zamansal olasılık ise eşik değerler dikkate alınarak Poisson olasılık modeliyle belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada tehlike bir olasılık olarak tanımlanmış, risk ise potansiyel can kaybı ile tehlikenin çarpımı olarak değerlendirilmiştir. Son olarak risk altındaki unsurlarla ilgili bir saha çalışması yapıldıktan sonra heyelan duyarlılık ve tehlike haritalarının birleştirilmesiyle risk haritası geliştirilmiş ve beş farklı sınıfta

değerlendirilmiştir. Buna göre çalışma alanının %11,7'lik kısmının çok yüksek ve yüksek risk kategorisine girdiği, %15,85'lik kısmının orta seviye riskli alanları temsil ettiği vurgulanmıştır. Ayrıca araştırmacılar yağış verilerindeki eksiklikler ve heyelan olayı kayıtlarının yetersizliği gibi durumların bu tür çalışmaları olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir. Ancak yaptıkları bu çalışmanın bölge için iyi bir ön adım çalışması olabileceğini de vurgulamışlardır.

Fu vd. (2020), Çin'in Hubei eyaletinin Wufeng ilçesini kapsayan çalışmada dağlık arazilerde gerçekleşen heyelanlardan etkilenen insanları dikkate alarak bir heyelan tehlike ve risk değerlendirme çalışması yapmışlardır. 1/10.000 ölçeğinde çalışan araştırmacılar yarı nicel bir yöntem kullanarak daha detaylı bir çalışmayı hedeflemiş ve heyelanların mekânsal, zamansal ve boyutsal olasılıklarını da hesaba katarak dört farklı tekraralama aralığı için (5, 10, 20 ve 50 yıl) heyelan tehlike, hasar görülebilirlik ve risk haritalarını üretmişlerdir. Araştırmacılar heyelan duyarlılık haritasını üretmek amacıyla eğim, yükseklik, bakı, yamaç eğriselliği, litoloji, faylara uzaklık, akarsulara uzaklık, yollara uzaklık gibi parametreleri kullanmışlardır. Araştırmacılar heyelan duyarlılık haritasını üretirken WoE (Weight of Evidence) yöntemini kullanmışlar ve bu yöntemle göre bölgede duyarlılığı etkileyen en önemli parametrenin litoloji olduğunu ortaya koymuşlardır. Heyelan tehlike haritalarını üretmek için 1981 yılından 2013'e kadar 33 yıllık veriler kullanılmıştır. Araştırmacılar son olarak dört farklı tekraralama aralığı (5, 10, 20, 50) ve 50.000 m³ veya daha büyük boyutlardaki heyelanların gerçekleşme olasılığı senaryolarını ve hasar görülebilirlik haritalarını kullanarak çalışma alanının risk haritalarını üretmişlerdir. 50 yıllık tekraralama aralığı senaryosu için üretilen risk haritasına göre bölgede yaşayan 1530 kişinin bu heyelanlardan etkileneceği ve toplamda 18 milyon dolar gibi bir zarar oluşabileceği hesaplanmıştır. Dolayısıyla araştırmacılar üretilen 5 farklı risk haritası ile risk planlamalarının kısa vadeli (5 yıl), orta vadeli (10-20 yıl) ve uzun vadeli (50 yıl) şeklinde geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Huang vd. (2020), Çin'in Shifang şehrinde Random Forest algoritma modeliyle CBS tabanlı bir jeolojik afet risk değerlendirmesi çalışması yapmışlardır. Çalışma alanının genellikle dağlık ve tepeliklerden oluştuğunu ve muson ikliminin hakim olması sebebiyle yüksek miktarda yağış aldığını belirtmişlerdir. Bu sebeple bölgede gelişmiş çok sayıda heyelan, toprak kayması, çökme vb. gibi birçok jeolojik afet gözlemlendiği belirtilmiştir. Araştırmacılar tarafından heyelan duyarlılığı ve sonrasında da tehlikeyi ortaya koyabilmek amacıyla 8 adet

parametre belirlenmiş olup bunlar; eğim, yükseklik, yağış, sismik yoğunluk, litoloji, akarsulara uzaklık ve NDVI'dir. Çalışmada bölgenin hasar görülebilirlik durumunu analiz edebilmek amacıyla da GDP, nüfus yoğunluğu, bina yoğunluğu, yolların yoğunluğu gibi parametreler kullanılmıştır. RF modelinin yanında SVM yöntemi ile de bölgenin afet risk haritası oluşturulmuştur. Çalışmada her iki yöntemle üretilen haritada da 4 farklı sınıf belirlenmiştir. RF yöntemiyle üretilen afet risk haritasında sınıfların alansal dağılımı araştırmacılar tarafından şu şekilde hesaplanmıştır; düşük riskli (%44,6), orta riskli (%27,97), yüksek riskli (%16,52) ve çok yüksek riskli (%10,91). SVM yöntemiyle üretilen afet risk haritasında ise dağılım şu şekilde çıkmıştır; düşük riskli (%44,31), orta riskli (%29,47), yüksek riskli (%14,43) ve çok yüksek riskli (%11,79). Çalışma sonucunda kullanılan iki yöntemin performans analizi ROC eğrisi ile belirlendiği, buna göre her iki yöntem için de eğri altında kalan alanın 0,9'dan büyük olduğu ancak RF modelinin AUC değerinin %2,2 daha büyük hesaplandığı vurgulanmıştır. Dolayısıyla iki yöntem kıyaslandığında RF yönteminin SVM'ye oranla daha sağlıklı sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Lin vd. (2020), Çin'in Hunan Eyaletine bağlı Wuling bölgesindeki yağış tetikli heyelanların tehlike değerlendirmesini yaptıkları bu çalışmada Stabilité İndeksi Haritalama (SINMAP) yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntemin bazı kısıtlamaları olduğu düşünüldüğünden kesinlik faktörü (CF) modeliyle SINMAP bir kombinasyona dayalı olarak iyileştirilmiş ve yeni bir yöntem olarak adlandırılmıştır (CF-SINMAP). Çalışmada heyelanları etkileyen 8 adet jeolojik ve çevresel parametre belirlenmiş olup bunlar; eğim, faylara uzaklık, eğim yönü, akarsulara uzaklık, kaya ve zemin türü, yükseklik, yollara uzaklık ve bitki örtüsüdür. Mevcut şartlarda bu çalışma alanı için kaya ve zemin türü, bitki örtüsü ve mühendislik yapıları heyelan tehlikelerinin altındaki temel faktörler olarak vurgulanmıştır. Bölgedeki ortalama yıllık yağış 1394,3 mm ve maksimum yıllık yağış da 2029,1 mm olarak belirtilmiştir. Bölgenin dağlık olduğu ve mevcut yağışların da heyelan oluşumu için uygun çevresel koşulları sağladığı belirtilmiştir. Çalışma alanında saha gözlemlerine dayalı 71 adet heyelan tespit edilmiş ve heyelanların çoğunun vadi yamaçlarında ve insan faaliyetlerinin yoğun olduğu alanlarda geliştiği vurgulanmıştır. Araştırmacılar 1987'den 2016'ya kadar olan yağış verileri ışığında çalışma alanındaki aşırı yağışların geri dönüş periyodunu tahmin etmek ve aşırı yağışların yoğunluğunu 10, 50 ve 100 yıllık aralıklarla hesaplamak için Gumbel fonksiyonu kullanmıştır. Çalışma sonucunda üretilen heyelan risk haritalarında risksiz, düşük riskli, orta derecede riskli ve yüksek riskli olmak üzere 4 sınıf kullanılmıştır. Araştırmacılar aşırı yağış arttıkça risk dağılımının farklılıklar göstermesi nedeniyle CF-

SINMAP modelinin yağışa karşı oldukça duyarlı olduğunu belirtmişlerdir. Değerlendirme sonuçlarına göre heyelanların ağırlıklı olarak orta kesimlerde ve vadi yamaçlarında olduğu belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada karşılaştırma yapabilmek amacıyla geleneksel SINMAP modeliyle de haritalar üretilmiştir. Bu karşılaştırma sonucuna göre aynı yağış koşullarında CF-SINMAP modelinin daha doğru sonuçlar verdiği ve daha tutarlı olduğu vurgulanmıştır. Çalışma sonucunda iki modelin de performansını değerlendirmek amacıyla ROC eğrileri çizilmiş ve CF-SINMAP'ın AUC değeri 0.75, geleneksel SINMAP modelinin ise AUC değeri 0,61 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre mevcut arazi koşullarıyla CF-SINMAP modelinin değerlendirme sonuçlarının geleneksel SINMAP yöntemine göre daha sağlıklı sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Mishra ve Sarkar (2020), Hindistan'ın Uttarakhand eyaletine bağlı Mussoorie bölgesinin heyelan risk değerlendirmesini hibrit bir yöntemle çalışmışlardır. İstatistiksel tahmin, makine öğrenme teknikleri ve CBS tabanlı yöntemler kullanılarak bu çalışma yürütülmüştür. Araştırmacılar tarafından bölgede yapılan saha çalışmaları ve önceki çalışmalardan yararlanılarak 130 adet heyelan tespit edilmiştir. Çalışmada ilk aşamada heyelan duyarlılık haritası üretmek amacıyla 11 adet parametre belirlenmiş (yükseklik, eğim, bakı, litoloji, yamaç eğriselliği, SPI, akarsulara uzaklık, TWI, NDVI, yollara uzaklık, faylara uzaklık) ve bu parametreler kullanılarak AHP yöntemiyle bir duyarlılık haritası üretilmiştir. Araştırmacılar çalışma alanının risk haritasını üretebilmek için tehlike, maruz kalma ve hasar görülebilirlik durumunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca heyelan risk haritasını üretebilmek için ANFIS yöntemi uygulanmıştır. Çalışmanın son aşamasında üretilen risk haritasında 5 sınıf belirlenmiş ve toplam alanın yaklaşık %30'luk bir kısmını yüksek-çok yüksek riskli sınıfların kapladığı ortaya konmuştur. Ayrıca çalışma alanında kuzeybatıdan güneydoğuya doğru uzanan yüksek riskli bir bölgenin olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma sonucunda heyelan risk haritalaması için uygulanan modelin başarılı bir sonuç verdiği ve Himalaya bölgesinde yer alan diğer alanlara da uygulanabileceğine vurgu yapılmıştır.

Paudel vd. (2020), Nepal'in başkenti Katmandu'nun yaklaşık 30 km güneyindeki Kulehani havzasında CBS tabanlı bir heyelan tehlike değerlendirme çalışması yapmışlardır. Araştırmacılar bölgenin sert bir topografyaya sahip olduğunu bu yüzden de kısa süre aralıklarında yağış almasına rağmen heyelan olaylarına sebep olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu çalışmada heyelan duyarlılığı haritalarını üretebilmek için topoğrafik parametreler, jeoteknik parametreler ve litoloji ana başlıkları altında belirledikleri girdi

parametrelerini kullanmışlardır. Çalışma alanında bulunan 4 yağış istasyonundan 1980'den 2013 yılına kadar günlük olarak yağış verileri elde edilmiştir. En yüksek yağış verileri Chipasani istasyonundan elde edildiğinden bu istasyona ait veriler bu çalışmanın olasılık analizlerinde kullanılmıştır. Bu çalışmada analizler; 25, 50, 100 ve 200 yıllık tekrarlama periyotları ve günlük-yedi günlük yağış miktarları göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Araştırmacılar tarafından çalışma alanı için üretilen heyelan duyarlılık haritasında yüksek, orta ve düşük duyarlı olmak üzere üç sınıf kullanılmıştır. Sonraki aşamada üretilen heyelan tehlike haritalarında ise üç sınıf belirtilmiş olup bunlar; güvenlik sayısı <1, güvenlik sayısı 1-2 arası ve güvenlik sayısı >1 şeklindedir. Sonuç haritalarına göre araştırmacılar; 25 yıllık dönüş periyodu ve bir günlük yağış süresi için 13 hektarlık bir alanın tehlikeli alana karşılık geldiğini, 200 yıllık dönüş periyodu içinse bu alanın 36 hektar olduğunu belirtmişlerdir. Yedi günlük yağış için üretilen haritalarda ise; 25 yıllık dönüş periyodu için 77 hektarlık bir alanın, 200 yıllık dönüş periyodu için de 418 hektarlık bir alanın olası tehlikeli alana karşılık geldiği vurgulanmıştır. Araştırmacılar bu çalışmanın bölge için heyelan risk çalışmalarının bir parçası olarak değerlendirilebileceğini belirtmişlerdir.

Perera vd. (2020), yaptıkları çalışmada heyelan duyarlılık ve hasar görebilirliği kullanarak standart bir heyelan risk haritası üretmeye çalışmışlardır. Çalışma alanının arazi koşulları da göz önünde bulundurulmuş ve heyelan duyarlılığına etki eden 9 (eğim, bakı, zemin türü, litoloji, arazi kullanımı, yağış, akarsulara uzaklık, yollara uzaklık), hasar görebilirliğe etki eden 14 parametre belirlenmiştir. Araştırmacılar tarafından CBS tabanlı çok kriterli değerlendirme metodu ve entropi metodu kullanılarak duyarlılık ve hasar görebilirlik haritaları üretilmiştir. Elde edilen heyelan risk haritasında 6 sınıf oluşturulmuştur. Araştırmacılar çalışma alanının yaklaşık %15'lik kesiminin çok yüksek riskli bölgeye karşılık geldiğini yaklaşık %21'lik kesiminin de yüksek riskli bölgeye karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Orta derecede riskli, düşük riskli, en düşük ve risksiz kesim de birlikte olmak üzere kapladıkları alan oranlarının da %27, %22 ve %15 şeklinde olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak yapılan bu çalışmanın verilerinin yerel yetkililer tarafından kullanılabilmesi ve güncellenmesinin kolay olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ulusal afet risk azaltma stratejilerinin de geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Pourghasemi vd. (2020), İran'ın Fars eyaletinde yaklaşık 133.400 km²'lik bir alanın heyelan, sel ve orman yangınlarını dikkate alan çoklu afet duyarlılığı durumunu Makine Öğrenme Yöntemleriyle değerlendirmişlerdir. Bölgede yapılmış önceki çalışmalardan ve saha

çalışmalarından yararlanarak 365 adet sel, 358 adet orman yangını ve 179 adet de heyelan haritalanmışlardır. Üç afet türü için de duyarlılık haritaları RF Algoritmasıyla üretilmiş ve heyelanlar için 10, orman yangınları için 10, sel olayları için de 12 etki parametresi belirlemişlerdir. Elde edilen heyelan duyarlılık haritasına göre çalışma alanının %49,76'lık kısmının düşük duyarlılığa, %34,08'lik kısmının orta duyarlılığa, %13,22'lik kısmının yüksek duyarlılığa ve %2,95'lik kısmının da çok yüksek duyarlılığa sahip olduğunu belirtmişlerdir. Sel duyarlılık haritası incelendiğinde ise çalışma alanının %39,03'lük kısmının düşük, %31,20'lik kısmının orta, %18,04'lük kısmının yüksek ve %11,73'lük kısmının ise çok yüksek duyarlılığa sahip olduğunu vurgulamışlardır. Orman yangınlarını temsil eden duyarlılık haritasında ise alanın %74,57'sinin düşük, %8,57'sinin orta, %7,80'inin yüksek ve %9,07'sinin çok yüksek duyarlılığa sahip olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmanın sonucunda üretilen çoklu afet duyarlılık haritasına göre toplam alanın %2,67'lik kısmında tüm afet olaylarının gözlenebileceğini ortaya koymuşlardır.

Psomiadis vd. (2020), Yunanistan Sperchios nehri havzasında yaklaşık 1830 km²'lik bir alanın heyelan duyarlılık ve risk değerlendirmesini Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı olarak değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar heyelan envanter haritasını üretebilmek amacıyla önceki çalışmalardan veriler elde etmiş, yüksek çözünürlüklü Google Earth programından yararlanmış ve bölgede saha çalışmaları yapmıştır. Çalışmada toplam 59 adet heyelan tespit edilmiş ve bunların %70'i eğitim verisi %30'u da doğrulama verisi olarak rastgele örneklenmiştir. Araştırmacılar tarafından heyelan duyarlılık haritasını üretebilmek için 11 adet parametre belirlenmiş olup bunlar; litoloji, faylara yakınlık, eğim, eğim yönü, eğrisellik, rölyef, drenaj ağı, zemin kalınlığı, arazi kullanımı ve yağış miktarıdır. Heyelan duyarlılık haritasını üretmek amacıyla bu parametrelerin etki durumunu araştırmacılar AHP yöntemiyle belirlemişlerdir. Hasar görülebilirlik durumunu ortaya koymak amacıyla nüfus yoğunluğu, arazi kullanımı ve yolların yoğunluğu gibi üç faktör belirlemişlerdir. Çalışma alanının risk haritasında 5 farklı sınıf oluşturulmuştur. Bu sonuç haritasına göre çalışma alanının %44,7'sinin yüksek ve çok yüksek riskli alanlar, %43,2'sinin ise çok düşük ve düşük riskli alanlara karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışmadaki sonuçlar CBS tabanlı analizlerin ve Google Earth programının doğal tehlikelerin önlenmesinde tasarım amaçlı iyi birer araç olabileceğine vurgu yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmanın özellikle gelecekte yerleşime uygunluk planlaması için karar vericiler için faydalı olabileceğini belirtmişlerdir.

Rong vd. (2020), Çin'in Shuicheng ketindeki yağış tetikli heyelanların tehlike haritalamasını yaptıkları çalışmada GeoDetector ve Bayes ağı (BN) model çerçevelerini kullanmışlardır. Çalışmada GeoDetector modeliyle her bir parametrenin heyelan oluşumuna etkisi ortaya koyulmuştur. Devrilme, kayma ve akma gibi üç farklı heyelan türünü inceleyen araştırmacılar 16 adet parametre kullanmışlardır. Bu çalışmada kullanılan SCAI (Seed Cell Area Index) yöntemiyle risk haritası değerlendirilmiş ve 5 risk sınıfına ayrılmış olan haritanın toplam alanının yaklaşık %77'sini orta, yüksek ve çok yüksek riskli alanlar temsil etmiştir. Ayrıca 50 mm ve üzeri günlük yağışlar çalışma alanı için tehlikeye neden olan en olası eşik olarak ortaya konmuştur. Araştırmacılar yöntemlerin performans analizi için ROC eğrisini kullanmış ve BN için 0,785 LR için ise 0,717 hesaplamışlardır. Özetle araştırmacılar GeoDetector-Bayes Ağı kombinasyonunun bu tür heyelan tehlike değerlendirmesi çalışmaları için umut verici olduğunu belirtmişlerdir.

Zhang vd. (2020), Çin'in Jiangxi eyaletine bağlı Guixi şehrinde yaklaşık 2293 km²'lik bir alanı kapsayan bölgenin heyelan risk değerlendirme çalışmasını RF Algoritmasını kullanarak yapmışlardır. Çalışmanın ilk adımı olarak 273 adet heyelan haritalamışlardır. Ayrıca heyelan duyarlılık değerlendirmesine etki eden 21 parametre (yükseklik, eğim, bakı, eğrisellik, toprak türü, arazi kullanımı, yıllık ortalama yağış, litoloji vb. gibi) bu çalışmada kullanılmıştır. Araştırmacılar tarafından üretilen heyelan risk haritasında her bir pikseli temsilen 0-1 aralığında sınıflama yapılmış ve 5 adet sınıf oluşturulmuştur. Ayırtlanan sınıf bölgelerine heyelan sayısı oranını da risksiz-çok yüksek riskli aralığında sırasıyla; %0,73, %1,10, %2,93, %2,57 ve %92,67 şeklinde hesaplamışlardır. Ayrıca bu çalışmada belirlenen 21 parametrenin heyelanlar üzerindeki etki oranı hesaplanmış olup buna göre yollara uzaklık, eğim, Mayıs-Temmuz yağışı, yıllık ortalama yağış ve yükseklik parametrelerinin toplam yaklaşık %65,45 oranına karşılık geldiği belirtilmiştir.

Chang vd. (2021), Çin-Pakistan ekonomik koridoru olarak adlandırılan bölgede nicel bir yöntem kullanarak bir heyelan risk çalışması yapmışlardır. Çalışma alanında ticaret yolları, demiryolları ve diğer ulaşım altyapılarının heyelanlar tarafından ciddi derecede tehdit edildiği belirtilmiştir. Çalışma 4 aşamada gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmanın ilk aşamasında araştırmacılar uzaktan algılama yöntemleri ve saha çalışmaları sonucunda 4518 adet heyelan belirlemiştir. Ayrıca bu çalışmada heyelan alan yoğunluğuna (LAD) ve heyelan nokta yoğunluğuna (LPD) göre topografik, jeolojik ve jeomorfolojik parametreler ışığında heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Araştırmacılar tarafından heyelan duyarlılık haritası

için eğim, bakı, yükseklik, zemin türü, litoloji, PGA, akarsulara uzaklık, faylara uzaklık, yollara uzaklık ve NDVI olmak üzere 10 adet parametre kullanılmıştır. Araştırmacılar ikinci aşamada yağış, erozyon yoğunluğu gibi tetikleyici faktörleri değerlendirmiş ve heyelan tehlike analizi yapmıştır. Üçüncü aşamada trafik durumu, nüfus yoğunluğu ve yerleşim alanları gibi faktörler göz önüne alınarak hasar görülebilirlik ortaya konmuştur. Son aşamada ise heyelanların durumuna, tehlike dağılımına ve hasar görülebilirlik durumuna göre risk değerlendirilmesi yapılmış ve 5 farklı risk sınıflaması oluşturulmuştur. Çalışmanın sonucunda düşük, hafif, orta, yüksek ve çok yüksek olarak sınıflandırılan heyelan risk haritasında çalışma alanının %31,5'inin orta risk ve üzeri sınıfına düştüğü belirtilmiştir.

Huangfu vd. (2021), Çin'in Jiangxi eyaletindeki Guixi bölgesinin heyelan risk değerlendirmesini Lojistik Regresyon modelini temel alarak ortaya koymuşlardır. Bölgede nemli subtropikal iklimin hakim olduğu dört farklı mevsimde de yağış aldığı özellikle Mart-Temmuz aylarında ortalama yağışın arttığı belirtilmiştir. Yapılan saha çalışmalarında özellikle Haziran ve Temmuz aylarında bu tür heyelan olaylarının daha sık görüldüğü vurgulanmıştır. Araştırmacılar incelenen heyelanların çoğunun toprak kayması olarak gerçekleştiğini ve fazla derinliği olmayan sığ heyelanlar olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmacılar bölgede heyelan oluşumunu etkileyen 13 parametre belirlemiş olup bunlar; yükseklik, eğim, bakı, yollara yakınlık, akarsuya yakınlık, faylara yakınlık, litoloji, arazi örtüsü, NDVI, yıllık ortalama yağış, Mayıs-Temmuz, Mart-Haziran ve Mart-Temmuz arası ortalama biriken yağış parametreleridir. Araştırmacılar saha çalışmalarına dayalı olarak 273 adet heyelan tespit etmiş ve bu heyelanları 7/3 oranında eğitim seti ve doğrulama seti olarak rastgele ayırmışlardır. Bu çalışmada heyelan risk zonlanmasına etki eden jeolojik ve çevresel faktörlerin potansiyel rolünü belirlemek ve hangi faktörlerin diğerlerinden daha fazla etkiye sahip olduğunu anlayabilmek için iki farklı (CF tabanlı ve RP tabanlı) MLR (Çoklu Lojistik Regresyon) modeli kullanmışlardır. Araştırmacılar üretilen iki farklı risk haritasında da 5 adet sınıf belirlenmiş olup bunlar; risksiz (0-0,2), düşük risk (0,2-0,4), orta (0,4-0,6), yüksek (0,6-0,8) ve çok yüksek (0,8-1,0) şeklindedir. Üretilen bu haritalara göre heyelan tehlikesine duyarlı bölgelerin büyük ölçüde yolların kenarına denk geldiği ve yüksek riskli-çok yüksek riskli alanların da güneyde Wenfang, Jintun ve Zhangping kasabalarında dağılım gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca kullanılan iki yöntem de kıyaslandığında elde edilen sonuçlarla birlikte RP tabanlı regresyon yaklaşımının CF tabanlı olandan daha makul sonuçlar verdiği vurgulanmıştır.

Ram ve Gupta (2021), Hindistan'da Himalaya eteklerinde bulunan Mussoorie kentinde heyelan duyarlılık, tehlike, hasar görebilirlik ve risk değerlendirmesini (HVRA) amaçlayan bir çalışma yürütmüşlerdir. Farklı istatistiksel yaklaşımlar kullanarak (WOE, FR, YC ve IV) heyelan tehlike haritalamasını yapmışlardır. Araştırmacılar tarafından heyelan duyarlılığını ortaya koymak amacıyla kullanılan parametreler şunlardır; litoloji, eğim, bakı, yükseklik, plan yamaç eğriselliği, profil yamaç eğriselliği, çizgisel yapılar, yollara uzaklık ve akarsulara uzaklık. Kullanılan dört farklı yöntem için de duyarlılık haritaları üreten araştırmacılar WoE (kanıt ağırlığı) yöntemiyle üretilen duyarlılık haritasının en ılımlı sonucu verdiğini ortaya koymuşlar ve bu yöntemle göre çalışma alanının yaklaşık %71'inin düşük ve çok düşük duyarlılık sınıfında olduğunu belirtmişlerdir. En olumsuz durumu ortaya koyan yöntemin ise Information Value yöntemi olduğu ve bu yöntemle üretilen duyarlılık haritasına göre çalışma alanının yaklaşık %39'u yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfına karşılık geldiği belirtilmiştir. Araştırmacılar tarafından çalışma alanının hasar görebilirlik durumunu ortaya koymak amacıyla yapılaşma, yollar, tarım arazisi gibi risk altındaki her bir unsur hesaba katılmıştır. Üretilen hasar görebilirlik haritasında ise çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük derecede hassas bölgeler olmak üzere 5 sınıf ayırtlanmıştır. Son olarak çalışma alanı için üretilen risk haritasına göre toplam alanın %8'inin çok yüksek riskli, %13'ünün yüksek riskli, %34'ünün orta riskli, %11'inin düşük riskli ve %34'ünün çok düşük riskli alanlara karşılık geldiği ortaya konmuştur. Ayrıca bölgede yaklaşık 8.000 kişinin yaşadığı ve yaklaşık 1600 binanın yüksek ve çok yüksek heyelan riskine karşılık gelen bölgede bulunduğu belirtilmiştir.

Shano vd (2021), Güney Etiyopya'da bulunan Shafe ve Gamo havzalarında yaptıkları çalışmada heyelanların mekânsal ve zamansal dağılımını ortaya koyup heyelanları etkileyen faktörleri de değerlendirerek heyelan tehlike haritasını üretmeyi amaçlamışlardır. Araştırmacılar bölgede yaptıkları arazi çalışmaları ve Google Earth programından yararlanarak 1554 adet heyelan haritalamış ve bu heyelanların boyutlarını 89-170,459 m² aralığında hesaplamışlardır. Araştırmacılar bu çalışmada litoloji, yeraltısuyu durumu, faylara uzaklık, eğim, bakı, yamaç eğriliği, arazi örtüsü ve arazi kullanımı gibi parametreleri heyelanları etkileyen parametreler yağışı ise heyelanları tetikleyen parametre olarak değerlendirmişlerdir. Ayrıca çalışmada heyelan duyarlılığını ortaya koyabilmek için Lojistik Regresyon yöntemi kullanılmıştır. Bölgede aktif olarak 65 adet heyelan haritalayan araştırmacılar bu heyelanların oluşum zamanlarını bölgedeki insanlardan aldıkları bilgilerle ve kritik yağış eşiklerinin aşıldığı zamanlarla ilişkilendirmişlerdir. Üç farklı istasyondan

alınan verilerle son 36 yıla ait yağış verileri analiz edilmiş ve iki mevsimsel yağış dönemi ortaya konmuş olup bunlar; Nisan ayından Mayıs'a kadar 180 mm'den 156 mm'ye değişen ikincil olarak da Eylül ayı ile Ekim ayı 138 mm'den 120 mm değişen yağış süreçleri şeklindedir. Araştırmacılar bu veriler ışığında ürettikleri heyelan tehlike haritasını beş tehlike bölgesine ayırmış olup bunlar; alan yüzdesi olarak ise %13,48 çok düşük, %28,67 düşük, %31,62 orta, %18 yüksek ve %8,2 çok yüksek tehlike bölgesi olarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada son olarak model performans değerlendirmesi ROC eğrisi yöntemiyle yapılmış ve %85,4 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla bu modelin performansı Şafe ve Baso havzalarında yapılan bu heyelan tehlike değerlendirmesi çalışması için yüksek olarak değerlendirilmiştir.

Wang vd. (2021), Çin'de Chongqing'in doğusunda yer alan Fengjie bölgesinde bir heyelan risk değerlendirme çalışması yapmışlardır. Çalışma alanının genellikle dağlık kesimlerden oluştuğu ve muson ikliminin hakim olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada araştırmacılar tarafından 2001'den 2016'ya kadar 1522 adet heyelan olayına ilişkin veri değerlendirmeye alınmıştır. Öncelikli olarak bölgeye ait heyelan duyarlılık haritasını üretmek için topografik, jeolojik, hidrojeolojik ve bitki örtüsü gibi 4 ana faktör altında toplam 25 adet parametre belirlenmiştir. Bu çalışmada heyelan duyarlılık haritası RF algoritmaları yöntemiyle üretilmiştir. Sonraki aşamada heyelan tehlike haritasını üretebilmek için heyelanların dağılımı ve bölgesel özellikleri de göz önünde bulundurarak üç adet tetikleyici parametre belirlenmiş olup bunlar; yıllık ortalama yağış, yollara uzaklık ve yerleşim alanlarına uzaklık şeklindedir. Son olarak risk haritasını üretebilmek için hasar görülebilirlik durumu ortaya koymak gerektiğinden nüfus yoğunluğu, yolların maliyeti ve ekonomik kırılganlık gibi parametreler için tematik haritalar üretilmiştir. Üretilen heyelan risk haritasına göre çok düşük ve düşük riskli alanların çalışma alanının yaklaşık %73,7'sini orta ve yüksek riskli alanların %23,79'unu ve çok riskli alanların da %2,5'ini oluşturduğu ortaya koyulmuştur.

Xu vd. (2021), Çin'in Shaanxi eyaletine bağlı Xianyang ilini kapsayan bir heyelan risk değerlendirme çalışması yapmışlardır. Çalışma alanının yaklaşık 9543 km²'lik bir alandan oluştuğu ve ortalama yıllık yağışın 537-650 mm olduğu belirtilmiştir. Çalışmada heyelan duyarlılık haritasını üretebilmek için yükseklik, eğim, bakı, NDVI, akarsulara uzaklık, yağış miktarı, yollara uzaklık, litoloji gibi parametreler kullanılmıştır. Hasar görülebilirlik durumunu ortaya koyabilmek için ekonomik kırılganlık, nüfus yoğunluğu, yapılaşma gibi faktörler ele alınmıştır. Araştırmacılar tarafından AHP ve Entropi methodu kullanarak faktörler için ağırlıklandırma yapılmıştır. Sonuç olarak Xianyang şehri için üretilen heyelan

risk haritasında dört farklı sınıf oluşturulmuş olup bunlar; çok düşük riskli, düşük riskli, orta riskli ve yüksek riskli alanlar şeklindedir. Çok düşük riskli alanların çalışma alanının yaklaşık %38,7'si kadar düşük riskli alanlar çalışma alanının %49,37'si kadar, orta riskli alanlar %9,4'ü kadar ve yüksek riskli alanların ise çalışma alanının yaklaşık %2,5'i kadar alan kapladığı belirtilmiştir.

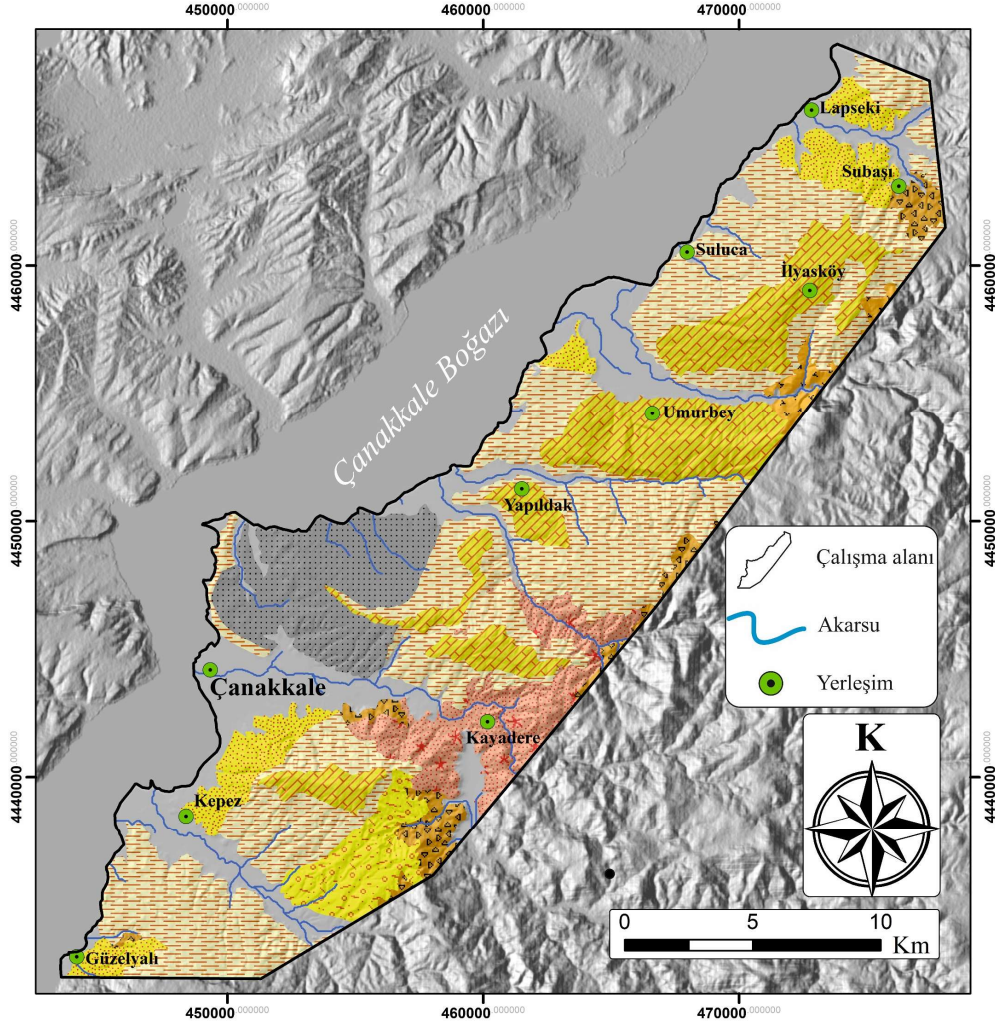
Zheng vd. (2021), Cheng-Kun demiryolu boyunca gerçekleşebilecek jeolojik tehlike olaylarının risk değerlendirmesini CBS'ye dahil edilmiş TFN-AHP hibrit yöntemiyle çalışmışlardır. Demiryolu hattında gerçekleşen bu tür jeolojik afetler sebebiyle geçişlerin sık sık kesintiye uğraması sebebiyle bu tür bir çalışmaya ihtiyaç duyan araştırmacılar yükseklik, eğim, litoloji, toprak türü, yağış miktarı, drenaj yoğunluğu gibi parametrelerin bu tür afetleri etkilediğini belirterek bu parametreleri kullanıp tematik haritaları üretmişlerdir. Bölgede hasar görülebilirliği ortaya koymak için 3 faktör belirlenmiş olup bunlar; arazi kullanımı, nüfus yoğunluğu ve GDP (gayri safi yurtiçi hasıla)'dir. Araştırmacılar tarafından elde edilen veriler ışığında TFN-AHP yöntemiyle çalışma alanının ve demiryolu boyunca olan kısmın heyelan risk haritası üretilmiştir. Risk haritasında 5 farklı sınıf kullanılmış olup alan yüzdeleriyle birlikte şöyledir; çok yüksek riskli (%9,34), yüksek riskli (%23,82), orta riskli (%29,43), düşük riskli (%24,92) ve çok düşük riskli (%15). Ayrıca aynı haritalar karşılaştırma amaçlı AHP yöntemiyle de üretilmiş ve TFN-AHP hibrit yönteminin yüksek riskli alanların belirlenmesinde daha verimli olduğu belirtilmiştir.

1.5 Çalışma Alanının Jeolojisi

1.5.1 Giriş

Çalışma alanı, Biga Yarımadası'nın batı yakasında bulunmaktadır. Bu bölgede yer alan birimler genel olarak iki grupta incelenmekte olup bunlar; Tersiyer öncesi kayalar ve Tersiyer kayaları şeklindedir. Çalışma alanı olarak belirlenen Çanakkale Boğazı'nın doğu kesiminde ise Tersiyer dönemi kayaları yüzeylenmektedir (Şekil 1.5). İnceleme alanında Eosen-Kuvaterner zaman aralığında oluşmuş, sedimanter ve volkanik kayalar yer almaktadır.

Bunlar yaşlıdan gence doğru sırasıyla; Orta Eosen yaşlı Şahinli Formasyonu, Üst Eosen yaşlı Erdağ Volkaniti, Alt Oligosen yaşlı Atikhisar Volkaniti, Üst Miyosen yaşlı Gazhanedere Formasyonu ve Çanakkale Formasyonu, Kuvaterner yaşlı Karasal şelf çökelleri ve en genç Alüvyon şeklindedir.



Açıklamalar

KUVATERNER	Qal	Qea	Qal, Qea: Alüvyon, karasal şelf çökel
ÜST MİYOSEN	Uyumsuzluk		Tmçk: Çanakkale Formasyonu
	Tmal		Alçıtepe üyesi (Tmal): Kireçtaşı, kumtaşı, marn, kiltası
	Tmçd		Çamrakdere üyesi (Tmçd): Kumtaşı, marn, kiltası
	Tmki		Kirazlı üyesi (Tmki): Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı
ALT OLİGOSEN	Uyumsuzluk		Tmg
			Gazhanedere formasyonu (Tmg): Karasal çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı
ÜST EOSEN	Uyumsuzluk		Toa
			Atikhisar volkaniti (Toa): Riyolit ve piroklastik kayalar
ORTA EOSEN	Uyumsuzluk		Teer
			Erdağ volkaniti (Teer): Bazalt, bazaltik andezit, piroklastik kayalar
	Uyumsuzluk		Teşa
			Şahinli formasyonu (Teşa): Bazalt, piroklastik ve volkanoklastik kayalar

Şekil 1.5: Çalışma alanının genel jeoloji haritası (MTA 2008'den değiştirilerek).

1.5.2 Şahinli Formasyonu

Birim Çanakkale ili doğusu olmak üzere Lapseki, Çan ilçelerinde de geniş alanlarda yüzeylenmektedir. Subaşı Köyü doğusunda yer alan Şahinli Köyü'nde tip lokalite sunduğundan dolayı Şahinli formasyonu olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanında Subaşı Köyü civarında gözlemlenmektedir. Birim; bazalt, bazaltik andezitik lav ve piroklastikler ile yer yer volkanoklastiklerden oluşmaktadır (Dönmez vd., 2005). Şahinli formasyonunun yaşı ilişkide olduğu kayalar ve bölgesel stratigrafik konumu dikkate alındığında Orta Eosen'dir (Genç vd., 2012).

1.5.3 Erdağ Volkaniti

Erdağ volkaniti, Erdağ civarında ve Şahinli Köyü kuzeyinde yayılım göstermekle birlikte çalışma alanında da Umurbey ve İlyasköy'ün doğusunda yüzeylenmektedir (Şekil 1.6). Erdağ volkaniti; bazaltik, bazaltik andezitik ve piroklastik kayalardan oluşmaktadır (Dönmez vd., 2005). Yapılan çalışmalarda birinin yaşlandırılması ile alakalı farklı görüşler ortaya koyulmuştur. Bu birime Bingöl vd., (1973) tarafından Pliyokuvaterner; Ercan vd., (1995) tarafından ise Oligosen yaşı verilmiştir. Genç vd., (2012) yaptıkları çalışmada ise Erdağ volkanitinin Beybaşı formasyonu ile dokanak ilişkilerini dikkate alarak bu volkanitlerin Geç Eosen yaşta olduğunu ortaya koymuşlardır.

1.5.4 Atikhisar Volkaniti

Atikhisar volkaniti, Çanakkale il merkezinin doğusunda yer alan Atikhisar Barajı çevresinde yayılım göstermektedir (Şekil 1.7). Atikhisar volkaniti; gri, pembe renkli tuf, ignimbirit ve az oranda perlitten oluşan bir birim olarak Dönmez vd., (2005) tarafından tanımlanmıştır. Atikhisar volkanitine ait örnekler mikroskobik incelemeler sonucunda riyolit olarak tanımlanmıştır (Genç vd., 2012). Atikhisar volkaniti, Çanakkale civarında Şahinli formasyonunu uyumsuz olarak üzerlerken, aynı bölgede Gazhanedere formasyonu ve Çanakkale formasyonu tarafından uyumsuz olarak üzerlenir. Ayrıca Gazhanedere formasyonu içerisinde Atikhisar volkanitine ait çakıl ve bloklar da yer almaktadır. Kayadere köyü civarında Atikhisar volkanitinden alınan riyolit örneklerine yapılan radyometrik yaşlandırma ile volkanizmanın Alt Oligosen'de etkin olduğu belirtilmiştir (Dönmez vd., 2005).



Şekil 1.6: Umurbey barajı gövde kısmında gözlemlenen Erdağ volkanitlerine ait görüntü.



Şekil 1.7: Atıkhisar barajı çevresinde gözlemlenen volkanitlere ait görüntü

1.5.5 Gazhanedere Formasyonu

Gelibolu Yarımadası'nın bir kısmında ve Çanakkale Boğazı'nın doğu kıyısında gözlenen kırmızı renkli çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşından oluşan kayaç topluluğu Ulupınar Köyü güneydoğusunda yer alan Sarıyar bölgesinde olduğundan Şentürk ve Karaköse (1987)

tarafından Sarıyer Üyesi olarak tanımlanmıştır. Bu birime benzer özelliklerdeki kayalar Trakya'da Saltık (1974) tarafından Gazhanedere formasyonu olarak adlandırılmıştır. Bu kayaç topluluğu daha genç birimlere nazaran taşınma ve çökelme ortam özellikleri açısından farklılık gösterdiğinden ve geniş haritalanabilir yayılımlar olmasından ötürü Gazhanedere formasyonu olarak kabul edilmiştir. Orta Miyosen sonu-Geç Miyosen başı olarak yaşlandırılması yapılan Gazhanedere formasyonu çalışma alanında Çanakkale formasyonu tarafından paralel uyumsuzlukla örtülür (Genç vd., 2012).

1.5.6 Çanakkale Formasyonu

Çanakkale Boğazı doğu kıyısı boyunca yüzeyleyen çökeller Şentürk ve Karaköse (1987) tarafından Çanakkale formasyonu olarak adlandırılmıştır. Formasyon; kumtaşı, silttaşı, çakıltaşı, marn, çamurtaşı, kalkarenit ve oolitik kireçtaşından oluşur (Şekil 1.8). Bu kayaç topluluğu birbirleriyle yan ve düşey yönde geçişli Kirazlı, Çamrakdere ve Alçıtepe üyelerine ayrılmıştır (Genç vd., 2012). Çanakkale formasyonu olarak adlandırılan Geç Miyosen yaşlı denizel çökeller çalışma alanında geniş bir yayılıma sahiptir.



Şekil 1.8: İlyasköy-Subaşı köy yolu arasında gözlenen Çanakkale formasyonundaki kumtaşı, silttaşı, marn ardalanmasına ait görüntü.

Çanakkale formasyonu; Kirazlı üyesi, Çamrakdere üyesi ve Alçıtepe üyesi olarak üç üyeden oluşmaktadır.

1.5.6.1 Kirazlı Üyesi

İlk olarak Saltık (1974) tarafından Kirazlı formasyonu olarak tanımlanan bu denizel birim kumtaşı, daha az oranda çakıltaşı-çakıllı konglomera, silttaşı ve çamurtaşından

oluşmaktadır. Çanakkale Boğazı kıyısında yüzeyleyen sığ denizel kayaçlar Ilgar vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada Çanakkale formasyonunun bir üyesi olarak tanımlanmış ve ilk ismine ithafen Kirazlı üyesi olarak adlandırılmıştır. Çalışma alanında Çanakkale güneyinde Kepez-Güzelyalı civarında, Lapseki güneydoğusu Subaşı Köyü civarında yüzeylenmektedir (Şekil 1.9). Kirazlı Üyesi yanal olarak Çamrkdere Üyesi ile geçişli olup altındaki birim ile paralel uyumsuzdur. Kirazlı Üyesi'ni oluşturan silttaşı ve çamurtaşlarından alınan fosil örnekleriyle birimin yaşı Atabey vd. (2004) tarafından Geç Miyosen olarak verilmiştir.



Şekil 1.9: Subaşı köyü batısında gözlemlenmiş Kirazlı Üyesi'ne ait konglomera.

1.5.6.2 Çamrkdere Üyesi

Çanakkale Boğazı'nın batısında ve doğusunda yüzeyleyen çamurtaşı, silttaşı, kumtaşı, ve konglomera ile kalkarenitten oluşan kayaç topluluğu ilk olarak Şentürk ve Karaköse (1987) tarafından Çanakkale formasyonunun Çamrkdere Üyesi olarak tanımlanmıştır. Çamrkdere Üyesi, Gazhanedere formasyonu ile paralel uyumsuz iken Kirazlı Üyesi'yle yanal Alçıtepe Üyesi'ne ait kireçtaşlarıyla düşey yönde geçişlidir (Dönmez vd., 2008). Çalışma alanında özellikle Subaşı, Gökköy, Yapıldak, Umurbey yerleşim alanlarında geniş bir yayılım göstermektedir. Alınan örneklerin içinde saptanan fosillerden yola çıkarak Çamrkdere Üyesi'nin yaşı Üst Miyosen olarak saptanmıştır (Atabey vd., 2004).

1.5.6.3 Alçitepe Üyesi

Biga Yarımadası'nın batısında topoğrafyanın yüksek olduğu bölgelerde yüzeyleyen ve başlıca kireçtaşlarından oluşan litoloji topluluğu Dönmez vd. (2008) tarafından Alçitepe Üyesi olarak kabul edilmiştir. Alçitepe Üyesi'ne ait kireçtaşları Umurbey Kasabası güneyinde yer almakla birlikte İlyasköy, Yapıldak ve Ulupınar Köyleri civarında da yüzeylenmektedir (Şekil 1.10). Alçitepe Üyesi başlıca stromatolite yapıli kireçtaşı, kalkarenit, fosilli kireçtaşı, silttaşı ve marnlardan oluşmaktadır. Kireçtaşları ve marnlardan alınan örneklerle üyenin yaşı Üst Miyosen olarak tanımlanmıştır. (Dönmez vd., 2008).



Şekil 1.10: İlyasköy kuzey kesimlerinde gözlemlenmiş Alçitepe kireçtaşı.

1.5.7 Kuvaterner Yaşlı Eski Akarsu Çökelleri

Eski dere, akarsu yataklarında ve taşkın düzlüklerinde gözlemlenen kumlu karasal-şelf çökel kayaçlardır. Çalışma alanında güneyde Çanakkale il merkezi kuzey kesimlerinde gözlemlenmektedir.

1.5.8 Alüvyon

Kırmızı renkli toprak, silt, killi karışımlardan oluşan kuvaterner yaşlı en genç oluşumlar da alüvyon olarak tanımlanmıştır. Kepez civarlarında, kuzeyde ise Umurbey ve Lapseki civarlarında gözlemlenmektedir.

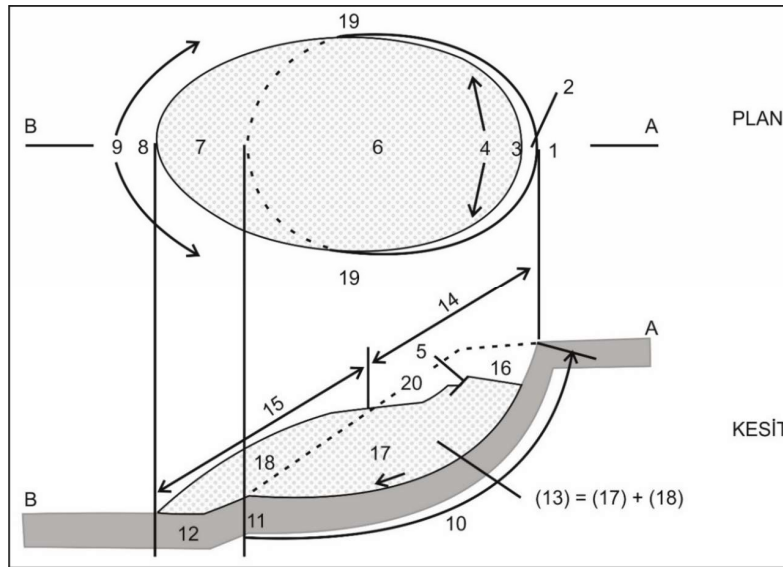
1.6 Heyelanlarla İlgili Tanımlamalar

Heyelan; su, rüzgar ve buzul gibi herhangi bir taşıyıcı etkisi olmadan yerçekimi etkisi altında kayaç, moloz veya toprak türü malzemelerin yamaç aşağı doğru hareket etmesi olarak tanımlanmaktadır (Varnes, 1978). Heyelanların oluşumunda uzun süreli yağışlar, ani kar erimeleri, depremler ve insan etkisi gibi faktörler rol oynamaktadır. Varnes (1978), yaptığı heyelan tanımına uygun olarak ve hareket tipiyle birlikte malzeme cinsinin de önemini vurgulayarak heyelanları sınıflandırmıştır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1: Hareketin tipi ve malzeme cinsine göre heyelanların sınıflaması (Varnes, 1978).

Hareketin Tipi	Malzemenin Türü		
	Kayaçlar	Zeminler	
		İri Taneli	İnce Taneli
Düşme	Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
Devrilme	Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Zemin Devrilmesi
Kayma	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Zemin Kayması
	Düzlemsel		
Yayılma	Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Zemin Yayılması
Akma	Kaya Akması	Moloz Akması	Zemin Akması
Kompleks	İki veya Daha Fazla Hareket Türü		

IAEG Heyelan Komisyonu (1990), tipik bir heyelanın kesimlerini bir kesit olarak Şekil 1.11 ve Tablo 1.2'deki gibi isimlendirmiş ve tanımlamışlardır.



Şekil 1.11: Tipik bir heyelan kesiti ve tanımlanmış bölümleri (IAEG, 1990).

Tablo 1.2: Tipik bir heyelan kesitinde gelişen bölümler (IAEG, 1990).

İsim	Tanım
1 Heyelan tacı	Ana aynanın en yüksek bölümüne en yakın ve hareket etmemiş malzemenin bulunduğu yer.
2 Ana ayna	Heyelanın üst ucunda, heyelandan etkilenmemiş bölgeden hareket eden kütlelerin ayrılmasıyla oluşan düşey veya düşeye yakın yüzey.
3 Heyelanın tepesi	Ana ayna ile heyelan kütleleri arasındaki en yüksek nokta.
4 Heyelanın üstü	Hareket etmiş kütle ile ana ayna arasında oluşan bölgenin üst kısımları.
5 Tali ayna	Yer değiştiren kütle içinde farklı hareketlerden oluşmuş düşey veya düşeye yakın bir yüzey.
6 Heyelan gövdesi	Kayma yüzeyi üzerinde, ana ayna ile kayma yüzeyi burnu arasında kalan kütle.
7 Heyelanın eteği	Heyelanın topuğu ötesine hareket ederek doğal arazi üzerine oturmuş bölümü.
8 Heyelanın ucu	Heyelan tepesinden topuğuna gelen nokta.
9 Topuk	Hareket eden kütlelerin genellikle eğrisel olan alt ucu. Bu nokta ana aynadan en uzaktaki noktadır.
10 Kayma yüzeyi	Heyelana neden olan ya da heyelan olmuş kütlelerin alt sınırını oluşturan ve doğal zemin yüzeyinin altında kalmış yüzeydir.
11 Kayma yüzeyi burnu	Heyelanın kayma yüzeyinin alt bölümü ile (genellikle gömülü) doğal arazi yüzeyinin kesişme noktası.
12 Ayrılma yüzeyi	Doğal arazi yüzeyinin heyelanın eteği altında kalan bölümü.
13 Heyelan kütleleri	Yamaç veya şevde heyelan sonucu doğal yerinden ayrılmış, kayıp ve kabarma kütlelerini içeren malzeme.
14 Kayıp bölgesi	Heyelan kütlelerinin doğal arazi yüzeyi seviyesi altında kalan alanı.
15 Birikim bölgesi	Heyelan kütlelerinin başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi üstünde kalan alanı.
16 Çöküntü	Ana ayna, çöküntü kütleleri ve doğal arazi yüzeyi arasında kalan hacim.
17 Çöküntü kütleleri	Kayma yüzeyi üzerinde, ancak başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi seviyesi altında kalan heyelan kütleleri.
18 Kabarma	Başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi üzerine yükselen yer değiştirmiş heyelan hacmi.
19 Kanatlar	Kayma yüzeyinin yanlarında kalan ve hareket etmemiş malzeme. Kanatları tanımlama için pusula yönleri kullanılmalıdır.
20 Doğal arazi yüzeyi	Kütle hareketi oluşmadan önce arazinin kesitte görülen yüzeyi göstermektedir.

Bununla birlikte IAEG Heyelan Komisyonunun (1990, 1993, 1995) heyelanların boyutlarının değerlendirilmesi, heyelanların aktivite durumlarının değerlendirilmesi,

heyelanların aktivite hızlarına göre değerlendirilmesi gibi heyelanların çeşitli özelliklerine dair yaptıkları sınıflamalar mevcuttur.

Heyelan envanteri; duyarlılık, tehlike ve risk çalışmalarında temel altlık olarak kullanılan, çalışma sahasındaki heyelanlara ait konum, alan, tür, aktivite gibi fiziksel özellikleri hakkında bilgiler içeren veri olarak tanımlanmaktadır (Fell vd., 2008). Gelecekte oluşabilecek heyelanlar geçmişte olmuş heyelanlarla benzer şartlar altında gerçekleşebilir. Dolayısıyla heyelan envanteri bu tür çalışmalarda geleceğe dair ışık tutması açısından oldukça önemlidir.

Bir bölgedeki heyelan oluşumuna etki ettiği düşünülen parametrelerin dikkate alınmasıyla heyelan gelişmesi muhtemel bölgelerin göreceli olarak sınıflandırılması, heyelan duyarlılığının tanımı olarak kabul edilmektedir (Aleotti ve Chodhury, 1999). Aynı zamanda mevcut heyelanların konum, alan vb. dağılımlarının belirlenmesi de bu tanım içerisinde yer almaktadır. Yapılacak bir heyelan duyarlılık çalışmasının, bölgede gelişmesi muhtemel heyelanların nerede, hangi türde, ne büyüklükte gerçekleşeceği sorularına yanıt verebilir olması gerekmektedir.

Heyelan tehlikesi ile ilgili literatürde kabul gören iki farklı tanımlama mevcuttur. Bunlardan ilki Varnes (1984) tanımlaması olup, heyelan tehlikesini belirli bir alanda, belirli bir zaman dilimi içerisinde potansiyel olarak hasar verici bir etkiye sahip heyelanın oluşma olasılığı olarak tanımlamaktadır. Diğer bir tanım ise Guzzetti vd. (1999) tarafından sunulan ve Varnes (1984) tanımının içeriğine ek olarak, heyelan boyutlarının (heyelan alanı, hacmi, hızı vb.) da oluşma olasılıklarının hesaplanması gereken tanımdır. Guzzetti vd. (1999)'nin yaptıkları tanım gereği, heyelan tehlike değerlendirmesi yapabilmek için, heyelanların konum, zaman ve alansal gerçekleşme olasılıklarının hesaplanması gerekmektedir.

Bu tür çalışmalarda konumsal olabilirlik duyarlılık analizleriyle yapılmaktadır. Zamansal olabilirlik ise bu heyelanları tetikleyen yağış, deprem gibi unsurların tekrarlama aralıklarının analizi sonucuyla hesaplanmaktadır. Alansal olabilirlik ise heyelan envanter haritalarından büyüklük analizleri ile elde edilebilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında yapılacak tehlike analizleri için Guzzetti vd. (1999) heyelan tehlike tanımlaması kullanılmıştır.

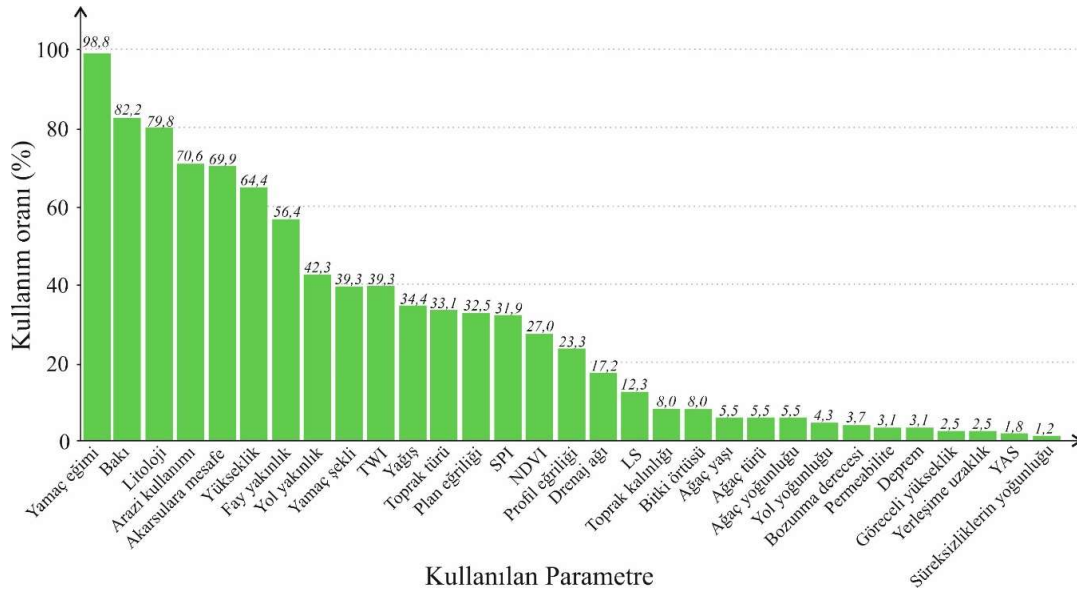
Heyelan risk analizleri ise heyelanların gerçekleşmesi sonucunda çevresel koşulları göz önünde bulundurarak fiziksel ve sosyo-ekonomik sonuçlarının ne derece olabileceğini tahmin etmeye yönelik analizlerdir (Tsai vd., 2010).

2. HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

2.1 Heyelan Duyarlılık Analizlerinde Kullanılan Parametreler

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması 1990 yılından itibaren yaygınlaşmaya başlamıştır. Heyelanların oluşmasına sebep olan parametreler, hazırlayıcı ve tetikleyici parametreler olmak üzere iki başlık altında değerlendirilebilir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Hazırlayıcı parametreler, heyelanların oluşmasında oldukça büyük önem taşımasıyla birlikte heyelan duyarlılık analizlerinde temel girdi parametreleri olarak değerlendirilmektedir. Aynı zamanda hazırlayıcı parametreler, tehlike ve risk analizlerinde zorunlu olarak kullanılması gereken parametreler olarak dikkat çekmektedir (Ercanoğlu 2005). Heyelan tehlike analizlerinde ise tetikleyici parametrelerin muhakkak dikkate alınması gerekmektedir. Heyelan duyarlılığına etki eden parametreler arazi farklılıklarından dolayı bölgeden bölgeye değişkenlik gösterebilmekte dolayısıyla bu parametrelerin seçimi ve kullanımıyla ilgili bir standart bulunmamaktadır.

Tez çalışması kapsamında heyelan duyarlılık konu başlıklı literatür çalışmaları esnasında, incelenen makalelerde kullanılan parametrelere ilişkin de bir çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda 2000-2020 yılları arasında yayımlanmış, heyelan duyarlılık konu başlıklı ve en çok atıf alan 163 adet makalede 31 adet farklı parametre kullanılmıştır (Şekil 2.1). CBS'nin de kullanımının artmasıyla birlikte parametre sayılarının da arttığı ve farklılaştığı gözlenmektedir.



Şekil 2.1: Taranan makalelerde parametrelerin kullanımına ilişkin dağılım.

Yapılan bu çalışma sonucunda, yamaç eğimi parametresinin hemen hemen her çalışmada bir girdi parametresi olarak kullanıldığı ortaya çıkmıştır. Süreksizliklerin yoğunluğu, yeraltısuyu durumu, yerleşime uzaklık vb. gibi parametreler bu çalışmalarda en az tercih edilen girdi parametreleri olarak dikkat çekmektedir. Yamaç eğim yönü (bakı), litoloji, arazi kullanımı, akarsulara mesafe ve topoğrafik yükseklik gibi parametreler de en çok tercih edilen girdi parametreleri olarak dikkat çekmektedir.

Heyelan duyarlılık analizlerinde girdi parametrelerinin seçimi arazi gözlemleri ışığında yapılmalıdır. Yapılan araştırmalar göstermektedir ki, arazi koşullarıyla örtüşen veriler bu tür çalışmalarda iyi sonuçlar vermektedir. Tüm bunların sonucu olarak bu tez çalışmasında literatür çalışmaları detaylı bir şekilde yapılmış, parametre seçimlerinin nasıl yapıldığı incelenmiş ve gerekli saha çalışmalarıyla da desteklenerek heyelan duyarlılığına etki ettiği düşünülen parametreler tercih edilmiştir. Sonuç olarak bu tez çalışmasında girdi parametresi olarak 9 adet parametre belirlenmiş olup bu parametreler; eğim, bakı, eğrisellik, arazi kullanımı, topoğrafik yükseklik, NDVI, akarsulara mesafe, TWI ve litolojidir.

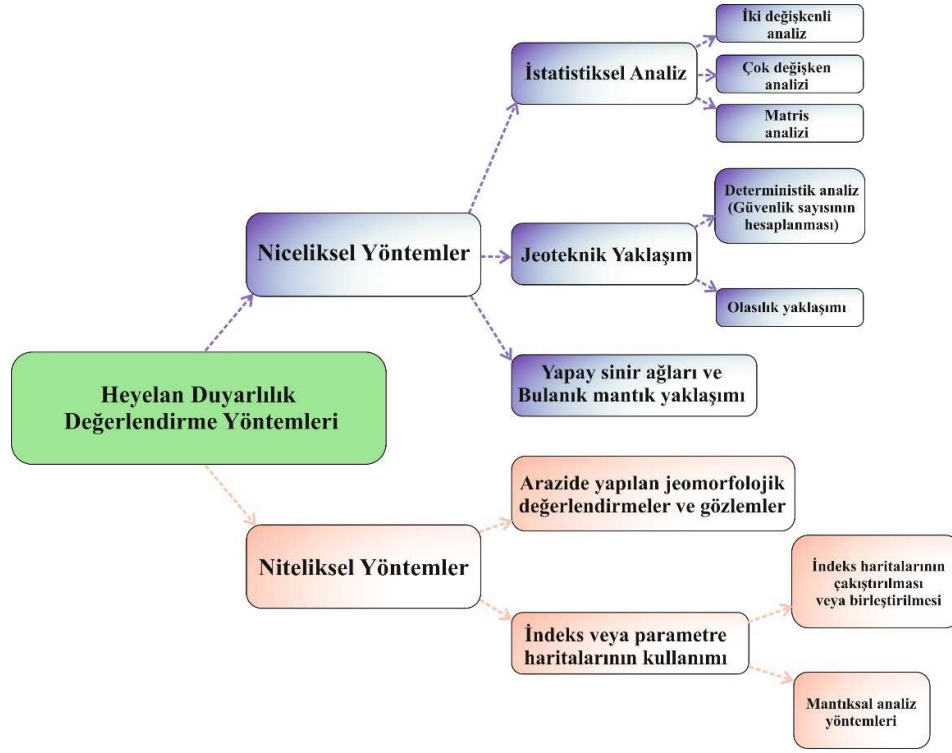
2.2 Heyelan Duyarlılık Analizlerinde Kullanılan Yöntemler

2.2.1 Yöntemlerin Sınıflandırılması

Heyelan duyarlılık analizlerinin oluşmuş heyelanlarla birlikte gelecekte oluşması muhtemel heyelanlı alanların yerinin, büyüklüğünün ne olacağı konusunda da bilgi vermesi gerekmektedir. Bu tür çalışmalar doğal yaşamı, çevreyi, toplumsal yaşam alanlarını ve insan faaliyetlerini doğrudan etkilemesi sebebiyle araştırmacılarla birlikte karar vericiler için de oldukça önemlidir. Dolayısıyla son yıllarda bu tür afet konulu çalışmaların sayısının ve buna bağlı olarak kullanılan yöntemlerin de çeşitliliğinin arttığı söylenebilir.

Aleotti ve Chowdhury (1999) heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan yöntemleri niteliksel ve niceliksel yöntemler olarak iki ana başlık altında toplamış ve bir sınıflandırma yapmıştır (Şekil 2.2).

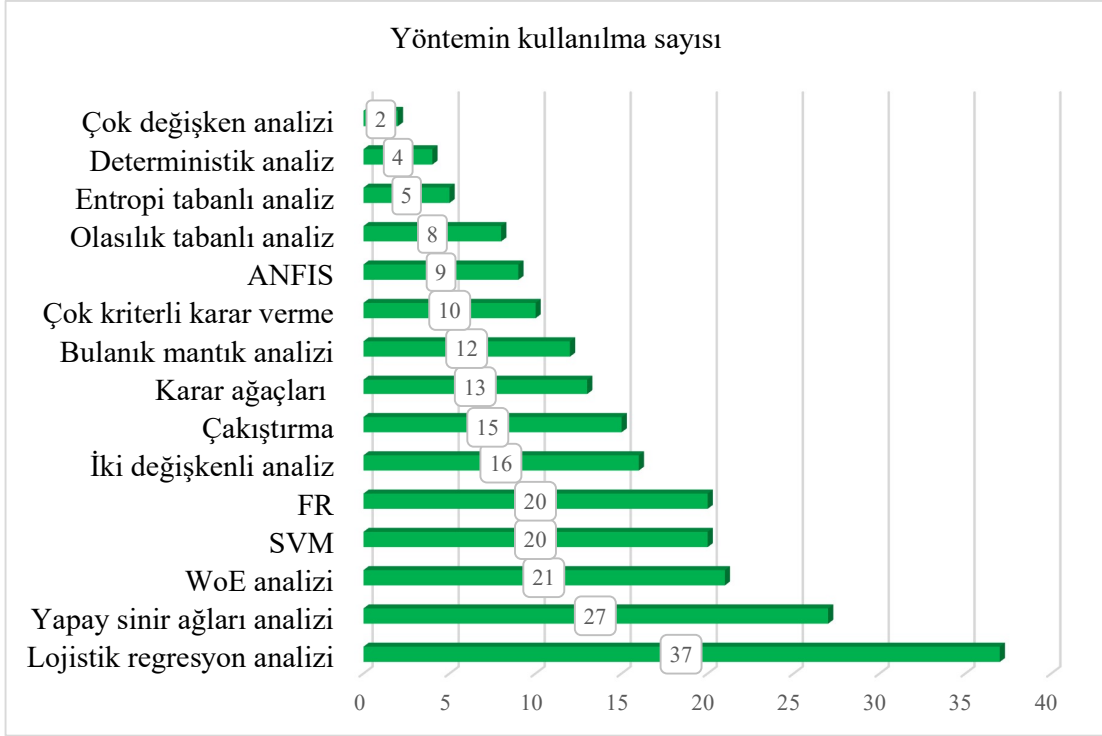
Niteliksel yöntemler, araştırmacıların saha tecrübelerine ve gözlemlerine dayanmaktayken, niteliksel yöntemler, çeşitli veriler kullanılarak genellikle bilgisayar destekli çalışmalara dayanmaktadır. Ayrıca bu tür analizler için kullanılan yöntemler temel olarak niteliksel ve niceliksel yöntemler olarak ayrılrsa da farklı yöntemlerin entegrasyonu sonucunda oluşturulan hibrit yöntemler de heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil 2.2: Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntemler (Aleotti ve Chowdhury, 1999; Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001'den değiştirilerek).

Tez kapsamında yapılan literatür çalışmaları da göstermiştir ki, hem parametre seçimine ilişkin hem de duyarlılık analizi için seçilecek yöntemlere ilişkin standart bir metodoloji bulunmamaktadır. Araştırmacıların çoğu kez aynı sahada farklı yöntemleri de uygulayarak seçtikleri yöntemler arası kıyaslama ile çalışmalarını yürüttükleri tespit edilmiştir. Tez çalışması kapsamında incelenen heyelan duyarlılık konu başlıklı 163 adet bilimsel yayında tercih edilen yöntemler analiz edilmiştir (Şekil 2.3).

Literatür çalışmaları göstermiştir ki, bilgisayar teknolojisinin haritalama konusunda gelişmesi ve veri elde edilebilirliğinin kolaylaşması sebebiyle heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan yöntem çeşitliliği ile birlikte elde edilen sonuçların verimliliği de artmıştır. Grafikte de görüldüğü gibi heyelan duyarlılık analizleri için niteliksel ve niceliksel olmak üzere birçok farklı yöntem kullanılmıştır. En yaygın olarak tercih edilen yöntemin de bir istatistiksel yöntem olan Lojistik Regresyon yöntemi olduğu tespit edilmiştir. Yapay Sinir Ağları (YSA), Kanıt Ağırlığı (WoE), Destek Vektör Makineleri (SVM) ve Frekans Oranı yöntemleri de yine en çok tercih edilen yöntemler olarak tespit edilmiştir.



Şekil 2.3: İncelenen heyelan duyarlılık konu başlıklı 163 bilimsel yayında kullanılan yöntemlerin dağılımı.

Bu incelemeler sonucunda, tez çalışması kapsamında heyelan duyarlılığı analizlerini yapmak için; Frekans Oranı (FO), Lojistik Regresyon (LR), Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Random Forest (RF), Yapay Sinir Ağları (YSA), Destek Vektör Makineleri (DVM) olmak üzere 6 adet yöntem seçilmiştir. Aşağıdaki paragraflarda seçilen bu yöntemlerin kullanım şekli ve duyarlılık haritalarının üretilme süreçleri hakkında kısaca bilgiler verilmiştir.

2.2.2 Frekans Oranı (FO)

Mevcut heyelan konumlarıyla heyelan oluşumuna etki eden her parametrenin arasındaki istatistiksel ilişkiyi ortaya koyabilen bu yöntem, heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için kullanılmaktadır. Kolay uygulanabilirliği ve anlaşılabilirliği sayesinde literatürde de yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Frekans oranı basit bir anlatımla, bir olayın olma olasılığının olmama olasılığına oranı şeklinde tanımlanmaktadır. Frekans oranını hesaplamak için Eşitlik 2.1'deki formül kullanılmaktadır (Lee ve Talib, 2005).

$$FR = \frac{PLO}{PIF} = \frac{b}{a} \quad (2.1)$$

Burada *PLO*, her bir parametrenin her bir alt sınıfı içindeki heyelan alanının toplam heyelan alanına oranı hesaplanır ve bu oran *b* katsayısı olarak da kullanılır, *PIF* ise her bir parametrenin her bir alt sınıfı alanının toplam alana oranı olarak hesaplanır ve bu oran *a* katsayısı olarak da kullanılmaktadır. Yapılan hesaplamalar sonucunda değerlendirmeye geçildiğinde, FR değerinin 1'den büyük olması bu parametrenin heyelan oluşumunda göreceli olarak etkili olduğunu gösterirken, değerin 1'den küçük olması ise daha az etkin olduğuna işaret etmektedir. (Lee ve Talib, 2005).

Her bir parametre alt grubu için FR oranı hesaplandıktan sonra değerler normalleştirilerek bilgisayar ortamında haritalara atanmaktadır. Raster veri formatındaki her bir haritanın her bir pikselinde o noktayı ifade eden FR değeri bulunmaktadır. Seçilen tüm parametre haritalarının CBS ortamında matematiksel olarak toplanması sonucunda FR yöntemiyle heyelan duyarlılık haritası elde edilmiş olur (Eşitlik 2.2).

$$LS = \sum FR \quad (2.2)$$

Eşitlikte *LS* heyelan duyarlılığı haritasını ifade etmekteyken, toplam FR ise her bir parametre haritasındaki her bir piksel için hesaplanan FR değerlerinin toplamını ifade etmektedir.

2.2.3 Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)

Heyelan duyarlılık analizlerinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi, Saaty (1977) tarafından çok kriterli karar verme problemlerinin çözümü için önerilmiştir. Yöntemin temelini, ele alınan probleme etki ettiği belirlenen parametrelerin ağırlıklandırılması oluşturmaktadır. Karar vericilerin görüşlerine ve tecrübelerine dayanarak problemin çözümüne yönelik belirledikleri ana faktörler ve varsa alt faktörler arası karşılaştırma matrisleri oluşturulmaktadır (Eşitlik 2.3).

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Matris oluşturulurken her bir faktörün diğeri üzerindeki etkisi düşünülerek değerlendirme yapılmaktadır. Bu yolla elde edilen değerler, faktörlerin göreceli önemlerine ilişkin karşılaştırmaları ortaya koymaktadır.

a_{ij} , i . faktör ile j . faktörün karşılaştırma matris değeri olup “ i faktörü j faktörüne oranla ne kadar etkilidir?” sorusunun karşılığı olarak değerlendirilmektedir. a_{ji} değeri ise $1/a_{ij}$ eşitliğiyle hesaplanarak tüm matris oluşturulmaktadır. Karşılaştırma matrisinde faktör kendisiyle karşılaştırıldığında ($i=j$ olacağından) 1 değerini alır. Faktörler arasındaki hiyerarşik model oluşturulurken Saat (1980) tarafından önerilen karşılaştırma ölçeği kullanılmaktadır (Tablo 2.1). Önerilen ölçekte 1 ile 9 arasında değişen dereceler olup, 1 değeri her iki faktörün birbiri ile eşit derecede etkili olduğunu göstermekteyken, 9 ise karşıdakine oranla en yüksek öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 2.1: İkili karşılaştırma ölçeği (Saaty, 1980).

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 derece önem taşır
2, 4, 6, 8	Ara değerleri ifade etmektedir.	
		Tercih değerleri birbirine yakın olduğunda kullanılır.

Karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra matristeki her bir değer sütunun toplam değerine bölünerek normalize edilmektedir (Eşitlik 2.4). Normalize edilen matrisin her bir sütun toplamı değeri 1 olmaktadır.

$$a_{ij}' = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.4)$$

Sonraki adımda normalize edilmiş matrisin her bir satırının toplamı matrisin boyutuna bölünerek ortalaması hesaplanmaktadır (Eşitlik 2.5). Hesaplanan bu değerler her bir faktörün önem ağırlığını ifade etmektedir. Bu ağırlıklar sistemin öncelik vektörünü oluşturmaktadır.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}'}{n} \quad i, j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.5)$$

Faktörler arasındaki karşılaştırma matrisi oluşturulurken belirli oranda tutarsızlıklar meydana gelmektedir. Bunun önüne geçebilmek amacıyla “Tutarlılık İndeksi (CI)” hesabının yapılması gerekmektedir. Tutarlılık indeksi aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2.6)$$

Bu eşitlikte λ_{max} Temel Değeri ifade etmekte ve aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$A \times W = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} = 1/a_{12} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} = 1/a_{1n} & a_{n2} = 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ x_n \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (2.8)$$

$$d_i = \frac{x_i}{w_i} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.9)$$

Bu eşitlikte; x_i , oluşturulan karşılaştırma matrisi ile öncelik vektörünün çarpımıyla elde edilmektedir. d_i sütun vektörü ise λ_{max} 'ı hesaplamak için kullanılmaktadır.

Tutarlılık Oranının hesabı için Rastgelelik Göstergesi (RI) olarak adlandırılan değere ihtiyaç vardır. Faktör sayısına ilişkin Rastgelelik Göstergesi değeri Tablo 2.2'den okunarak aşağıdaki eşitlik sonucunda Tutarlılık Oranı (CR) hesaplanmaktadır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.10)$$

Tutarlılık oranının 0,1'den küçük olması oluşturulan karşılaştırma matrisinin tutarlılığının iyi olduğunu gösterirken, 0,1'den büyük olması durumunda oluşturulan karşılaştırma matrisinde tutarsızlık olduğunu göstermektedir.

Tablo 2.2: Rastgelelik Göstergesi değerleri (Yaralıoğlu, 1999).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,53	1,56

2.2.4 Lojistik Regresyon (LR)

Lojistik Regresyon yöntemi çok değişkenli analiz yöntemlerinden biri olup, heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde de sıklıkla kullanılmaktadır. Lojistik Regresyon, istatistiksel tabanlı bir yöntem olup temeli bağımlı bir değişken ile bağımsız birden çok değişkenin arasında bir regresyon ilişkisi kurmaya dayanmaktadır (Lee, 2005). Bu tür analizlerde bağımlı değişken heyelan olayının gerçekleşip gerçekleşmemesini ifade ederken bağımsız değişkenler ise duyarlılığa etki eden parametreleri ifade etmektedir.

Lojistik Regresyon yönteminin avantajlarından bir tanesi değişkenlerin sürekli ya da kesikli olabilmesi ve normal dağılıma sahip olma şartının olmamasıdır. Yöntemin diğer bir üstünlüğü olarak bağımlı değişkenin 0, 1 gibi ikili ya da ikiden fazla düzey içeren kesikli değişken olması durumunda varsayım kısıtlaması olmaması sebebiyle kullanım rahatlığının olması ve sonuç olarak alınan matematiksel modelin esnek ve kolay bir şekilde yorumlanabilmesi olarak gösterilmektedir (Tatlıdil, 1996).

Lojistik Regresyon yöntemi, 0-1 gibi ikili değişkenlerle bir veya daha fazla bağımsız değişkenin analizi sonucu bir model oluşturmaya dayanmaktadır. Yöntemin heyelan duyarlılık analizinde kullanımı ise bağımlı değişken olan heyelan envanter haritası ile bağımsız değişkenler olan girdi parametrelerinin analiz edilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Diğer bir deyişle heyelan duyarlılığı analizlerinde bağımlı değişken olan veri, heyelanlı olamayan alan ve heyelanlı alan olarak 0 ve 1 olmalı, bağımsız değişkenler ise seçilen girdi parametreleri olarak belirlenmelidir. Tıpkı heyelan duyarlılık analizinde olduğu gibi bağımlı değişken ikili (0 ve 1) olduğunda, dağılım y tek bir değere azalır ve olasılık;

$$p = \Pr(y = 1) \text{ şeklinde olur} \quad (2.11)$$

Yukarıdaki eşitlikte p , 0 ile 1 arasında değişmekte, açıklayıcı değişkenlerin doğrusal kombinasyonu ise $+\infty$ ve $-\infty$ arasında değişmektedir. Olasılık değerleri 0 ile 1 arasında değiştiğinden, olasılık oranı da 0 ile ∞ arasında değişmektedir. Lojistik Regresyon

modelinde olasılık oranının logaritması sonucunda $+\infty$ ve $-\infty$ arasında değerler alan dönüştürülmüş değişkenler elde edilmektedir (Ott vd., 2001).

Bağımlı değişken olasılığının 1 değerini aldığı varsayımda (pozitif koşul, heyelan olduğu durum), lojistik eğrisi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$p\left(y = \frac{1}{x}\right) = \frac{\exp\left(\sum BX\right)}{1 + \exp\left(\sum BX\right)} \quad (2.12)$$

Yukarıdaki eşitlikte p heyelanlı alanlardaki piksel değerlerinin 1, heyelansız alanlardaki piksel değerlerinin 0 olarak kabul edildiği varsayımda bağımlı değişkenin 1 olma olasılığını ifade etmektedir. X , heyelan duyarlılığı analizi için dikkate alınan parametreleri yani bağımsız değişkenleri ($X_0, X_1, X_2, \dots, X_n$), B ise seçilen parametrelerin ağırlık katsayılarını ($B_0, B_1, B_2, \dots, B_n$) ifade etmektedir.

Yukarıdaki eşitlikte p değerini doğrusallaştırmak ve sonsuza giden değerlerini engellemek için aşağıdaki eşitlik sayesinde lojistik dönüşüm uygulanmaktadır.

$$p' = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = B_0 + B_1 \cdot X_1 + B_2 \cdot X_2 + \dots + B_k \cdot X_k + hata \quad (2.13)$$

p' dönüşümü teorikte $-\infty$ ve $+\infty$ aralığında herhangi bir değeri alabilmektedir.

Lojistik Regresyon modelinin oluşturulması için bu tez çalışması kapsamında Terrset 2020 programının Idrisi Selva yazılımında yer alan "LogisticReg" modülü kullanılmıştır. Programdaki bu modül, bağımsız değişkenlerin uyum testini yapabilmek için Maximum Likelihood (ML) algoritmasını kullanmaktadır. Bu algoritma aşağıdaki eşitlikte ifade edilmektedir.

$$L = \prod_{i=1}^N \mu_i^{y_i} \times (1 - \mu_i)^{(1-y_i)} \quad (2.14)$$

Yukarıdaki eşitlikte L benzerlik olasılığını, N numune sayısını, μ_i , örnek i için bağımlı değişken tahmin değerini, y_i ise örnek i için bağımlı değişken gözlenen değerini ifade etmektedir.

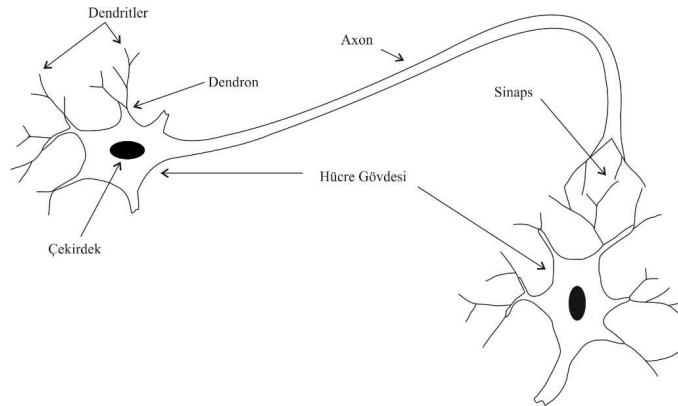
Oluşturulan Lojistik Regresyon sonucunda parametreler için elde edilen regresyon katsayısı o parametrenin sonuca olan etkisini ifade etmektedir. Negatif regresyon değeri ters orantılı

bir ilişkiyi göstermekteyken, pozitif regresyon değeri ise doğru orantılı bir ilişki olduğunu göstermektedir. LogisticReg modülü kullanılarak elde edilen duyarlılık haritasının yanısıra bir takım istatistiksel göstergeler de elde edilmektedir. Tüm modelin en iyi uyum sağladığı olasılık değerini veren $-2\log(L)$ fonksiyonu ve kesişim noktaları harici tüm katsayıların 0 değerini aldığı durumdaki olasılık fonksiyonu $-2\log(L_0)$ bu istatistiksel göstergelerden ikisidir. Bu fonksiyonlar kullanılarak bağımlı değişkenin tahminin ne oranda yapılabildiği, yapay R^2 , χ^2 (ki-kare) ve uyum iyiliğini gösteren değerleri de LogisticReg modülü ile hesaplanmaktadır. R^2 'in değerinin 0,2'den büyük olması iyi bir uyum olduğuna işaret etmektedir.

2.2.5 Yapay Sinir Ağları (YSA)

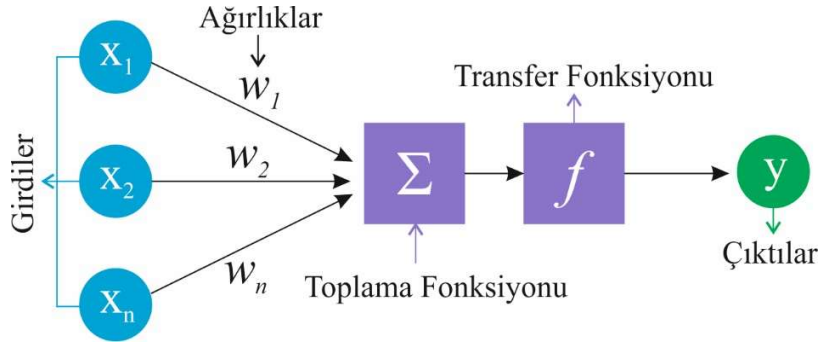
Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirebilmek amacıyla geliştirilen bilgisayar sistemleridir. YSA'nın biyolojik sinir sistemlerinin davranışlarının modellenmesiyle oluşturma fikri ilk olarak McCulloch vd. (1943) tarafından ortaya atılmıştır. Kısaca biyolojik sinir sisteminin bilgisayar ortamındaki modeli olarak tanımlanan YSA günümüzde; mühendislik, tıp, tarım ve askeri alanlarda oldukça sık kullanılmaktadır.

Nöron olarak bilinen biyolojik sinir hücreleri, gövde, gövdeye giren sinyal alıcılar (dendrit) ve sinyal ileticilerden (akson) oluşmaktadır. Akson ve dendritlerin birleşim yerine ise sinaps adı verilmektedir. Sinapslar bir nörondan gelen sinyalleri diğer nörona aktararak iletişim görevi üstlenirler. Biyolojik sistemde öğrenme, nöronlar arasındaki sinapsların aracılığıyla gerçekleşmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4: İki nöronlu bir biyolojik sinir ağı (Konar 2005).

Yapay bir nöron temel olarak girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve çıkışlardan oluşmaktadır (Şekil 2.5). Biyolojik sinir ağı ile eşleştirilmek istenirse, toplama fonksiyonu dendritlere, transfer fonksiyonu hücre gövdesine, çıktı katmanını aksonlara, ağırlıklar da sinapslara benzetilebilir.



Şekil 2.5: Yapay sinir ağı hücre yapısı.

Burada x_1, x_2, \dots, x_n şeklinde temsil edilen girdilerin doğrusal toplamı matematiksel olarak Eşitlik 2.15'deki gibi ifade edilmektedir.

$$Net(z_j) = \sum_{j=1}^n w_j x_j + \beta \quad (2.15)$$

Ağırlıklar, yapay bir sinir hücresine gelen bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini göstermektedir. Girdilerin, üretilecek çıktı üzerindeki etkilerini ayarlayabilmek için girdiler geldikleri bağlantıların ağırlıklarıyla (w_1, w_2, \dots, w_n) çarpılmaktadır. Toplama fonksiyonu vasıtasıyla elde edilen toplam, seçilen bir aktivasyon fonksiyonuyla birlikte çıktıya (y) dönüştürülmektedir. YSA'da kullanılan birçok transfer fonksiyonu vardır. Aktivasyon fonksiyonu olarak genellikle türevi kolay hesaplanabilen doğrusal olmayan fonksiyonlar tercih edilmektedir.

YSA yapısındaki girdi ve çıktı arasındaki aşağıdaki formülle ifade edilmektedir.

$$y_i = f_h(z_j) \quad (2.16)$$

Bu eşitlikte f_h aktivasyon fonksiyonu olmakla birlikte genellikle lineer ve sigmoid fonksiyon şeklindedir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu Eşitlik 2.17'deki gibi tanımlanmaktadır (Ham ve Kostanic, 2000).

$$f_h = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.17)$$

İki katmanlı ileri beslemeli genel bir ağ yapısı için sigmoid transfer fonksiyonu (f_h) ve çıktındaki lineer transfer fonksiyonu (f_o) Eşitlik 2.18'deki gibi ifade edilmektedir.

$$y_j = f_o \left(b + \sum_{h=1}^{n_h} w_h \cdot f_h \left(b_h + \sum_{i=1}^n w_{ih} \cdot x_{t-i} \right) \right) \quad (2.18)$$

YSA yapısında araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan iki temel yapı vardır, bunlar; ileri beslemeli (feedforward) ağlar ve geri dönüşümlü (recurrent) ağlar olarak adlandırılmaktadır (Alba vd., 2004).

YSA'da oluşturulan sistemin eğitimini sağlayan sete "eğitim seti" adı verilmektedir. Oluşturulan ağ yapısının eğitimi sırasında uygun ağırlıklar belirlenene kadar aynı veri seti üzerinde işlem yapılmaktadır. Girdi verisindeki bilgiler sorunluysa oluşturulan ağ yapısında öğrenme gerçekleşmeyebilir. Eğer eğitim uygun bir şekilde gerçekleştiyse oluşturulan ağ yapısının test edilmesi için "test seti" olarak ayrı bir veri seti bulundurulmaktadır. Oluşturulan test seti vasıtasıyla ağ yapısının doğruluğu kontrol edilmektedir. Eğer yeteri derecede doğruluk elde edilemiyorsa ağ yapısındaki girdiler, çıktılar, katman sayısı, toplama ve transfer fonksiyonları kontrol edilmelidir. Ağ tasarımındaki en önemli öğelerden biri eğitim algoritmalarıdır. Literatürde heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan Geri Yayılım (BBP), Hızlı Yayılım (QP), Levenberg-Marquardt (LM) vb. algoritmalar kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise eğitim algoritması olarak Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) algoritması (Nocedal ve Wright, 2006) kullanılmıştır.

2.2.6 Destek Vektör Makineleri (DVM)

Vapnik (1995) tarafından önerilen Destek Vektör Makineleri (DVM) yöntemi, son zamanlarda sınıflandırma ve regresyon analizlerinde de sıklıkla kullanılan bir veri madenciliği yöntemidir. Temeli istatistiksel öğrenme teorisine (Vapnik-Chervonenkis teorisi) dayanan DVM, iki sınıfa ait verilerin birbirinden optimum şekilde ayrılabilmesini sağlayan optimum hiperdüzlem bulunmasını amaçlar (Vapnik, 1995). İkili sınıflandırma çözümü için belirlenecek optimum hiperdüzlem, bu düzleme en yakın noktalar arasındaki

uzaklığın maksimum olacağı şekilde hizalanır. Hiperdüzlemin oluşturduğu sınırlarda yer alan noktalar destek vektörleri olarak adlandırılır. Bu yöntemin karmaşık veri kümelerini sınıflandırabilmesi ve çözümlerde iyi bir başarı göstermesi gibi önemli avantajları vardır. DVM'nin en büyük dezavantajı ise veri sayısı arttığında öğrenme işleminin uzun süreler almasıdır. DVM ile yapılan regresyon analizleri Destek Vektör Regresyonu (DVR) olarak isimlendirilmektedir. Destek Vektör Regresyonunda amaç belirlenen parametreler sayesinde öğrenme işleminin en iyi şekilde yapılması ve sonuç değer tahminlerinin doğru tahmin edilmesidir (Bican, 2014). Regresyon analizlerinde, sınıflandırmadan farklı olarak Eşitlik 2.19 ile birlikte Vapnik vd. (1998) tarafından tanımlanmış hata parametresi (ϵ) kullanılmaktadır.

$$f(x) = w \cdot x + b \quad (2.19)$$

Hata parametresi (ϵ) büyük ve küçük sapmalar arasındaki genişliği kontrol etmekle birlikte, parametre büyük olduğunda destek vektörlerin sayısı düşer ve öğrenme süresi kısalmış olur küçük olduğunda ise destek vektörlerin sayısı artar ve öğrenme süresi uzamış olur.

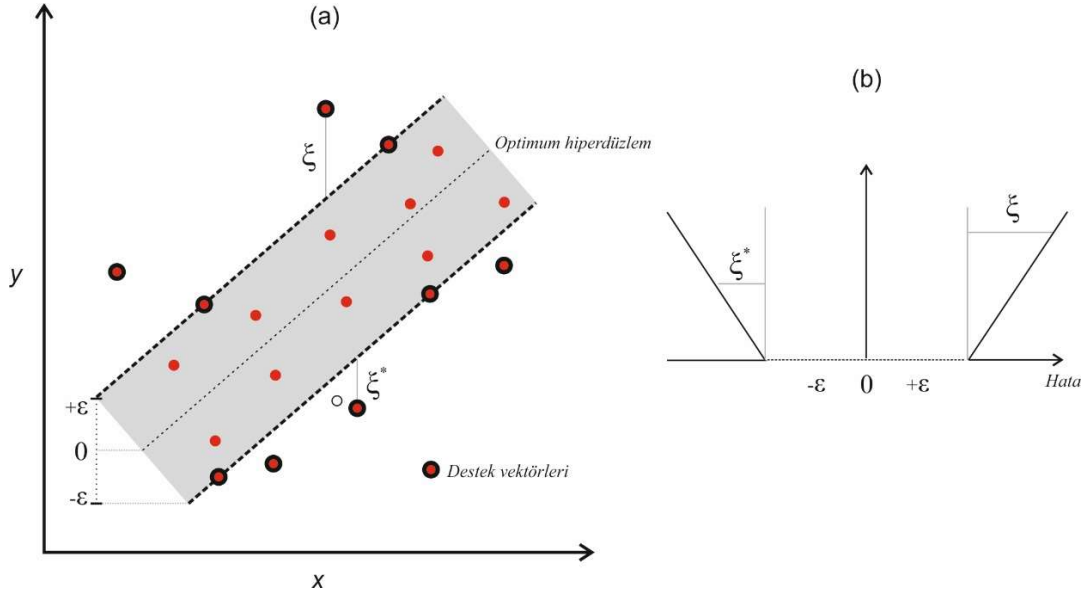
Regresyonda öğrenilen ve tahmin edilen değerler gerçek değerlere sahiptir. Girdi (öğrenilen) x_i ve çıktı (tahmin edilen) y_i olmak üzere aşağıdaki eşitlikte tanımlanır.

$$x_i \in R^N, y_i \in R^N \quad i = 1, \dots, n \quad (2.20)$$

Hedefteki sapma değerini (ϵ) iki yönde de temsil etmek için kara verici fonksiyon aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} y_i - w x_i - b &\leq \epsilon \\ \text{ve} & \\ -y_i + w x_i + b &\leq \epsilon \end{aligned} \quad (2.21)$$

Hata parametresi (ϵ) Vapnik (1998) tarafından aynı zamanda duyarsız kayıp fonksiyonu olarak da adlandırılmıştır. Şekil 2.6a'da bir veri kümesi içerisinde doğrusal DVR, Şekil 2.6b'de ise duyarsız kayıp fonksiyonu (ϵ) gösterilmiştir. Şekil 2.6'daki fonksiyon solda gösterilen sınırların dışında kalan noktaları cezalandırmak amacıyla kullanılır.



Şekil 2.6: DVR’de hiperdüzlemin belirlenmesi.

Destek vektör fonksiyonunda $f(x)$ fonksiyonu için hedefe uygun w ve b parametreleri belirlenerek tahminde bulunur. Bu fonksiyonda, w ağırlık vektörünü, b eğilim değerini göstermektedir.

$$\min \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n (\xi_i + \xi_i^*) \quad \xi_i, \xi_i^* \geq 0 \quad i = 1 \dots n \quad (2.22)$$

$$(wx_i + b) - y_i \leq \varepsilon + \xi_i \quad i = 1 \dots n \quad (2.23)$$

$$y_i - (wx_i + b) \leq \varepsilon + \xi_i \quad i = 1 \dots n \quad (2.24)$$

Langrange çarpanları ile dual problemin tanımı Eşitlik 2.25’de verilen şekliyle olur.

$$\sum_1^n y_i(a_i - a_j) - \varepsilon \sum_1^n y_i(a_i - a_j) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_i - a_j)(a_i - a_j)x_i^T x_j \quad (2.25)$$

$$\sum_{i=1}^n (a_i - a_j) = 0 \quad 0 \leq a_i, a_i \leq c \quad i = 1 \dots n \quad (2.26)$$

DVR’nin genel fonksiyonu ise aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır.

$$f(x) = \sum_{i=1}^n (a_i - a_j) K(x_i, x_j) \quad (2.27)$$

Yukarıdaki eşitlikte (K), çekirdek (Kernel) fonksiyonlarını ifade etmektedir. Çekirdek fonksiyonunun görevi verileri girdi olarak alarak gerekli forma dönüştürmektir. DVR algoritmasında Tablo 2.3’de de verildiği gibi Gaussian, Doğrusal, Polinom, Radyal Temel İşlevi (RBF), Sigmoid vb. gibi birçok farklı çekirdek fonksiyonu kullanılmaktadır. Hangi durumda hangi çekirdek fonksiyonunun seçileceğine dair analitik bir yöntem olmadığından uygun çekirdek fonksiyonu çalışılan veri kümesinin eğitim kısmında deneme yaparak bulunmaktadır.

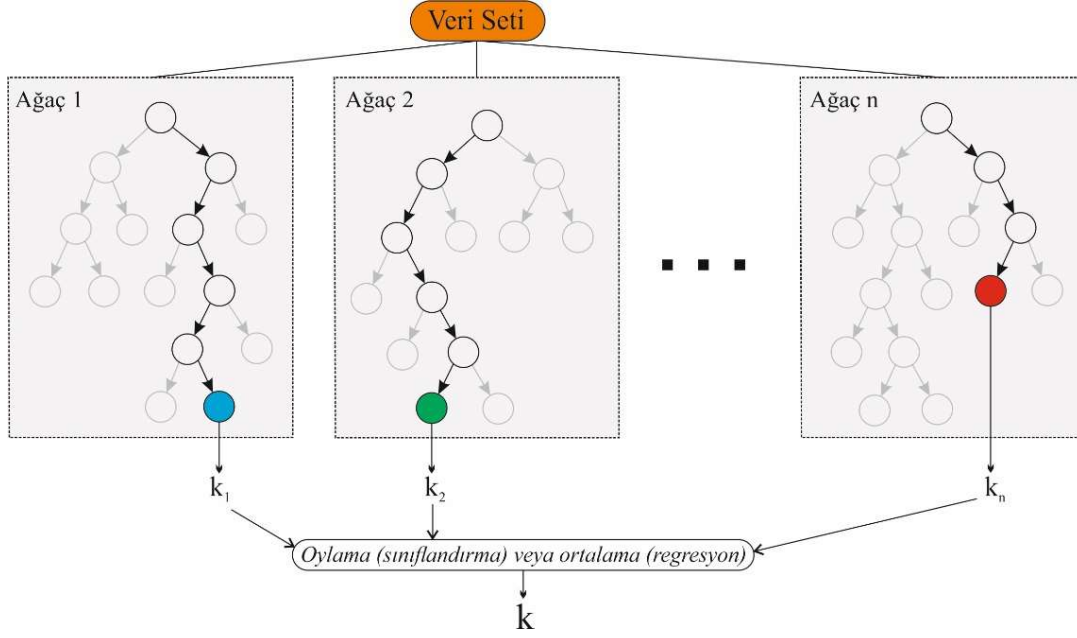
Tablo 2.3: Çekirdek fonksiyonları.

Çekirdek Fonksiyonunun İsmi	Matematiksel İfadesi
Gaussian çekirdek fonksiyonu	$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma \ x_i - x_j\ ^2)$
Doğrusal çekirdek fonksiyonu	$K(x_i, x_j) = x_i^T \cdot x_j$
Polinom çekirdek fonksiyonu	$K(x_i, x_j, c, d) = (c + x_i^T \cdot x_j)^d$
Radyal temel işlevi fonksiyonu	$K(x_i, x_j, \sigma) = e^{-\frac{\ x_i - x_j\ ^2}{2\sigma^2}}$
Sigmoidal çekirdek fonksiyonu	$K(x_i, x_j) = \tanh(kx_i \cdot x_j - \delta)$

2.2.7 Rastgele Orman Algoritması (Random Forest-RF)

Rastgele Orman Algoritması (RF) metodu, karmaşık sistemlere sahip sınıflandırma ve regresyon sorunlarının çözümlenmesinde sıklıkla kullanılan makine öğrenme yöntemlerinden biridir. Yöntemin temel işleyişi, rastgele seçilmiş çok sayıda ve çok değişkenli karar ağaçlarının her birinin farklı eğitim kümeleri ile eğitilmesi sonucu ortaya çıkan kararların birleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Breiman, 2001). Şekil 2.7’de temel çalışma prensibi gösterilen RF algoritması temelde bir karar ağacı algoritmasıdır.

RF algoritması için orijinal veri seti kullanılarak ormandaki her bir karar ağacının eğitilmesi amacıyla rastgele kümeler oluşturulmaktadır. Elde edilen kümelerin yaklaşık olarak %70’i karar ağacı yapısını oluşturmak için kullanılmaktayken kalan kısmı ise ağaç yapısının doğruluğunu test edebilmek için kullanılmaktadır.



Şekil 2.7: Rastgele orman algoritmasının temel çalışma prensibi.

Ormandaki her bir karar ağacı sınıflandırma sonucu bir oy alır ve orman içerisindeki tüm ağaçlardan en çok oy alan (en düşük hata oranına sahip) belirlenerek sınıflandırmaya esas ağaç yapısı tespit edilir. (Çölkesen, 2015).

Bu yöntemde kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken iki parametre mevcuttur. Bunlar; her düğümde kullanılacak olan örneklem sayısı ve oluşturulacak ağaç sayısıdır. RF algoritmasında ağaç sayıları n ile ifade edilmektedir. Algoritma bu n sayıda ağaçtan elde edilen n sayıda oy arasından en fazla oya veya ağırlığa sahip olan faktörü seçer (Çölkesen, 2015).

2.3 Heyelan Duyarlılık Analizlerinin Performans Değerlendirmesi

Heyelan duyarlılık analizleri sonucu elde edilen haritaların doğruluğunu değerlendirmek için kullanılan farklı performans analizleri mevcuttur. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının heyelanlı olan alanları ne doğrulukta tahmin edebildiğini ölçebilmek için bu analizler kullanılmaktadır. Yapılan literatür çalışmaları sonucunda heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde kullanılan yöntemlerin performans değerlendirme için en çok kullanılan yöntemin ROC eğrisi (Relative Operating Characteristic) olduğu belirlenmiştir.

ROC eğrisi, belirli bir eşik değere karşılık düşey ekseninde doğru pozitiflik (duyarlılık) yatay ekseninde ise yanlış pozitiflik oranı (1-özgüllük) değerlerinin yer aldığı bir eğridir. ROC

eğrisindeki belirli eşik değerlere karşılık hesaplanan bu değerler, pozitif ve negatif gözlemlerin ayrımını yapıp modelin performansını test etmektedir (Begueria, 2006). Analiz testinde pozitif ve negatif piksel tanımı belirlenen her bir eşik değeri için ayrı ayrı yapılmaktadır (Tablo 2.4). Örneğin belirlenen eşik değeri (duyarlılık puanı) 0,2 olsun; Analiz testinde bu eşik değeri için duyarlılık puanı 0,2 ve 0,2'nin üstünde olan pikseller pozitif (heyelanlı piksel), puanı 0,2'nin altında olan pikseller negatif piksel (heyelanlı olmayan piksel) olarak alınır. 0,2 eşik değeri için doğru pozitiflik (duyarlılık) ve yanlış pozitiflik oranı (1-özgüllük) değerleri hesaplanarak grafikte gösterilir. Bu çalışmada 100 adet eşik değer alınmış olup ROC eğrisinde her bir eşik değeri bir nokta ile ifade edilmiştir.

Tablo 2.4: Duyarlılık analizi sonucunda değerlendirme yapılırken karşılaşılabilecek durumlar.

		Gerçek Durum		
		Pozitif (Heyelanlı Piksel)	Negatif (Heyelan Olmayan Piksel)	Toplam
Analiz Testi Sonucu	Pozitif (Heyelanlı Piksel)	A (TP)	B (FP)	A + B
	Negatif (Heyelan Olmayan Piksel)	C (FN)	D (TN)	C + D
	Toplam	A + C	B + D	A+B+C+D

Tabloda; A: Gerçekte heyelanlı olup, analiz sonucuna göre de heyelanlı olan piksellerdir (Doğru pozitif, TP).

B: Gerçekte heyelanlı olmayıp, analiz sonucuna göre ise heyelanlı olan piksellerdir (Yanlış pozitif, FP).

C: Gerçekte heyelanlı olup, analiz sonucuna göre ise heyelanlı olmayan piksellerdir (Yanlış negatif, FN).

D: Gerçekte heyelan olmayıp, analiz sonucuna göre de heyelanlı olmayan piksellerdir (Doğru negatif, TN).

Duyarlılık (Sensitivity), gerçek heyelanlı pikselleri ayırma yeteneği olarak tanımlanabilir.

$$Duyarlılık = \frac{A}{A + C} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2.28)$$

Özgüllük (Specificity), gerçek heyelanlı olmayan pikselleri ayırma yeteneği olarak tanımlanabilir.

$$\text{Özgüllük} = \frac{D}{D + B} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (2.29)$$

Yanlış pozitif oranı (1 - Özgüllük), gerçekte heyelanlı olmayıp analizin heyelanlı çıkardığı piksellerdir.

$$1 - \text{Özgüllük} = \frac{B}{B + D} = \frac{FP}{FP + TN} \quad (2.30)$$

Genellikle doğru pozitiflik oranı arttıkça yanlış pozitif oranı da artmaktadır. Mükemmel bir performans sonucu için ROC eğrisi sol üst köşeye yakın olmalıdır. ROC eğrisinde (0,0) ve (1,1) noktalarını birleştiren bir referans çizgi mevcut olup bunun altında kalan AUC değeri ise 0,5'tir. ROC eğrisi altında kalan alan olarak tanımlanan AUC değeri performans analizinin sonucunu temsil etmektedir. Referans çizgisine yakın bir ROC eğrisi başarısız bir modeli temsil etmektedir. Başarılı bir modelin ortaya çıkabilmesi için genel olarak doğru pozitiflik oranının yüksek yanlış pozitiflik oranının ise düşük olması gerekmektedir (Tablo 2.5). AUC değerinin 1'e yakın değerler alması model performansının iyiye gittiğini göstermekteyken, 0,5'e yakın değerler alması da yetersiz performansa sahip olduğunu göstermektedir (Fawcett, 2006).

Tablo 2.5: AUC değerleri ile ROC modelinin doğruluk değerlendirmesi.

AUC (Eğri altında kalan alan)	Model Performansı
0,9-1	Mükemmel
0,8-0,9	Çok iyi
0,7-0,8	İyi
0,6-0,7	Ortalama
0,5-0,6	Yetersiz

3. HEYELAN TEHLİKE ANALİZİ

3.1 Heyelanların Zamansal Olasılığı

Heyelan duyarlılıktan sonra tehlike analizleri için ikinci adım olarak tanımlanan zamansal olabilirlik, heyelanları tetikleyen aşırı yağış, deprem, hızlı kar erimeleri vb. gibi faktörlerin analizleri sonucu elde edilmektedir. Çalışma alanında meydana gelen heyelanları aşırı yağışların tetiklediği düşünüldüğünden heyelanların zamansal olabilirliği yağış frekans analizleri sonucunda hesaplanmıştır.

Heyelan tehlike analizleri kapsamında zamansal olabilirlik iki türlü hesaplanmaktadır. Bunlardan ilki, sürekli olasılık yoğunluk fonksiyonlarını kullanarak tetikleyici faktörün tekrarlama periyodunu belirleyip en uygun dağılımı kullanarak istenilen zamanlar için en az 1 defa heyelan olma olasılığının bulunması şeklindedir. İkincisi ise çok zamanlı bir heyelan envanter haritası oluşturup heyelanların tekrarlama periyodunu bularak kesikli olasılık yoğunluk fonksiyonları ile istenilen zaman aralıkları için en az 1 defa heyelan olma olasılığının hesaplanması şeklinde gerçekleştirilir (Tekin, 2019).

Tez çalışması kapsamında heyelanların zamansal olabilirliği, elde edilen uzun yıllara ait maksimum yağış verileri üzerinden tekrarlama periyodu analizleri sonucu hesaplanmıştır. Gumbel, Log Gumbel, log-normal, genelleştirilmiş ekstrem değer, Pearson Tip 3 vb. olasılık yoğunluk fonksiyonları literatürde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında ise literatür araştırmaları ve yukarıdaki dağılımların kıyaslanması sonucunda yağış verilerinin analizi için Gumbel dağılımı kullanılmıştır.

Gumbel dağılımı; $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ şeklindeki bir örneklem üzerinde n tane rastgele değişkenin maksimum ve minimum değer dağılımları üzerinden yapılan bir modellemeye dayanmaktadır (Gumbel, 1958). Yıllık maksimum yağış ve akım gibi hidrolojik olayların olasılık analizlerinde iyi sonuçlar elde edebilmek için en az 10 yıllık maksimum değerlerine ihtiyaç vardır. Gumbel dağılımında x değerine eşit ya da daha büyük değere sahip olayın (örneğin; yağış miktarının) gerçekleşme olasılığı p aşağıdaki eşitlikte hesaplanmaktadır (Gumbel, 1958).

$$F(x) = p = 1 - \exp(-e^{-y}) \quad (3.1)$$

Burada y , indirgenmiş değişkeni ifade ederken aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$y = a (x - x_0) \quad (3.2)$$

Usul (2001)'e göre, denklemdaki a ; sabit bir değer olan saçılma parametresini, x ; p olma olasılığına sahip yağış değerini, x_0 ; dağılımın mod değerini ifade etmektedir. Denklemden yer alan a değeri, dağılımdaki N örneklem sayısının 30'dan küçük ve büyük olması koşuluyla iki farklı şekilde hesaplanmaktadır (Gumbel, 1958).

$$N < 30 \text{ için, } a = \frac{\sigma_n}{\sigma_x} \quad \text{ve} \quad x_0 = x_{ort} - \left(\bar{y}_n \frac{\sigma_n}{\sigma_x} \right) \quad (3.3)$$

$$N > 30 \text{ için, } a = \frac{1,28255}{\sigma_x} \quad \text{ve} \quad x_0 = x_{ort} - 0,45\sigma_x \quad (3.4)$$

Yukarıdaki denklemlerde x_{ort} ; örneklemelerin ortalama değerini, σ_x ; standart sapmayı ifade etmektedir. \bar{y}_n ve σ_n değerleri ise Tablo 3.1'de verilen Fisher Tippett I tablosundan N değerine göre elde edilmektedir.

Tablo 3.1: Gumbel Dağılımı (Fisher Tippett I) N değerine karşılık gelen \bar{y}_n ve σ_n sabitleri.

N	\bar{y}_n	σ_n	N	\bar{y}_n	σ_n	N	\bar{y}_n	σ_n
8	0,4843	0,9043	35	0,5403	1,1285	64	0,5533	1,1793
9	0,4902	0,9288	36	0,5410	1,1313	66	0,5538	1,1814
10	0,4952	0,9497	37	0,5418	1,1339	68	0,5543	1,1834
11	0,4996	0,9676	38	0,5424	1,1363	70	0,5548	1,1854
12	0,5035	0,9833	39	0,5430	1,1388	72	0,5552	1,1873
13	0,5070	0,9972	40	0,5436	1,1413	74	0,5557	1,1890
14	0,5100	1,0095	41	0,5442	1,1436	76	0,5561	1,1906
15	0,5128	1,0206	42	0,5448	1,1458	78	0,5565	1,1923
16	0,5157	1,0316	43	0,5453	1,1480	80	0,5569	1,1938
17	0,5181	1,0411	44	0,5458	1,1499	82	0,5572	1,1953
18	0,5202	1,0493	45	0,5463	1,1519	84	0,5576	1,1967
19	0,5220	1,0566	46	0,5468	1,1538	86	0,5580	1,1980
20	0,5236	1,0628	47	0,5473	1,1557	88	0,5583	1,1994
21	0,5252	1,0696	48	0,5477	1,1574	90	0,5586	1,2007
22	0,5268	1,0754	49	0,5481	1,1590	92	0,5589	1,2020
23	0,5283	1,0811	50	0,5485	1,1607	94	0,5592	1,2032
24	0,5296	1,0864	51	0,5489	1,1623	96	0,5595	1,2044
25	0,5309	1,0915	52	0,5493	1,1638	98	0,5598	1,2055
26	0,5320	1,0961	53	0,5497	1,1653	100	0,5600	1,2065
27	0,5332	1,1004	54	0,5501	1,1667	150	0,5646	1,2253
28	0,5343	1,1047	55	0,5504	1,1681	200	0,5672	1,2360
29	0,5353	1,1086	56	0,5508	1,1696	250	0,5688	1,2429
30	0,5362	1,1124	57	0,5511	1,1708	300	0,5699	1,2479

Tablo 3.1 (devam)

N	\bar{y}_n	σ_n	N	\bar{y}_n	σ_n	N	\bar{y}_n	σ_n
31	0,5371	1,1159	58	0,5515	1,1721	400	0,5714	1,2545
32	0,5380	1,1193	59	0,5518	1,1734	500	0,5724	1,2588
33	0,5388	1,1226	60	0,5521	1,1747	750	0,5738	1,2651
34	0,5396	1,1255	62	0,5527	1,1770	1000	0,5745	1,2685

Yıllık en büyük yağış miktarları verildiğinde yukarıdaki p değeri belirli bir yağış miktarının bir yıldaki aşılma olasılığını vermektedir. Bu p değerinden yararlanılarak belli süreler içerisinde (N yılda) söz konusu belirli yağış miktarının aşılma olasılığı ($Pr(N)$) aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Lee vd., 2021).

$$Pr(N) = \sum_{t=1}^N (1-p)^{t-1} p = 1 - (1-p)^N \quad (3.5)$$

3.2 Heyelanların Alansal Olasılığı

Heyelanların alansal olasılığı, kendiliğinden meydana gelen doğa olaylarının hangi büyüklükte olacağını tahmin etme amacı ile frekans-büyüklik dağılımları ile ilişkilendirilerek hesaplanmaktadır. Malamud vd., (2004) üssel kanun dağılımını kullanarak olaylar arasındaki sıklık-alan ilişkilerinden elde ettiği değeri, en az bir olayın olma olasılığını aşağıdaki işlem adımlarını takip ederek hesaplamıştır.

$$p(A_L) = \frac{1}{N_{LT}} \frac{\delta N_L}{\delta A_L} \quad (3.6)$$

$p(A_L)$ olasılık yoğunluk fonksiyonunu, N_{LT} heyelan envanterindeki toplam heyelan sayısını, δN_L dikkate alınan heyelan alan sınıfındaki heyelan sayısını, δA_L ise dikkate alınan heyelan sınıfının alt sınır değerini ifade etmektedir.

Olasılık yoğunluk fonksiyonu-heyelan alanı grafiğindeki noktalardan geçen en uygun eğri aşağıda verilen üç parametrelili ters gamma fonksiyonu ile elde edilmektedir.

$$p(A_L; \rho, a, s) = \frac{1}{a\Gamma(\rho)} \left[\frac{a}{A_L - s} \right]^{\rho+1} \exp \left[-\frac{a}{A_L - s} \right] \quad (3.7)$$

Üç parametrelili ters gamma olasılık dağılımında a , maksimum olasılığın konumunu kontrol eden parametre, ρ orta ve büyük ölçekli heyelanları kontrol eden parametre, s küçük ölçekli heyelanları kontrol eden parametre, Γ ise gamma fonksiyonunu ifade etmektedir.

$$A_{LT} = N_{LT} \bar{A}_L = \left(\frac{a}{\rho - 1} + s \right) N_{LT} \quad (3.8)$$

A_{LT} heyelan envanterindeki heyelanların toplam alanı, \bar{A}_L heyelanların ortalama alanını ifade etmektedir. Dikkate alınan alana (A_L) eşit veya daha büyük heyelan alanlarının kümülatif değeri (A_{LC}) aşağıda verilen formül yardımıyla bulunmaktadır. Olasılık yoğunluk fonksiyonu-heyelan alanı grafiğinde noktalara uydurulan en uygun ters gamma fonksiyon eğrisi ile elde edilen parametreler kullanılarak söz konusu integral nümerik olarak hesaplanmaktadır.

$$A_{LC}(\geq A_L) = \frac{N_{LT}}{a\Gamma(\rho)} \int_{A_L}^{\infty} \left[\frac{a}{A_L - s} \right]^{\rho+1} \exp \left[-\frac{a}{A_L - s} \right] A_L dA_L \quad (3.9)$$

Dikkate alınan alana eşit veya daha büyük alana sahip bir heyelanın meydana gelme olasılığı ise $A_{LC}(\geq A_L)/A_{LT}$ formülüyle bulunmaktadır.

4. BULGULAR

4.1 Heyelan Envanter Çalışmaları

Heyelan envanteri, bir bölgede yer alan heyelanlarla ilgili konum, tür, aktivite vb. heyelan özelliklerini tanımlayan bilgilerin yer aldığı veritabanı olarak tanımlanmaktadır (Fell vd., 2008). Heyelan duyarlılık ve sonrasında tehlike analizlerini ortaya koyabilmek için nitelikli bir heyelan envanteri olmazsa olmazdır. Çünkü heyelan oluşumuyla ilgili genel varsayım, gelecekte olabilecek heyelanların geçmişte olmuş heyelanlara benzer şartlar altında gelişebileceği şeklindedir (Varnes, 1984; Carrara vd., 1995).

Çalışma alanının heyelan envanter haritasını oluşturabilmek amacıyla ilk olarak AFAD Çanakkale İl Müdürlüğü'nden geçmiş heyelanlara ait veri talebinde bulunulmuş ancak yeterli düzeyde veri elde edilememiştir. Dolayısıyla çalışma alanının heyelan envanter haritasının hazırlanmasında; saha çalışmalarından, Google Earth programından ve MTA Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış 1/500.000 ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri'nden yararlanılmıştır.

Heyelan envanter haritasını hazırlayabilmek için yürütülen saha çalışmaları iki farklı dönemde yapılmıştır. İlk saha çalışması döneminde çalışma alanının kuzeyinde bulunan Lapseki-Subaşı civarından başlanarak güneye doğru Yapıldak köyüne kadar olan kısım çalışılmış, ikinci dönemde ise güney kesimler çalışılarak saha çalışmaları tamamlanmıştır. Bu çalışmalarda 1/25.000 ölçekli MTA Jeoloji Haritaları, MTA Türkiye Heyelan Envanter Haritası ve Harita Genel Müdürlüğü'nün 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalarından faydalanılmıştır.

Saha çalışmaları kapsamında haritalaması yapılan her bir heyelan için literatürden de yararlanılarak oluşturulan "Heyelan Veri Formu" doldurulmuş ve heyelanlara ait gözlemlenebilen konumu, hareketin türü, malzemesi, aktivite türü vb. özellikleri kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.1). Yürütülen bu saha çalışmaları sonucunda; yerel halktan, eski kayıtlardan, internette yer alan haberlerden, MTA Heyelan Envanteri'nden ve yapılan gözlemlerden faydalanılarak toplamda 75 adet heyelan haritalanmıştır.

HEYELAN VERİ FORMU						
Heyelan No	112071-57		TARİH:	12.08.2014		
Fotoğraf No	112071-57					
Bölgesi	Karaman		Geometrik Özellikler			
Heyelan Oluşum Tarihi	-		Uzunluk (L) M	1200		
Kilometre Mevkii	-		Genişlik (D) M	200		
Koordinatları	X	0425055	Tahmini Derinlik M	1200		
	Y	4667472	Düşüm Miktarı M			
	Z	135				
Su Durumu	Kuru	Nemli	Islak	Akış	Sürekli Akış	
YAS	<input checked="" type="checkbox"/>					
Yüzey	<input checked="" type="checkbox"/>					
Bitki Örtüsü	Çok Yoğun	Yoğun	Orta	Seyrek	Yok	
			<input checked="" type="checkbox"/>			
	Aktifite	Aktif	Potansiyel	Eski	Gizli	Diğer
				<input checked="" type="checkbox"/>		
	Aktifite Şekli	Karmaşık	Bileşik	Çoklu	Tekil	Diğer
	<input checked="" type="checkbox"/>					
Hareketin Türü	Kaya		Zemin		Moloz	
			<input checked="" type="checkbox"/>			
	Düşme	Devrilme	Kayma	Yayıma	Akma	
			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
					<input checked="" type="checkbox"/>	
Ek Açıklama: Eski bir yapıya eski çimento ile kayma derinliği 300 cm'ye kadar kazılarak su geçirilerek hareketin yalıtılması sağlanmıştır. 112071 112076 ekleri						

HEYELAN VERİ FORMU						
Heyelan No	11		TARİH:	14.08.2014		
Fotoğraf No	Karaman					
Bölgesi	Karaman		Geometrik Özellikler			
Heyelan Oluşum Tarihi	-		Uzunluk (L) M	200		
Kilometre Mevkii	-		Genişlik (D) M	200		
Koordinatları	X	0425055	Tahmini Derinlik M	1200		
	Y	4667472	Düşüm Miktarı M			
	Z	135				
Su Durumu	Kuru	Nemli	Islak	Akış	Sürekli Akış	
YAS	<input checked="" type="checkbox"/>					
Yüzey	<input checked="" type="checkbox"/>					
Bitki Örtüsü	Çok Yoğun	Yoğun	Orta	Seyrek	Yok	
			<input checked="" type="checkbox"/>			
	Aktifite	Aktif	Potansiyel	Eski	Gizli	Diğer
				<input checked="" type="checkbox"/>		
	Aktifite Şekli	Karmaşık	Bileşik	Çoklu	Tekil	Diğer
	<input checked="" type="checkbox"/>					
Hareketin Türü	Kaya		Zemin		Moloz	
			<input checked="" type="checkbox"/>			
	Düşme	Devrilme	Kayma	Yayıma	Akma	
			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
					<input checked="" type="checkbox"/>	
Ek Açıklama: Karaman köyü eski çimento ile yapılan yapıya eski çimento ile bir katman kayma derinliği 300 cm'ye kadar kazılarak su geçirilerek hareketin yalıtılması sağlanmıştır. 112071 112076 ekleri						

Şekil 4.1: Saha çalışmalarında heyelanlar için doldurulan Heyelan Veri Formu örnekleri.

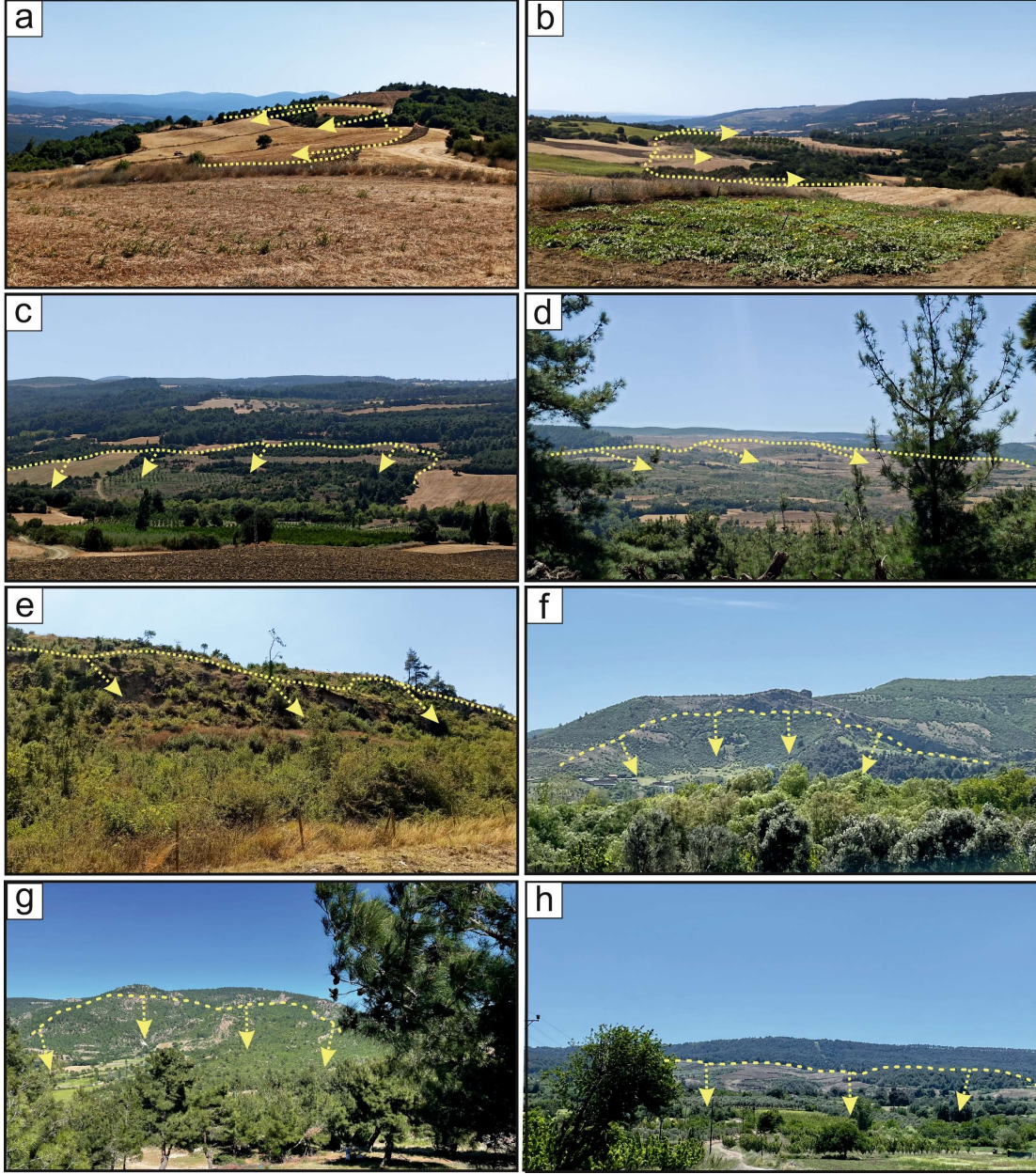
Çalışma alanı kuzeyinde yer alan Subaşı köyü ve İlyasköy civarında çok sayıda göreceli küçük ölçekli heyelan tespit edilmiştir (Şekil 4.2). Yerel halktan alınan bilgiye göre; Subaşı köyü yerleşim yerinin 1960'ların ortalarında sürekli gelişen heyelan olayları nedeniyle daha kuzeye şu anki yerine taşındığı öğrenilmiştir. Eski köy yerinde gözlemlenen heyelanların, Çanakkale formasyonunun Çamrkdere ve Kirazlı Üyeleri'ne ait çakıtaşı, kumtaşı, marn, kıltaşı birimlerinde oluştuğu tespit edilmiştir. Özellikle yoğun kar ve yağmur altında bölgedeki heyelanların harekete geçtiği tespit edilmiştir.

Lapseki ilçe merkezinin güney kesimlerinde de heyelanlı bölgeler tespit edilmiştir. Lapseki-Çanakkale otoyolundan Kocaveli-İlyasköy sapağına yakın kesimlerde haritalanan heyelanlar vadi yamaçları boyunca gelişmiştir (Şekil 4.2). Genellikle bölgede Çamrkdere üyesine ait kumtaşı, marn, kıltaşı ardalanması biriminde gelişen heyelanlar genellikle vadi yamaçlarında ve bitki örtüsünün çok yoğun olmadığı kesimlerde gözlenmiştir.

Çalışma alanında Umurbey'in güneyi, Musaköy ve Yapıldak Köyü civarları, Kemalköy, Kurşunlu, Sarıcaeli, Ulupınar, Saraycık ve en güney kesimde Taşlıtarla Köyü civarlarında birçok heyelan haritalanmıştır (Şekil 4.3). Haritalanan 75 heyelanın her biri için gözlemlenebilen özellikleri dahilinde veri formu doldurulmuştur. Saha çalışmalarının tamamlanmasının ardından heyelan envanter veritabanının oluşturulması için büro çalışmaları yürütülmüştür.



Şekil 4.2: Çalışma alanında haritalanan; a) 7, b) 9, c) 10, d) 12, e) 15, f) 16, g) 17, h) 20, i) 21, j) 28 numaralı heyelanlara ait görüntüler (Tablo 4.1).



Şekil 4.3: Çalışma alanında haritalanan; a) 23, b) 27, c) 43, d) 44, e) 45, f) 64, g) 70, h) 75 numaralı heyelanlara ait görüntüler (Tablo 4.1).

Büro çalışmaları kapsamında, Excel formatında bir dosya aracılığıyla heyelanlara ait tespit edilebilen özellikleri kapsayan bir veritabanı oluşturulmuştur. Saha çalışmaları boyunca 75 farklı heyelan için doldurulmuş olan heyelan veri formlarından yararlanılarak bu veritabanı doldurulmuştur. Heyelan numarası, lokasyon, fotoğraf numarası, koordinatları, malzeme türü, hareket türü, heyelan boyut özellikleri, su durumu ve gerekliyse özel açıklamalar dahil olmak üzere saha çalışmalarında gözlemlenebilen tüm özellikler bu veritabanında

kaydedilmiştir. Oluşturulan bu veritabanında yer alan bilgilerin bir kısmı Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Çalışma alanında haritalanan heyelanlara ilişkin birtakım bilgiler.

	Lokasyon	Malzeme Türü	Litoloji	Hareket türü	u (m)	g (m)
1	Subaşı	Kaya	Kumtaşı-Çakıltaşı	Dönel kayma	370	350
2	Subaşı	Kaya	Kumtaşı-Çakıltaşı	Dönel kayma	380	850
3	Eski Subaşı	Toprak	Kumtaşı-Marn-Kıltaşı	Dönel kayma	300	300
4	Eski Subaşı	Toprak	Kumtaşı	Karmaşık	100	280
5	Eski Subaşı	Toprak	Kumtaşı	Dönel kayma	150	220
6	Eski Subaşı	Toprak-Kaya	Kireçtaşı-Kumtaşı	Karmaşık	600	350
7	Subaşı-İlyasköy	Toprak-Kaya	Kumtaşı-Marn-Kıltaşı	Dönel kayma	150	450
8	İlyasköy-Subaşı	Kaya	Kumtaşı-Marn	Dönel kayma	200	200
9	İlyasköy-Subaşı	Toprak	Kumtaşı-Marn	Akma	180	300
10	İlyasköy-Subaşı	Toprak	Kumtaşı	Akma	180	200
11	Kocaveli	Toprak	Kumtaşı-Marn	Akma	200	200
12	Kocaveli	Kaya	Kireçtaşı	Düzlemsel kayma	80	100
13	Subaşı	Toprak	Kumtaşı-Çakıltaşı	Dönel kayma	150	400
14	İlyasköy	Toprak	Kireçtaşı-Kumtaşı-Marn	Dönel kayma	150	300
15	İlyasköy	Toprak	Kireçtaşı-Kumtaşı-Marn	Dönel kayma	150	150
16	Murcuklar	Kaya	Kireçtaşı-Kumtaşı-Marn	Dönel kayma	200	400
17	İlyasköy	Kaya	Kireçtaşı-Kumtaşı-Marn	Dönel kayma	160	150
18	İlyasköy	Kaya	Kireçtaşı	Düzlemsel kayma	120	170
19	Yenicceköy	Kaya	Kumtaşı-Çakıltaşı	Karmaşık	150	150
20	Kaplan Tepe	Toprak	Kumtaşı-Marn	Dönel Kayma	150	250
21	Kaplan Tepe	Toprak-Kaya	Kumtaşı-Marn	Karmaşık	100	700
22	Lapseki	Kaya	Kumtaşı-Çakıltaşı	Dönel kayma	100	600
23	Oylukbeleni	Toprak	Kireçtaşı	Akma	250	200
24	Kise Tepe	Toprak	Kireçtaşı	Akma	250	350
25	Kızılkaya Tepe	Kaya	Kireçtaşı-Kumtaşı-Marn	Dönel kayma	230	350
26	Kızılkaya Tepe	Kaya	Kireçtaşı-Kumtaşı-Marn	Dönel kayma	300	230
27	Kise Tepe	Toprak	Kumtaşı	Akma	220	300
28	Oylukbeleni	Toprak	Kireçtaşı	Akma	200	450
29	Kocveli-Subaşı	Toprak	Kumtaşı	Dönel kayma	400	700
30	Kocaveli	Kaya	Kumtaşı-Marn	Dönel kayma	160	200
31	Kocaveli	Kaya	Kumtaşı-Marn-Kıltaşı	Dönel kayma	200	300
32	Suluca Köyü	Toprak	Kumtaşı-Marn-Kıltaşı	Dönel kayma	100	300
33	Suluca	Toprak	Kumtaşı-Marn-Kıltaşı	Dönel kayma	200	400
34	Gökköy	Kaya	Kumtaşı-Marn-Kıltaşı	Dönel kayma	150	250
35	Umurbey Yolu	Kaya	Kireçtaşı	Karmaşık	200	400
36	Umurbey Çayı	Toprak	Kireçtaşı	Akma	700	1000
37	Kazkıran Tepe	Toprak	Kumtaşı-Kireçtaşı	Karmaşık	500	800
38	Sindal Köyü	Kaya	Kumtaşı	Dönel kayma	500	800
39	Umurbey	Kaya	Kireçtaşı	Dönel kayma	80	90
40	Kangırlı	Kaya	Kumtaşı-Çakıltaşı	Düzlemsel kayma	200	400

Tablo 4.1 (devam)

	Lokasyon	Malzeme Türü	Litoloji	Hareket türü	u (m)	g (m)
41	Yapıldak	Kaya	Kireçtaşı-Kumtaşı-Marn	Dönel kayma	250	350
42	Yapıldak	Kaya	Kumtaşı-Marn-Kiltaşı	Karmaşık	150	120
43	Yapıldak	Toprak	Kireçtaşı	Akma	450	800
44	İğdelik Köyü	Toprak	Kumtaşı-Marn-Kiltaşı	Karmaşık	750	1000
45	İğdelik Köyü	Kaya	Kumtaşı-Marn-Kiltaşı	Dönel kayma	110	280
46	Yapıldak	Toprak	Kireçtaşı-Kumtaşı-Marn	Karmaşık	220	800
47	Yapıldak	Kaya	Kireçtaşı	Dönel kayma	450	520
48	Musaköy	Toprak	Kiltaşı-Marn	Karmaşık	400	750
49	Musaköy	Toprak	Kumtaşı-Marn-Kiltaşı	Karmaşık	450	750
50	Kemalköy	Kaya	Volkanik	Akma	500	1000
51	Okçular	Kaya	Volkanik	Dönel kayma	400	800
52	Musaköy	Kaya	Kumtaşı-Marn-Kiltaşı	Dönel kayma	450	600
53	Kemalköy	Kaya	Kireçtaşı-Kumtaşı-Marn	Dönel kayma	250	800
54	Kemalköy	Toprak	Kumtaşı-Marn-Kiltaşı	Akma	350	500
55	Kızılcıören	Kaya	Kumtaşı-Marn-Kiltaşı	Dönel kayma	250	300
56	Kızılcıören	Kaya	Kumtaşı-Marn-Kiltaşı	Dönel kayma	100	400
57	Taşlıtarla	Kaya	Kumtaşı	Karmaşık	200	700
58	Kızılcıören	Toprak	Kumtaşı	Akma	100	100
59	Kızılcıören	Toprak	Kumtaşı	Akma	150	200
60	Ulupınar	Kaya	Kumtaşı-Marn	Dönel kayma	250	400
61	Ulupınar	Kaya	Kumtaşı-Marn	Dönel kayma	100	400
62	Yağcılar	Toprak	Marn	Dönel kayma	200	750
63	Ulupınar	Kaya	Kumtaşı-Marn	Karmaşık	800	1200
64	Saraycık	Kaya	Volkanik	Dönel kayma	200	400
65	Saraycık	Kaya	Volkanik	Dönel kayma	100	100
66	Saraycık	Kaya	Volkanik	Dönel kayma	150	200
67	Saraycık	Kaya	Volkanik	Dönel kayma	100	200
68	Sarıcaeli	Kaya	Kumtaşı-Marn-Kiltaşı	Dönel kayma	150	250
69	Sarıcaeli	Kaya	Kumtaşı-Marn-Kiltaşı	Dönel kayma	100	100
70	Kayadere	Kaya	Volkanik	Karmaşık	600	900
71	Kayadere	Kaya	Volkanik	Karmaşık	800	1500
72	Kepez	Kaya	Kumtaşı-Marn-Kiltaşı	Karmaşık	700	1000
73	Yağcılar	Kaya	Kumtaşı-Marn-Kiltaşı	Karmaşık	1000	1300
74	Kemalköy	Kaya	Kumtaşı-Marn-Kiltaşı	Karmaşık	200	1200
75	Sarıcaeli	Toprak	Kireçtaşı	Karmaşık	250	1000

Çalışma alanında haritalaması yapılan heyelanların toplam alansal yayılımı 28,73 km² (%6,64) olup, en küçük boyutlu heyelan 0,031 km², en büyüğü ise yaklaşık 3,2 km²lik yayılıma sahiptir. Heyelanların yaklaşık %52'si kütleli olarak gerçekleşen dönel kayma türünde heyelanlar olup, %25'i karmaşık, %17'si akma ve yaklaşık %6'sı da düzlemsel kayma türünde gerçekleşen heyelanlar olarak tanımlanmıştır. Heyelanların alansal olarak büyüklüğünün de önemi düşünüldüğünde her bir heyelan için ölçülen yaklaşık uzunluk ve

4.2 Çalışma Alanının Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretiminde Kullanılan Parametreler

4.2.1 Yamaç Eğimi

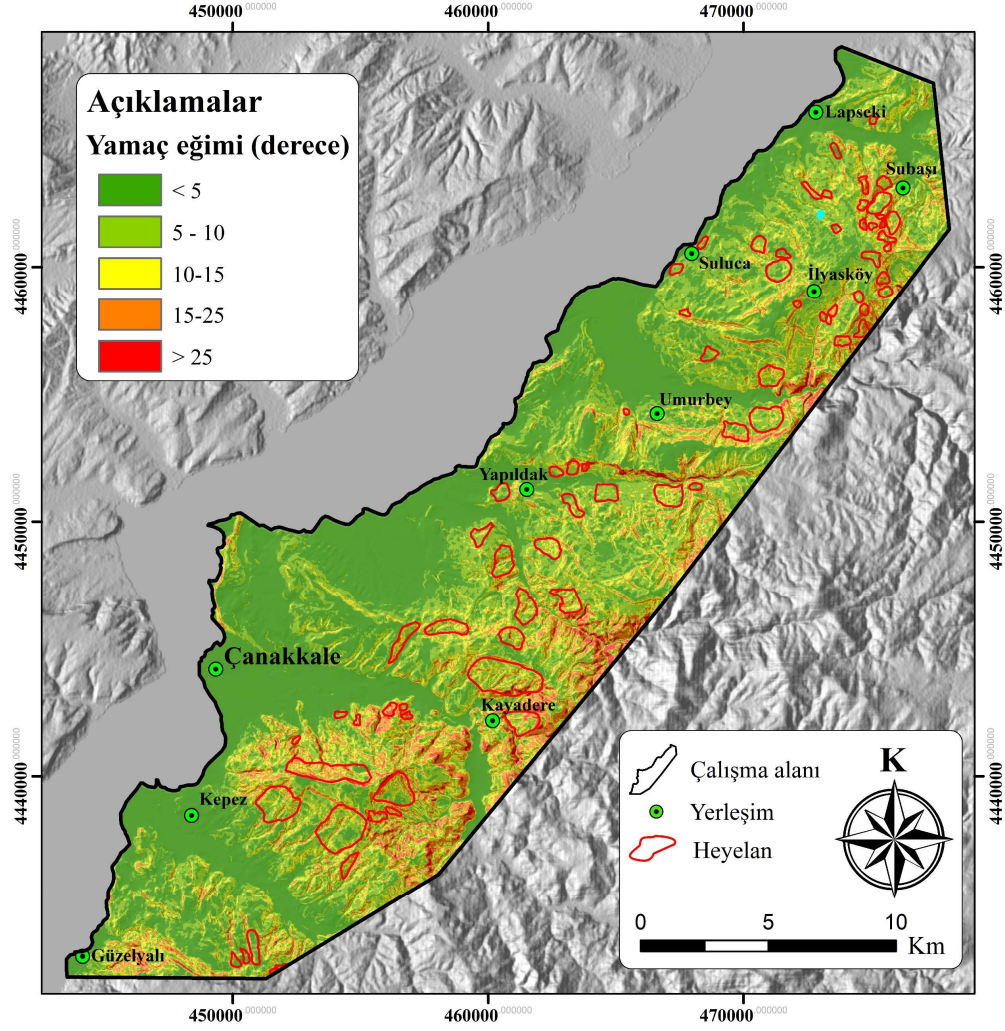
Yamaç eğimi, heyelan duyarlılık çalışmalarının neredeyse tamamında kullanılan bir girdi parametresidir. Bu parametre ile ilgili genel eğilim, eğim arttıkça heyelan karşı duyarlılığın da artacağı yönündedir. Genellikle toprak zeminlerde kaymaların meydana gelmesi için zemin kalınlığının 1-2 m seviyelerinde olması gerekmektedir. Bir bölgede zemin türü malzemelerde meydana gelebilecek kaymalar için yapılacak heyelan duyarlılık haritası çalışmasında, yamaç eğimleri titizlikle değerlendirilmelidir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Heyelanların duyarlılığı eğim açısıyla birlikte artmaktadır; ancak eğim açısının dike yaklaştığı bölgelerde heyelanlar nadiren gözlenir. Bunun nedeni bu tür yerlerde erozyon sebebiyle toprak birikiminin olmaması olarak değerlendirilebilir (Gomez vd., 2005).

Yamaç eğimi haritalarının, arazi şartlarının farklılığından dolayı kullanılan standart bir sınıflaması yoktur. Çalışmalarda topoğrafya özelliklerine uygun şekilde eğim haritaları sınıflandırılmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada da saha koşullarına uygun şekilde bir sınıflandırma yapılmıştır.

Eğim haritasının üretilmesinde SYM kullanılmıştır. (Şekil 4.5). En yüksek eğim değeri 46° derece olmasına rağmen bu değerlere yakın eğime sahip çok az bölge vardır. Dolayısıyla sınıflama $<5^{\circ}$, $5^{\circ}-10^{\circ}$, $10^{\circ}-15^{\circ}$, $15^{\circ}-25^{\circ}$ ve $>25^{\circ}$ şeklinde 5 alt sınıfa ayrılarak oluşturulmuştur. Her bir alt sınıf için alansal yayılım Tablo 4.2’de verilmiştir.

Hesaplanan heyelan yoğunluğu değerlerine bakıldığında heyelanlı alanlar sırasıyla $10^{\circ}-15^{\circ}$ (%28,16), $15^{\circ}-25^{\circ}$ (%26,45), $5^{\circ}-10^{\circ}$ (%20,83), $>25^{\circ}$ (%20,12) alt sınıflar içerisinde dağılım göstermiştir. Eğim derecesi 5’ten küçük olan kısımlarda ise heyelan yoğunluğu %4,44 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5: Çalışma alanına ait yamaç eğimi haritası.

Tablo 4.2: Çalışma alanında yamaç eğimi alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.

Eğim (°)	Alansal dağılım (m ²) A	Heyelanlı alanlardaki dağılım (m ²) B	%A	%B	B/A	Heyelan yoğunluğu (%)
<5	182199600	3439800	42,16	11,97	0,28	4,44
5-10	132305400	11716200	30,62	40,78	1,33	20,83
10-15	68725800	8228700	15,90	28,64	1,80	28,16
15-25	43216200	4859100	10,00	16,91	1,69	26,45
>25	5704200	487800	1,32	1,70	1,29	20,12
Toplam	432151200	28731600	100,00	100,00	6,39	100,00

4.2.2 Bakı

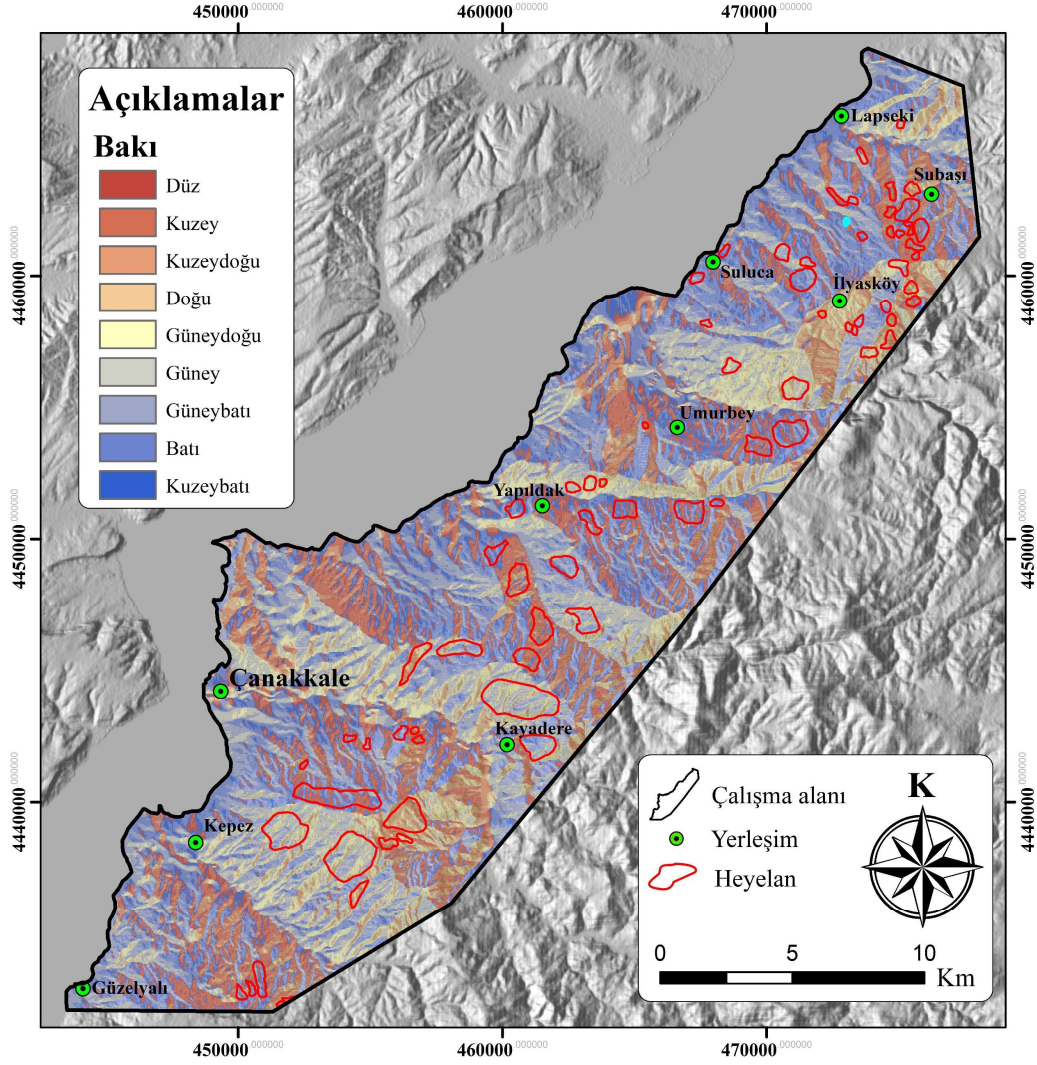
Yamaçların kuzeyle yaptığı açının azimut olarak değeri olan bakı heyelan duyarlılık analizlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bakı ile heyelan duyarlılığı arasındaki ilişkiye dair bir fikir birliği sağlanamasa da birçok araştırmacı yaptıkları istatistiksel çalışmalar neticesinde heyelanların çoğunlukla belli yönelimdeki yamaçlarda gerçekleştiğini ortaya koymuşlardır.

Genel olarak heyelanların belli yönelimdeki yamaçlarda yoğunlaşmasının sebepleri, çalışma bölgesinin genel morfolojik özelliklerinin yanında bölgenin genel yağış yönü ve güneş ışığını daha fazla alması gibi olaylarla da yakın ilgilidir. Yoğun yağış alan yamaçlar, topoğrafik 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, egemen yönelimin dışındaki yönelimlere sahip yamaçlara oranla doygunluğa daha çabuk ulaşmakta ve zemin içerisinde daha yüksek gözenek suyu basınçlarının gelişmesine neden olmaktadır. Bu olayın daha yoğun yağış alan yamaçları heyelana karşı daha duyarlı hale getirebilmesi mümkündür (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Bakı haritasında genel kullanıma uygun olarak 9 alt sınıf belirlenmiş ve SYM kullanılarak bakı haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.6). Söz konusu alt sınıfların alansal dağılımı ve heyelanların yoğunlukları hesaplanmış ve Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3: Çalışma alanında yamaç yönelimi (bakı) alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.

Bakı	Alansal dağılım (m ²)	Heyelanlı alanlardaki dağılım (m ²)	%A	%B	B/A	Heyelan yoğunluğu (%)
0-22.5	33717600	2135700	7,80	7,43	0,95	10,00
22.5-67.5	45291600	2500200	10,48	8,70	0,83	8,71
67.5-112.5	29617200	2142000	6,85	7,46	1,09	11,42
112.5-157.5	29106900	2948400	6,74	10,26	1,52	15,99
157.5-202.5	40300200	3996000	9,33	13,91	1,49	15,65
202.5-247.5	53026200	3994200	12,27	13,90	1,13	11,89
247.5-292.5	69045300	3825000	15,97	13,32	0,83	8,74
292.5-337.5	89535600	4666500	20,72	16,24	0,78	8,23
337.5-360	42510600	2523600	9,84	8,78	0,89	9,37
Toplam	432151200	28731600	100,00	100,00	9,51	100,00

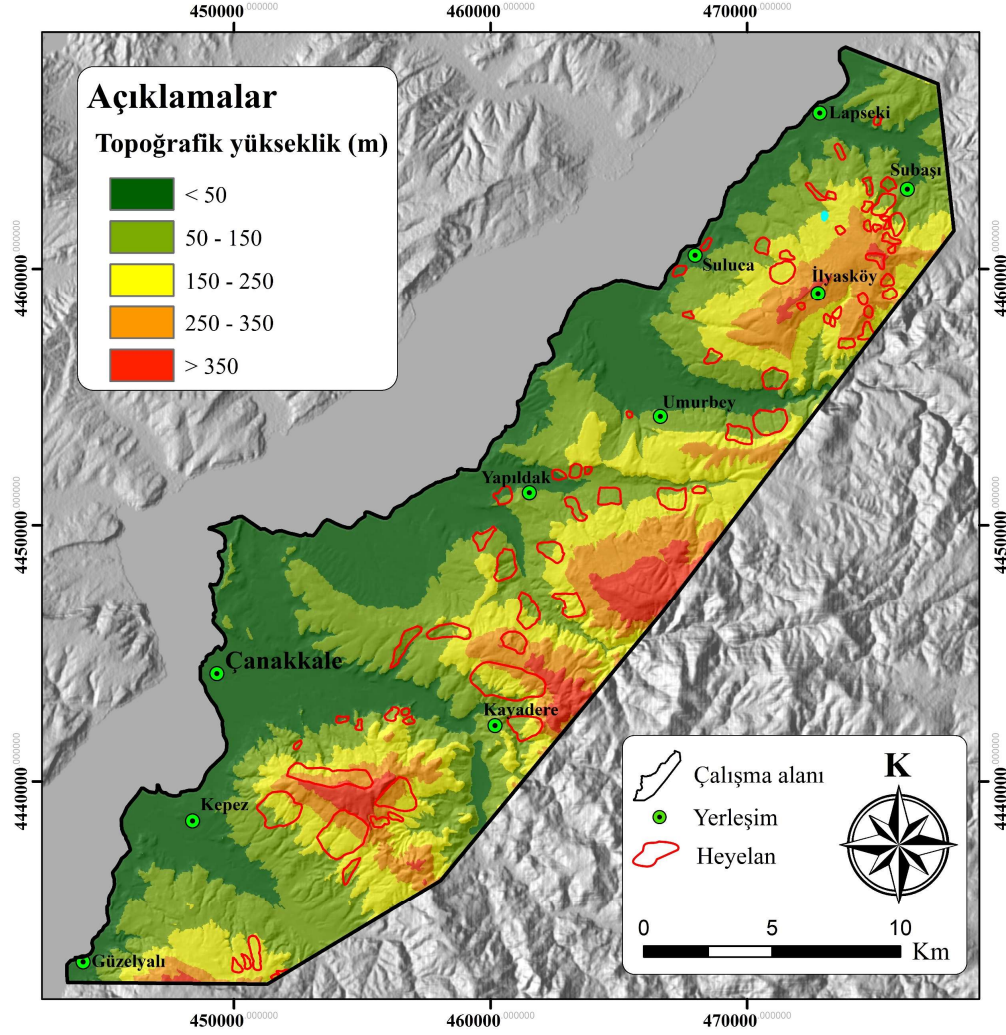


Şekil 4.6: Çalışma alanına ait bakı haritası.

4.2.3 Topoğrafik Yükseklik

Deniz seviyesinden olan yüksekliği ifade eden bu parametre, heyelan duyarlılık analizlerinden sıklıkla kullanılmaktadır. Genellikle çalışılan bölgenin sayısal yükseklik modeli (SYM) haritalarından elde edilmektedir. Topoğrafik yüksekliğin heyelan oluşumu ile ilişkisi incelendiğinde düşük seviyelerin duyarlılığının daha az olduğu söylenebilir. Topoğrafik yükseklik haritası araziye uygun olarak 5 sınıfa ayrılmıştır.

Topoğrafik yükseklik haritası, SYM kullanılarak üretilmiştir (Şekil 4.7). Çalışma alanındaki değerler 0 m ile 520 m arasında değişmektedir. Alt sınıfların alansal dağılımı ve heyelan yoğunlukları ile ilgili hesaplamalar Tablo 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.7: Çalışma alanına ait topoğrafik yükseklik haritası.

Tablo 4.4: Çalışma alanında topoğrafik yükseklik alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.

Yükselti (m)	Alansal dağılım (m ²)	Heyelanlı alanlardaki dağılım (m ²)	%A	%B	B/A	Heyelan yoğunluğu (%)
<50	136784700	776700	31,65	2,70	0,09	1,61
50-150	142398000	10208700	32,95	35,53	1,08	20,36
150-250	87183900	11549700	20,17	40,20	1,99	37,61
250-350	49980600	5772600	11,57	20,09	1,74	32,80
>350	15804000	423900	3,66	1,48	0,40	7,62
Toplam	432151200	28731600	100,00	100,00	5,30	100,00

Tablo 4.4'te görüldüğü gibi genellikle heyelanlar 150-250 m ve 250-350 m sınıflarında yayılım göstermiştir. Yükseltinin 50 metreden az ve 350 metreden fazla olduğu kesimlerde heyelan yoğunlukları azalmaktadır.

4.2.4 Eğrisellik

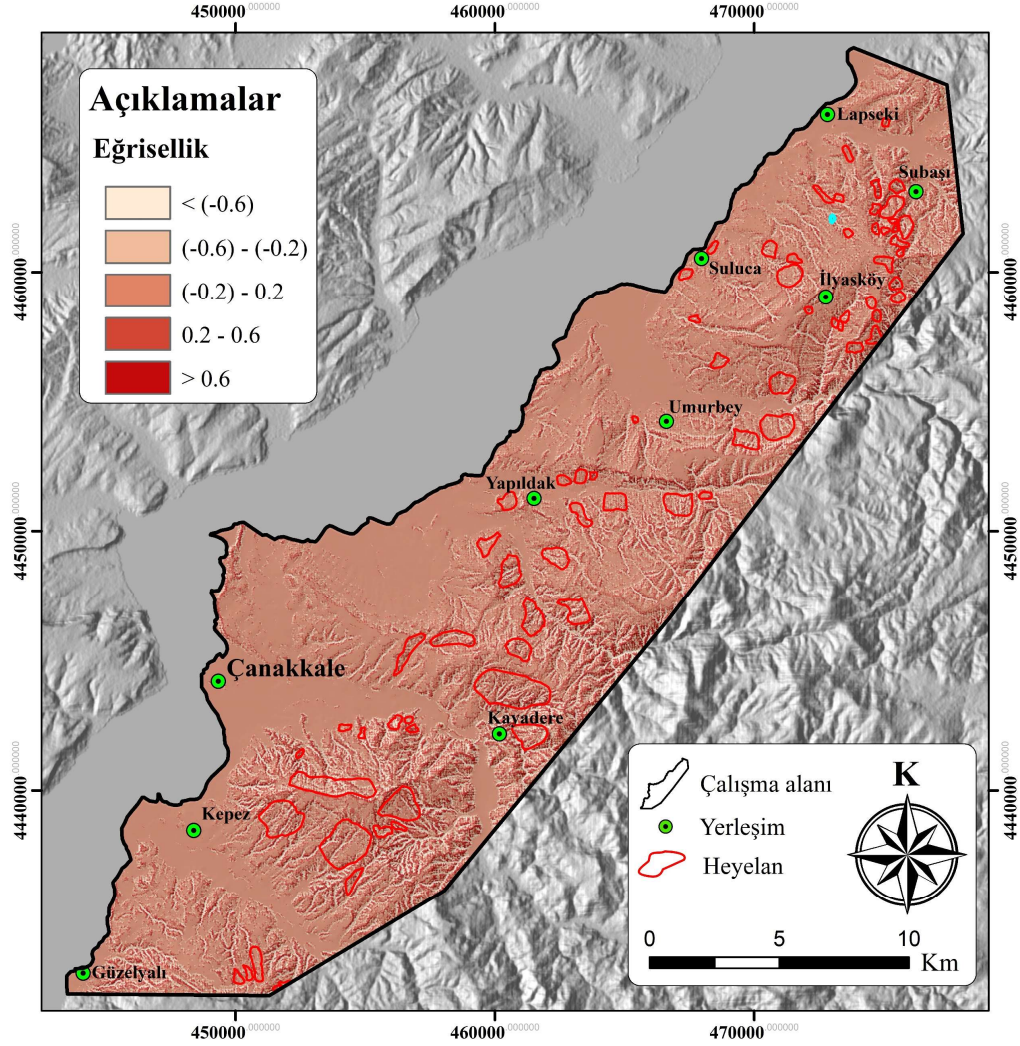
Eğrisellik yamaçların düz, içbükey ve dışbükey olma durumunu ifade eden bir girdi parametresidir. Yamacın yüzeysel şeklini ortaya koyarak yüzey akışları ve erozyon durumunun anlaşılabilmesini de sağlamaktadır (Rejith vd., 2019). Yamaçlardaki bu farklılıklar, gerilim durumunda değişikliklere yol açarak duyarlılığı artırıcı etki yapmaktadırlar. Özellikle dışbükey yamaçların, içbükey yamaçlara oranla, heyelana karşı daha duyarlı olduğu yönünde genel bir eğilim mevcuttur.

Araştırmacılar tarafından eğrisellik ile ilgili bir görüş birliği yoktur. Ancak genel kanı içbükey ve dışbükey yamaçlarda yenilme türünün farklılık gösterdiği şeklindedir. Pozitif değerler dışbükey yamacı negatif değerler ise içbükey yamaçları temsil etmektedir. Üretilen eğrisellik haritası 5 alt sınıfta değerlendirilmiştir.

Eğrisellik parametre haritası, ArcGIS programının bir komutu olan “Curvature” komutuyla üretilmiştir (Şekil 4.8). Eğrisellik haritasında dağılıma uygun olarak 5 alt sınıf oluşturulmuştur (Tablo 4.5).

Tablo 4.5: Çalışma alanında eğrisellik alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.

Eğrisellik	Alansal dağılım (m ²)	Heyelanlı alanlardaki dağılım (m ²)	%A	%B	B/A	Heyelan yoğunluğu (%)
< (-0.6)	31505400	3537900	7,29	12,32	1,69	25,29
(-0.6) - (-0.2)	57670200	5309100	13,34	18,47	1,38	20,72
(-0.2) – 0.2	246410100	10635300	57,03	37,02	0,65	9,71
0.2 – 0.6	66266100	6057900	15,33	21,08	1,38	20,57
> 0.6	30299400	3191400	7,01	11,11	1,58	23,71
Toplam	432151200	28731600	100,00	100,00	6,68	100,00



Şekil 4.8: Çalışma alanına ait eğrisellik haritası.

4.2.5 Arazi Kullanımı

Arazi kullanımı; tarım alanları, ormanlık alanlar, bitki örtüsü, şehir merkezi gibi alanları içeren ve bu alanların heyelan duyarlılığına etkisini ortaya koyan bir parametredir. Mehrota vd. (1992), değerlendirmelerinde bitki örtüsünün az olduğu kesimlerde ve tarım alanlarında heyelanların daha yoğun olarak meydana geldiğini ortaya koymuşlardır.

Bitki örtüsü, heyelanlar üzerinde bazen olumlu bazen de olumsuz etki yapmaktadır. Bitki gövde ve kök sistemleri daha dirençli olduğunda heyelan duyarlılığı üzerinde olumlu yönde etki yapmaktadır. Bazı durumlarda da bitkilerin zemin geçirgenliğini artırarak yüzey sularının zemin içerisine süzülmesini kolaylaştırmaktadır. Bu koşullar ise heyelan duyarlılığını olumsuz yönde etkilemektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Şehir

kullanımı 6 adet alt sınıfa ayrılmış ve alansal yayılımları ile heyelan yoğunlukları Tablo 4.6'daki gibi hesaplanmıştır.

Tablo 4.6: Çalışma alanında arazi kullanımı alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.

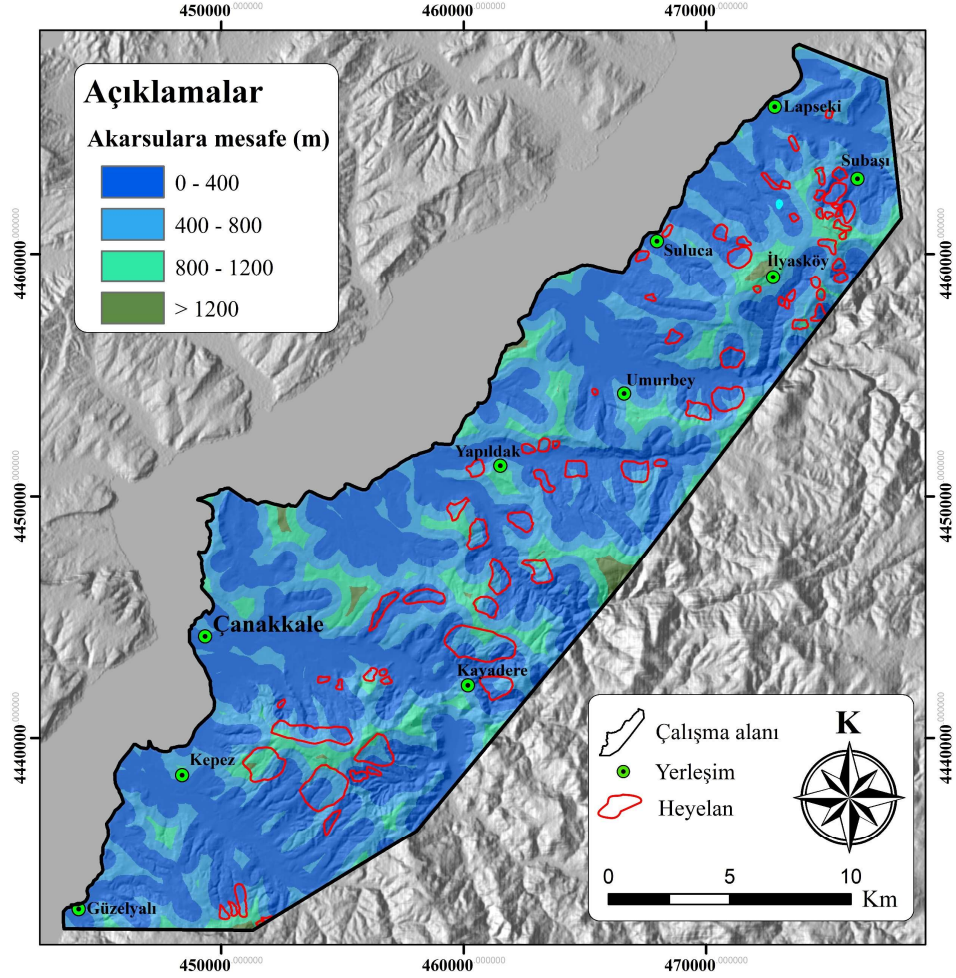
Arazi kullanımı	Alansal dağılım (m ²)	Heyelanlı alanlardaki dağılım (m ²)	%A	%B	B/A	Heyelan yoğunluğu (%)
Şehir Yapısı	22529700	58500	5,21	0,20	0,04	1,36
Endüstriyel ve Ticari Birimler	6208200	4500	1,44	0,02	0,01	0,38
Ormanlık Alanlar	160267500	12575700	37,09	43,77	1,18	41,16
Tarım Alanları	217950300	15358500	50,43	53,44	1,06	36,96
Sulak Alanlar	5946300	0	1,38	0,00	0,00	0,00
Çayır-Mera	19249200	738900	4,45	2,57	0,58	20,14
Toplam	432151200	28736100	100,00	100,00	2,87	100,00

Tablo 4.6'da da görüldüğü gibi heyelanlar genellikle ormanlık alanlar ve tarım alanları sınıflarında yayılım göstermektedir. Şehir yapısı, endüstriyel ve ticari birimler ve sulak alanları temsil eden alt sınıflarda heyelan oluşumuna çok az rastlanmaktadır.

4.2.6 Akarsulara Mesafe

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında akarsulara yakınlık kaymaya karşı duraylılığı arttırıcı bir faktör olarak dikkate alınmaktadır. Olası heyelan bölgesindeki akarsular yamaç topuğunu erozyona uğratarak ve yamacı oluşturan malzemeyi suya doyurarak iki farklı olumsuz etki yapmaktadır. Bununla beraber akarsuların mevsimsel seviye değişimleri ayrıntılı olarak incelenmeli ve ortaya konulmalıdır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Yapılan literatür çalışmasında drenaj ağı yoğunluğu ve akarsulara yakınlık olarak farklı iki parametrenin kullanıldığı görülmüştür. Akarsuya yakınlık parametresi de bu tür çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir girdi parametresidir. Genellikle yapılan çalışmalar incelendiğinde akarsuya yaklaştıkça suyun varlığı ve etkileri sebebiyle heyelan oluşma olasılığının arttığı söylenmektedir. Arazi koşullarındaki farklılıklar sebebiyle uygulanacak tamponun mesafesi de değişmektedir ve bununla ilgili bir standart bulunmamaktadır. Belirlenen tampon mesafeleri için mevcut drenaj ağları da kullanılarak bölgeye ait akarsuya yakınlık haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.10).



Şekil 4.10: Çalışma alanına ait akarsulara mesafe haritası.

Çalışma alanında yaklaşık doğu-batı uzanımlı vadiler bulunmaktadır. Bu vadilerin yamaçlarındaki eğimler düşük olduğundan akarsulara olan mesafeler de artmaktadır. Buna bağlı olarak akarsuya yakınlık haritasında sınıflar <400 m, 400-800 m, 800-1200 m ve >1200 m olmak üzere 4 alt sınıf şeklinde belirlenmiştir (Tablo 4.7).

Tablo 4.7: Çalışma alanında akarsulara mesafe alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.

Akarsuya yakınlık (m)	Alansal dağılım (m ²)	Heyelanlı alanlardaki dağılım (m ²)	%A	%B	B/A	Heyelan yoğunluğu (%)
<400	249191100	14595300	57,67	50,80	0,88	25,64
400-800	139101300	11440800	32,18	39,81	1,23	35,97
800-1200	40095900	2615400	9,28	9,10	0,98	28,52
>1200	3745800	84600	0,87	0,29	0,34	9,87
Toplam	432151200	28731600	100,00	100,00	3,43	100,00

Hesaplanan heyelan yoğunluğu değerlerine bakıldığında heyelanların genellikle 0-400 m ve 400-800 m sınıflarında yayılım gösterdiği, daha uzak mesafelerde ise heyelan yoğunluğu değerlerinin azaldığı söylenebilir.

4.2.7 TWI (Topoğrafik Nemlilik İndeksi)

Topoğrafik nemlilik indeksi, akış yönü parametresinin kullanılması ile elde edilen akış toplanma değerlerinin yamaç eğimi değerlerine oranı ile belirlenmektedir. Topoğrafik indeks genellikle yüzey akışı veya hidrolojik proseslerdeki topoğrafik etkilerin incelenmesi olarak değerlendirilmektedir (Alkeveli, 2015). TWI Eşitlik 4.1’de verilen formül aracılığıyla hesaplanmaktadır.

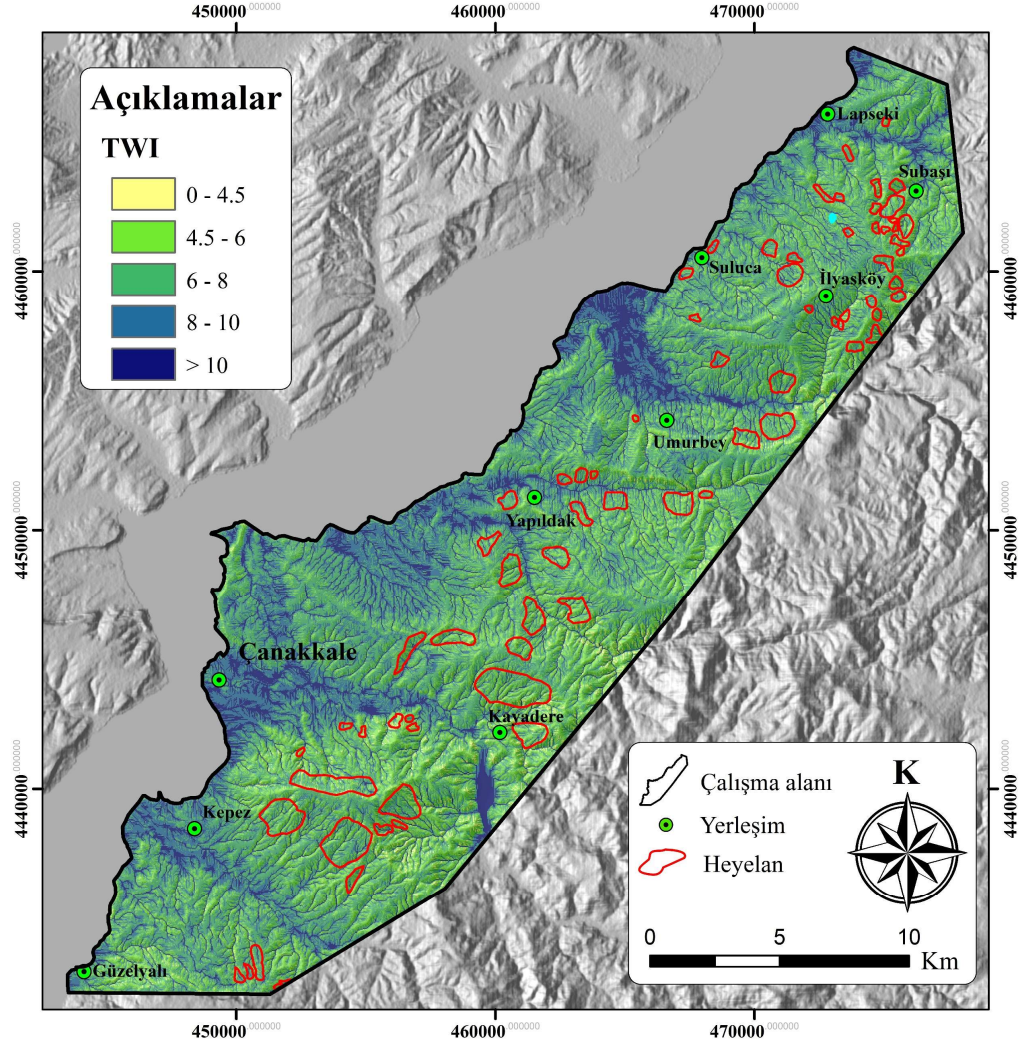
$$TWI = \ln \frac{a}{\tan \beta} \quad (4.1)$$

Yukarıdaki eşitlikte; a havza alanını, β ise eğim değerini ifade etmektedir. Yamaçlarda TWI değeri düşük iken, düzlük kesimlerde ve vadi tabanların TWI değerleri yüksektir. TWI haritasında dağılıma uygun olarak 5 alt sınıf belirlenmiş olup bunlar; 0-4.5, 4.5-6, 6-8, 8-10 ve >10 şeklindedir. Bu alt sınıfların alansal dağılımı ve heyelan yoğunlukları hesaplanmıştır (Tablo 4.8).

Tablo 4.8: Çalışma alanında TWI alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.

TWI	Alansal dağılım (m ²)	Heyelanlı alanlardaki dağılım (m ²)	%A	%B	B/A	Heyelan yoğunluğu (%)
0-4.5	5636880	491220	1,30	1,71	1,31	26,65
4.5-6	112335480	11220120	25,99	39,05	1,50	30,54
6-8	184285080	12162420	42,65	42,33	0,99	20,18
8-10	81350280	3136320	18,83	10,92	0,58	11,79
>10	48543480	1721520	11,23	5,99	0,53	10,84
Toplam	432151200	28731600	100,00	100,00	4,91	100,00

Oluşturulan TWI haritasına bakıldığında heyelanların genellikle 0-4,5 ve 4,5-6 sınıflarında yayılım gösterdiği, TWI değerinin arttığında ise heyelan yoğunluğu değerlerinin azaldığı söylenebilir.



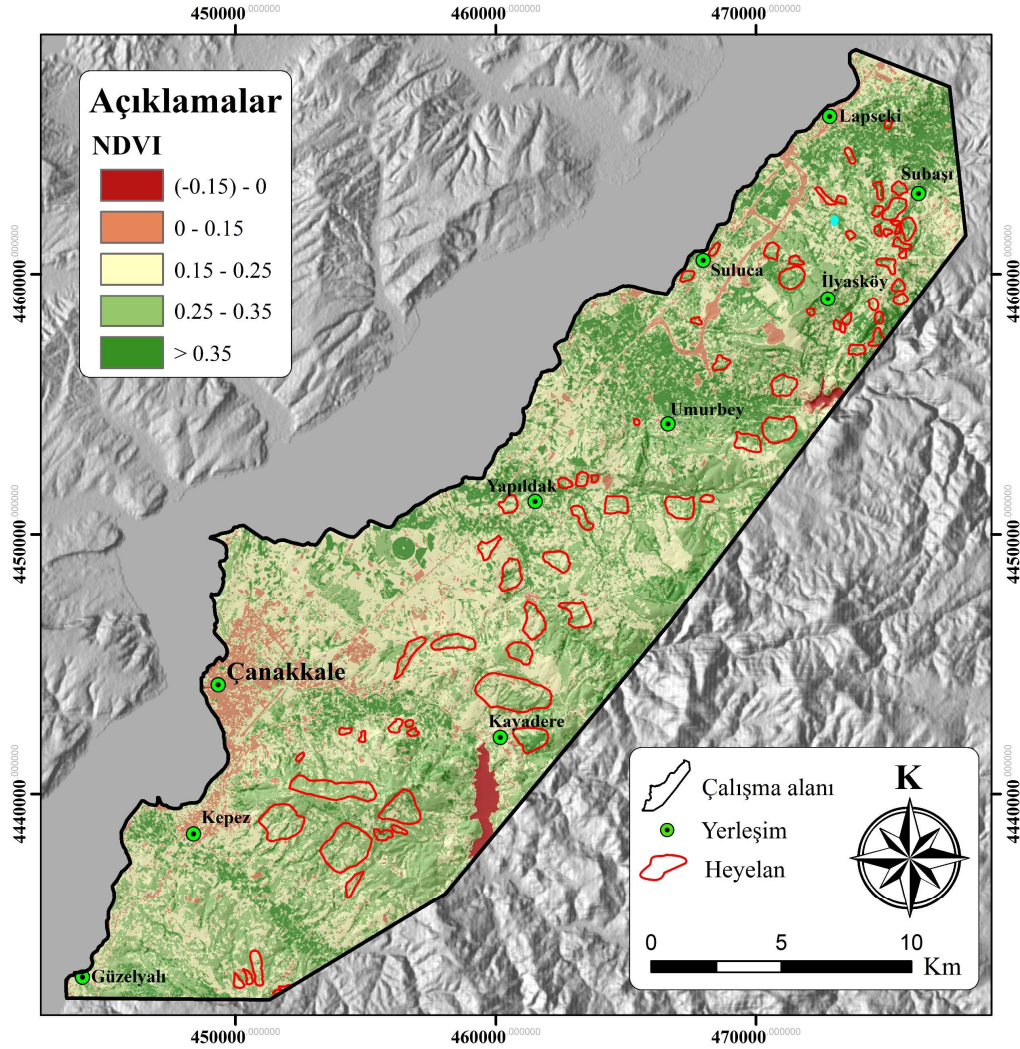
Şekil 4.11: Çalışma alanına ait TWI haritası.

4.2.8 NDVI (Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi)

Bitki örtüsünün heyelanlar üzerindeki etkisi ile ilgili olarak araştırmacılar arasında farklı görüşler mevcuttur. Bitki örtüsünün hem olumlu hem de olumsuz etkileri olduğu düşünülürse farklı bitki özellikleri de dikkate alınarak bir değerlendirme yapılmaktadır. NDVI değerleri aşağıdaki eşitlikten hesaplanır ve -1 ile +1 arasında değerler almaktadır. Negatif değerler çıplak alanları temsil ederken değer arttıkça bitki örtüsüne doğru geçiş söz konusudur.

$$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R) \quad (4.2)$$

NDVI hesaplaması için Rouse vd. (1974) tarafından önerildiği üzere; uydu görüntülerinin 5. bandı olan yakın kızılötesi (NIR) ve 4. bant olan kırmızı (R) arasındaki matematiksel ilişkiden yararlanılarak çalışma alanının NDVI haritaları üretilmektedir. Çalışma alanına ait NDVI haritası Landsat-8 2021 (Ağustos) yılındaki uydu görüntüleri kullanılarak üretildikten sonra dağılıma uygun şekilde 5 alt sınıf belirlenmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12: Çalışma alanına ait NDVI haritası.

NDVI haritası için oluşturulan alt sınıflara ait hesaplanan heyelan yoğunluğu değerleri Tablo 4.9'da verilmiştir. Buna göre negatif değerleri kapsayan ilk iki sınıfta heyelan yoğunluğu değerleri oldukça düşüktür. NDVI değerinin artarak pozitif değerleri aldığı sınıflarda ise heyelan yoğunluğu değerleri artmaktadır. Sonuç olarak çalışma alanındaki bitki örtüsünün olduğu kısımlarda heyelanların daha yoğun gözlemlendiği söylenebilir.

Tablo 4.9: Çalışma alanında NDVI alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.

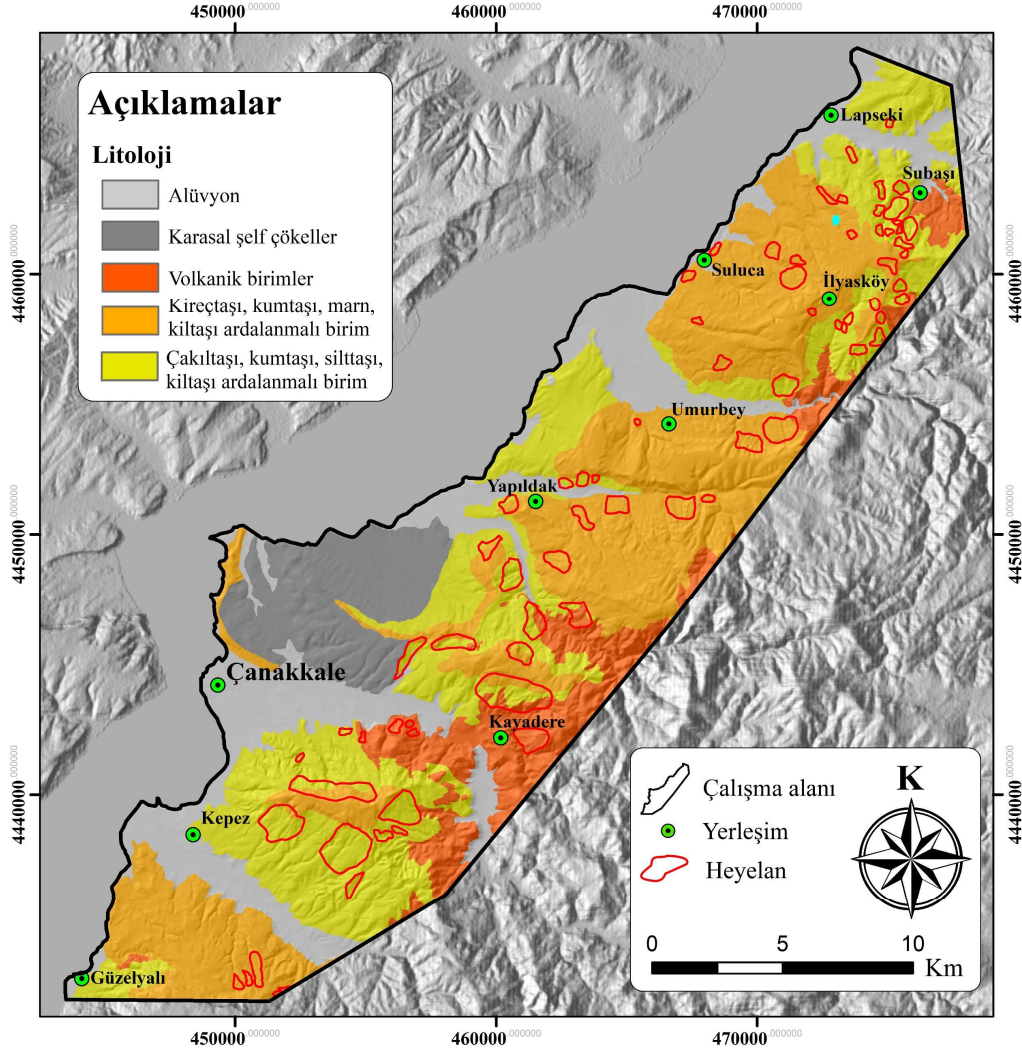
NDVI	Alansal dağılım (m ²)	Heyelanlı alanlardaki dağılım (m ²)	%A	%B	B/A	Heyelan yoğunluğu (%)
-0.15 – 0	4815900	0	1,12	0	0	0
0-0.15	27900900	324000	6,45	1,12	0,17	5,55
0.15-0.25	155944800	10359900	36,09	36,06	0,99	31,72
0.25-0.35	180549900	15012900	41,78	52,26	1,25	39,71
>0.35	62946000	3034800	14,56	10,56	0,72	23,02
Toplam	432151200	28731600	100,00	100,00	3,13	100,00

4.2.9 Litoloji

Çalışma alanının litoloji haritası üretilirken saha çalışmalarının yanı sıra MTA'nın 1:25.000 ölçekli Çanakkale H16 – c2, c3, c4 ve Çanakkale H17 – a3, a4, d1, d2, d4 paftalarından yararlanılmıştır (Şekil 4.13). Çalışma alanının büyük bir kısmını Çanakkale formasyonuna ait Alçıtepe Üyesi, Çamrakdere Üyesi ve Kirazlı Üyesi olarak isimlendirilmiş kayaç topluluğu oluşturmaktadır.

Çalışma alanına ait litoloji haritasında birimler; kireçtaşı, kumtaşı, marn, kiltası ardalanmalı birim ve çakıltası, kumtaşı, silttaşı, kiltası ardalanmalı birim olarak iki ayrı sınıfta toplanmıştır. Şahinli formasyonu, Erdağ volkaniti ve Atikhisar volkanitleri çalışma alanında çok büyük alan kaplamaması sebebiyle litoloji haritasında volkanik birimler olarak sınıflandırılmıştır. Alüvyon ve karasal çökeller de gözlemlendikleri kesimlerde haritalanmış ve ayrı sınıflar halinde haritalandırılmıştır.

Litoloji haritasının alt sınıfları için hesaplanan heyelan yoğunluğu değerleri Tablo 4.10'da verilmiştir. Heyelanların dağılımına bakıldığında alüvyon kısımlarda heyelan olmadığı, karasal şelf çökel kayaların olduğu yerlerde de heyelan yoğunluğunun düşük olduğu gözükmektedir. Çakıltası, kumtaşı, silttaşı, kiltası ardalanmalı birimde ise heyelan yoğunluğu %45,86 olarak hesaplanmış ve heyelanların en yoğun olduğu birim olarak ortaya çıkmıştır. Volkanik birimlerde de toplam alan olarak düşük olmasına rağmen heyelan yoğunluğunun %26,63 olduğu ve heyelanların bu birimler içerisinde de geliştiği ortaya konmuştur.



Şekil 4.13: Çalışma alanına ait litoloji haritası.

Tablo 4.10: Çalışma alanında litoloji alt sınıflarına ait alansal dağılım ve heyelan yoğunluk değerleri.

Litoloji	Alansal dağılım (m ²)	Heyelanlı alanlardaki dağılım (m ²)	%A	%B	B/A	Heyelan yoğunluğu (%)
Alüvyon	74970360	0	17,35	0	0	0
Karasal şelf çökeller	37148760	27675	8,60	0,10	0,10	0,30
Volkanik birimler	45853560	3192075	10,61	11,10	1,05	26,63
Kireçtaşı, kumtaşı, marn, kiltası ardalı birim	150706260	10716075	34,87	37,30	1,07	27,21

Tablo 4.10 (devam)

Litoloji	Alansal dağılım (m ²)	Heyelanlı alanlardaki dağılım (m ²)	%A	%B	B/A	Heyelan yoğunluğu (%)
Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası arılanmalı birim	123472260	14795775	28,57	51,50	1,80	45,86
Toplam	432151200	28731600	100	100	3,02	100

4.3 Çalışma Alanının Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi

4.3.1 Frekans Oranı Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi ve Performans Analizi

Belirlenen girdi parametreleriyle heyelanların oluşumu arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilmek amacıyla Frekans Oranı yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan 9 adet girdi parametresinin alt sınıfları da dahil olmak üzere Frekans Oranı değerleri hesaplanmış ve Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11: Parametre alt sınıfları için hesaplanmış Frekans Oranı (FO) değerleri.

Parametre	Alt Sınıf	Alansal dağılım (m ²) A	Heyelanlı alanlardaki dağılım (m ²) B	%A	%B	Frekans Oranı B/A
Eğim (°)	<5	182199600	3439800	42,16	11,97	0,28
	5-10	132305400	11716200	30,62	40,78	1,33
	10-15	68725800	8228700	15,90	28,64	1,80
	15-25	43216200	4859100	10,00	16,91	1,69
	>25	5704200	487800	1,32	1,70	1,29
Bakı	0-22.5	33717600	2135700	7,80	7,43	0,95
	22.5-67.5	45291600	2500200	10,48	8,70	0,83
	67.5-112.5	29617200	2142000	6,85	7,46	1,09
	112.5-157.5	29106900	2948400	6,74	10,26	1,52
	157.5-202.5	40300200	3996000	9,33	13,91	1,49
	202.5-247.5	53026200	3994200	12,27	13,90	1,13
	247.5-292.5	69045300	3825000	15,97	13,32	0,83
	292.5-337.5	89535600	4666500	20,72	16,24	0,78
337.5-360	42510600	2523600	9,84	8,78	0,89	
Yükselti (m)	<50	136784700	776700	31,65	2,70	0,09
	50-150	142398000	10208700	32,95	35,53	1,08
	150-250	87183900	11549700	20,17	40,20	1,99
	250-350	49980600	5772600	11,57	20,09	1,74
	>350	15804000	423900	3,66	1,48	0,40
Eğrisellik	< (-0.6)	31505400	3537900	7,29	12,32	1,69
	(-0.6) - (-0.2)	57670200	5309100	13,34	18,47	1,38
	(-0.2) - 0.2	246410100	10635300	57,03	37,02	0,65
	0.2 - 0.6	66266100	6057900	15,33	21,08	1,38
	> 0.6	30299400	3191400	7,01	11,11	1,58

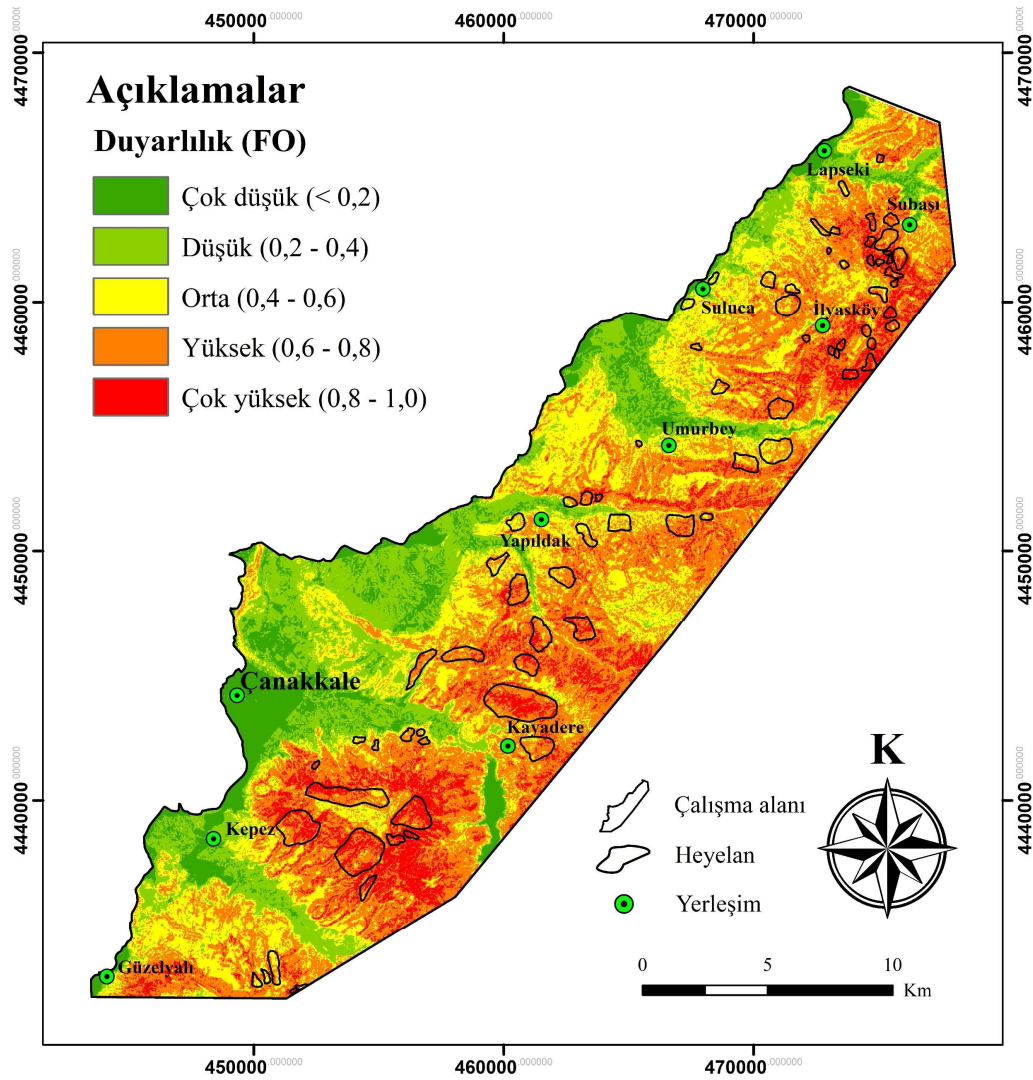
Tablo 4.11 (devam)

Parametre	Alt Sınıf	Alansal dağılım (m ²) A	Heyelanlı alanlardaki dağılım (m ²) B	%A	%B	Frekans Oranı B/A
Arazi kullanımı	Şehir Yapısı	22529700	58500	5,21	0,20	0,04
	Endüstriyel ve Ticari Birimler	6208200	4500	1,44	0,02	0,01
	Ormanlık Alanlar	160267500	12575700	37,09	43,77	1,18
	Tarım Alanları	217950300	15358500	50,43	53,44	1,06
	Sulak Alanlar	5946300	0	1,38	0,00	0,00
	Çayır-Mera	19249200	738900	4,45	2,57	0,58
Akarsuya yakınlık (m)	<400	249191100	14595300	57,67	50,80	0,88
	400-800	139101300	11440800	32,18	39,81	1,23
	800-1200	40095900	2615400	9,28	9,10	0,98
	>1200	3745800	84600	0,87	0,29	0,34
TWI	0-4.5	5636880	491220	1,30	1,71	1,31
	4.5-6	112335480	11220120	25,99	39,05	1,50
	6-8	184285080	12162420	42,65	42,33	0,99
	8-10	81350280	3136320	18,83	10,92	0,58
	>10	48543480	1721520	11,23	5,99	0,53
NDVI	-0.15 – 0	4815900	0	1,12	0	0
	0-0.15	27900900	324000	6,45	1,12	0,17
	0.15-0.25	155944800	10359900	36,09	36,06	0,99
	0.25-0.35	180549900	15012900	41,78	52,26	1,25
	>0.35	62946000	3034800	14,56	10,56	0,72
Litoloj	Alüvyon	74970360	0	17,35	0	0
	Kumlu karasal çökeller	37148760	27675	8,60	0,10	0,10
	Volkanik birimler	45853560	3192075	10,61	11,10	1,05
	Kireçtaşı, kumtaşı, marn, kiltası	150706260	10716075	34,87	37,30	1,07
	ardalanmalı birim Çakiltası, kumtaşı, silttaşı, kiltası	123472260	14795775	28,57	51,50	1,80
ardalanmalı birim						

Frekans oranı değerinin 1'den büyük olması o alt sınıfın heyelan duyarlılığına etkisinin yüksek olduğu anlamını taşımaktadır. Frekans oranı değerinin 1'den düşük olması ise düşük korelasyonu tanımlamaktadır yani heyelan duyarlılığına etkisi düşüktür.

Çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritasının üretilebilmesi için her bir parametrenin alt sınıfına temsil ettiği Frekans oranı değerinin atanması gerekmektedir. Bunu yapabilmek için ArcGIS programı kullanılmış ve her bir parametre haritası için yeniden sınıflandırma yaparak alt sınıflara Frekans oranı değerleri atanmıştır. Son aşamada 9 adet yeniden

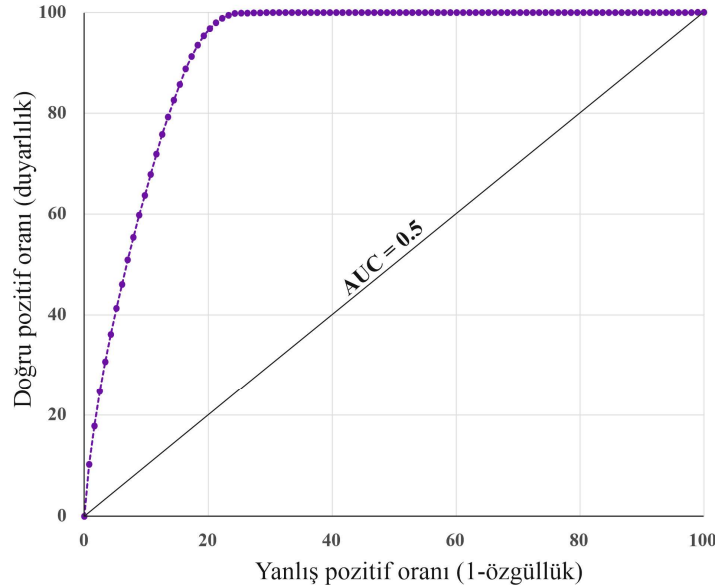
sınıflandırılmış harita ArcGIS'in Map Algebra (Raster Calculator) komutuyla toplanmış ve Frekans oranı yöntemiyle bölgeye ait bir heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14: Çalışma alanının Frekans Oranı (FO) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası.

Üretilen tüm heyelan duyarlılık haritalarında 0-1 değer aralığında ve çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılıkları olmak üzere 5 sınıf kullanılmıştır. Buna göre Frekans Oranı yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasında toplam alanın %9,92'sinin çok düşük, %17,62'sinin düşük, %24,86'sinin orta, %37,29'unun yüksek ve %10,30'unun çok yüksek duyarlılıkları olduğu görülmüştür. Ayrıca toplam heyelanlı alanın %0,02'si çok düşük, %0,78'i düşük, %16,28'i orta, %54,93'ü yüksek ve %27,98'i çok yüksek duyarlılıkları sınıfa karşılık gelmektedir.

Frekans Oranı yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılığı haritasının performans analizi için ROC eğrisi yöntemi kullanılmıştır. Buna göre Frekans Oranı yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının AUC değeri 0,92 olarak bulunmuştur (Şekil 4.15). Bu değer, modelin doğrulunun “mükemmel” sınıfına karşılık geldiğini göstermektedir.



Şekil 4.15: Frekans Oranı (FO) yöntemiyle üretilen duyarlılık haritasının ROC eğrisi.

4.3.2 AHP Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi ve Performans

Analizi

Çalışma alanında heyelan duyarlılığına etki ettiği düşünülen 9 parametre arasında ağırlıklarının belirlenmesi amacıyla ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur (Tablo 4.12). Oluşturulan matriste Tutarlılık Oranı 0,054 olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan matrisle elde edilen ağırlık değerleri ArcGIS ortamında her bir parametre haritasına ayrı ayrı atanmıştır.

Tablo 4.12: AHP yöntemiyle oluşturulan girdi parametreleri matrisi.

Katmanlar	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	Ağırlıklar
(1) Litoloji	1									0,251
(2) Yamaç eğimi	1/2	1								0,198
(3) Arazi kullanımı	1/2	1/2	1							0,167
(4) Topoğrafik yükseklik	1/3	1/2	1/2	1						0,117

Tablo 4.12 (devam)

Katmanlar	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	Ağırlıklar
(5) NDVI	1/3	1/3	1/3	1/2	1					0,086
(6) Akarsulara mesafe	1/3	1/3	1/4	1/3	1/2	1				0,063
(7) TWI	1/5	1/4	1/4	1/3	1/3	1/2	1			0,054
(8) Eğrisellik	1/5	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1/2	1		0,039
(9) Bakı	1/7	1/7	1/5	1/3	1/3	1/3	1/5	1/3	1	0,025
Tutarlılık Oranı = 0,054										

Duyarlılık haritasının üretiminde kullanılacak olan parametre haritalarının alt sınıfları belirlenmiş ve her bir alt sınıf için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur (Tablo 4.13). Parametre alt sınıfları için oluşturulan matrislerin tamamında tutarlılık oranı 0.10'un altında çıkmıştır.

Tablo 4.13: AHP yöntemiyle oluşturulan parametre alt sınıflarına ait matrisler.

Katmanlar	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	Ağırlıklar
Litoloji										
(1) Alüvyon	1									0,032
(2) Volkanik	9	1								0,200
(3) Çakıltası, kumtaşı, silttaşı, kiltası aralanmalı birim	9	3	1							0,460
(4) Kireçtaşı, kumtaşı, marn, kiltası aralanmalı birim	9	2	1/3	1						0,254
(5) Kuvaterner Kumul	2	1/5	1/7	1/5	1					0,054
Tutarlılık Oranı = 0,071										
Yamaç eğimi (°)										
(1) 0-5	1									0,035
(2) 5-10	5	1								0,146
(3) 10-15	9	3	1							0,418
(4) 15-25	7	2	1/2	1						0,255
(5) >25	5	1	1/3	1/2	1					0,146
Tutarlılık Oranı = 0,013										
Arazi Kullanımı										
(1) Şehir Yapısı	1									0,072

Tablo 4.13 (devam)

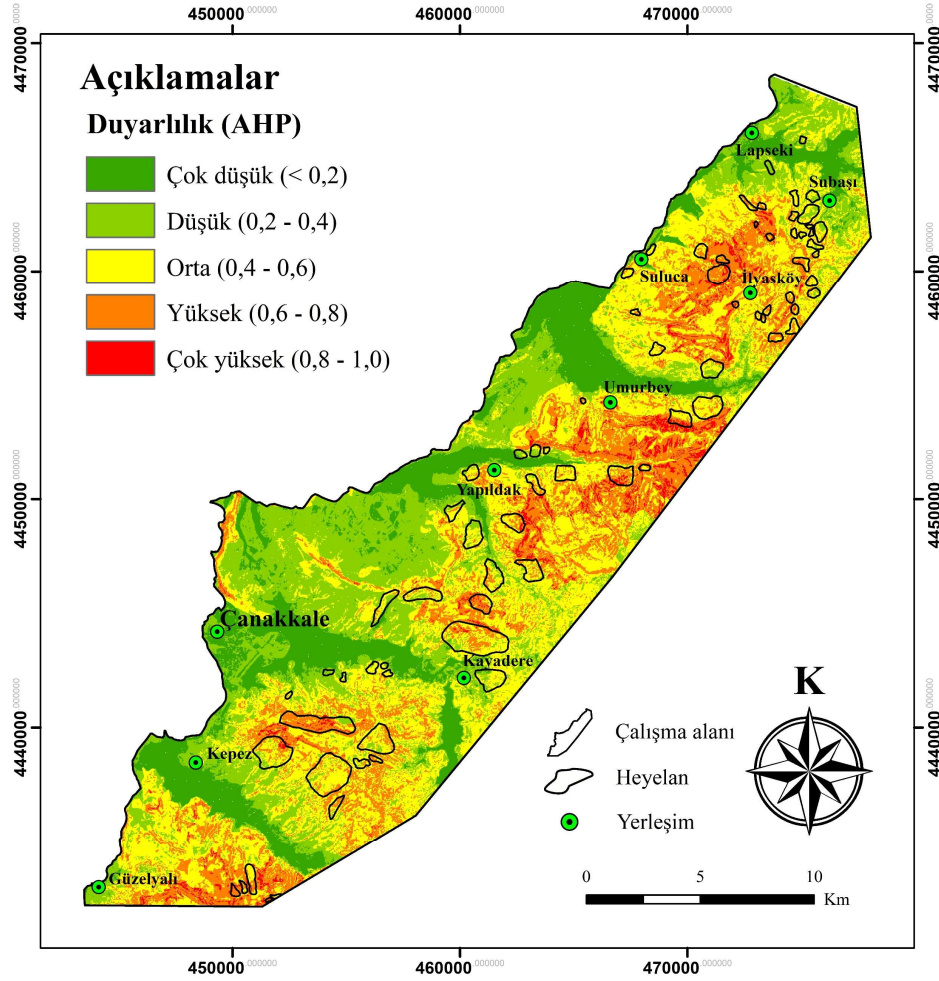
Katmanlar	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	Ağırlıklar
(2) Endüstriyel ve Ticari Alanlar	1/2	1								0,069
(3) Ormanlık Alanlar	5	5	1							0,342
(4) Tarım Alanları	5	5	1/2	1						0,269
(5) Sulak Alanlar	1/3	1/5	1/7	1/7	1					0,030
(6) Çayır-Mera	5	5	1/2	1/2	7	1				0,218
Tutarlılık Oranı = 0,087										
Yükselti (m)										
(1) <50	1									0,037
(2) 50-150	5	1								0,159
(3) 150-250	9	3	1							0,439
(4) 250-350	7	2	1/2	1						0,278
(5) >350	3	1/2	1/5	1/4	1					0,087
Tutarlılık Oranı = 0,019										
NDVI										
(1) (-0,15)-0	1									0,037
(2) 0-0,15	3	1								0,071
(3) 0,15-0,25	7	5	1							0,286
(4) 0,25-0,35	9	7	2	1						0,423
(5) >0,35	5	3	1/2	1/2	1					0,183
Tutarlılık Oranı = 0,032										
Akarsulara Mesafe (m)										
(1) 0-400	1									0,180
(2) 400-800	3	1								0,460
(3) 800-1200	2	1/2	1							0,272
(4) >1200	1/3	1/4	1/3	1						0,088
Tutarlılık Oranı = 0,039										
TWI										
(1) 0-4,5	1									0,280
(2) 4,5-6	2	1								0,351
(3) 6-8	1/2	1/2	1							0,185
(4) 8-10	1/3	1/3	1/2	1						0,110

Tablo 4.13 (devam)

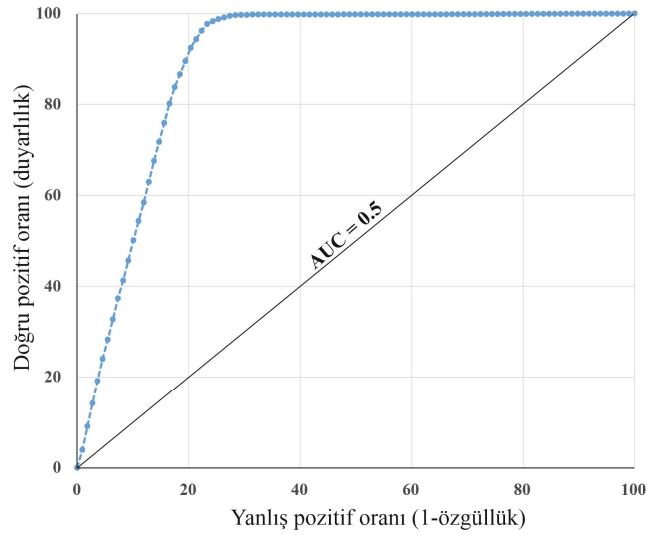
Katmanlar	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	Ağırlıklar
(5) >10	1/4	1/3	1/3	1/2	1					0,074
Tutarlılık Oranı = 0,038										
Eğrisellik										
(1) < (-0,6)	1									0,337
(2) (-0,6)-(-0,2)	1/2	1								0,181
(3) (-0,2)-0,2	1/3	1/2	1							0,088
(4) 0,2-0,6	1/2	1/2	2	1						0,138
(5) >0,6	1/2	2	3	2	1					0,256
Tutarlılık Oranı = 0,032										
Bakı										
(1) Düz	1									0,088
(2) Kuzey	1/2	1								0,081
(3) Kuzeydoğu	2	2	1							0,134
(4) Doğu	3	3	2	1						0,226
(5) Güneydoğu	3	3	2	1/2	1					0,192
(6) Güney	2	2	1/2	1/2	1/2	1				0,115
(7) Güneybatı	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1/2	1			0,058
(8) Batı	1/2	1/3	1/3	1/4	1/4	1/3	2	1		0,057
(9) Kuzeybatı	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1/2	1/2	1/2	1	0,049
Tutarlılık Oranı = 0,048										

AHP yöntemiyle oluşturulan matrisler sonucunda her bir parametre ve alt sınıfları için ağırlıklar hesaplanmıştır. Hesaplanan ağırlık değerleri ArcGIS ortamında parametre haritalarına ve alt sınıflarına atanmıştır. Heyelan duyarlılık haritasını üretebilmek için ArcGIS programına ait “Weighted Sum” modülü kullanılmıştır.

AHP yöntemiyle oluşturulan heyelan duyarlılık haritasında toplam alanın %16,46’sı çok düşük, %26,39’u düşük, %35,40’ı orta, %19,39’u yüksek ve %2,35’i çok yüksek duyarlılıklı alana karşılık gelmektedir. Toplam heyelanlı alanın ise %0,62’si çok düşük, %14,37’si düşük, %50,45’i orta, %31,45’i yüksek ve %3,10’u çok yüksek duyarlılıklı alana karşılık gelmektedir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16: Çalışma alanının Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası.



Şekil 4.17: AHP yöntemiyle üretilen duyarlılık haritasının ROC eğrisi.

AHP yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının AUC değeri 0.893 olarak bulunmuştur (Şekil 4.17). Bu değer modelin doğrulunun “çok iyi” olduğu anlamına gelmektedir.

4.3.3 Lojistik Regresyon Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi ve Performans Analizi

Çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan ikinci yöntemimiz Lojistik Regresyon yöntemidir. Son yıllarda bu yöntemin kullanımı oldukça artmıştır. Lojistik Regresyon yöntemiyle çalışma alanının heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde Terrset 2020 programının bir modülü olan Idrisi Selva yazılımından faydalanılmıştır. Belirlenen 9 adet girdi parametresi haritaları bu yöntemde bağımsız değişkenleri ve heyelan envanter haritası ise bağımlı değişkeni temsil etmektedir. Bağımlı ve bağımsız değişkenler belirlendikten sonra Idrisi Selva yazılımına ait “LogisticReg” komutu kullanılmış ve çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası Lojistik Regresyon yöntemiyle üretilmiştir (Şekil 4.18).

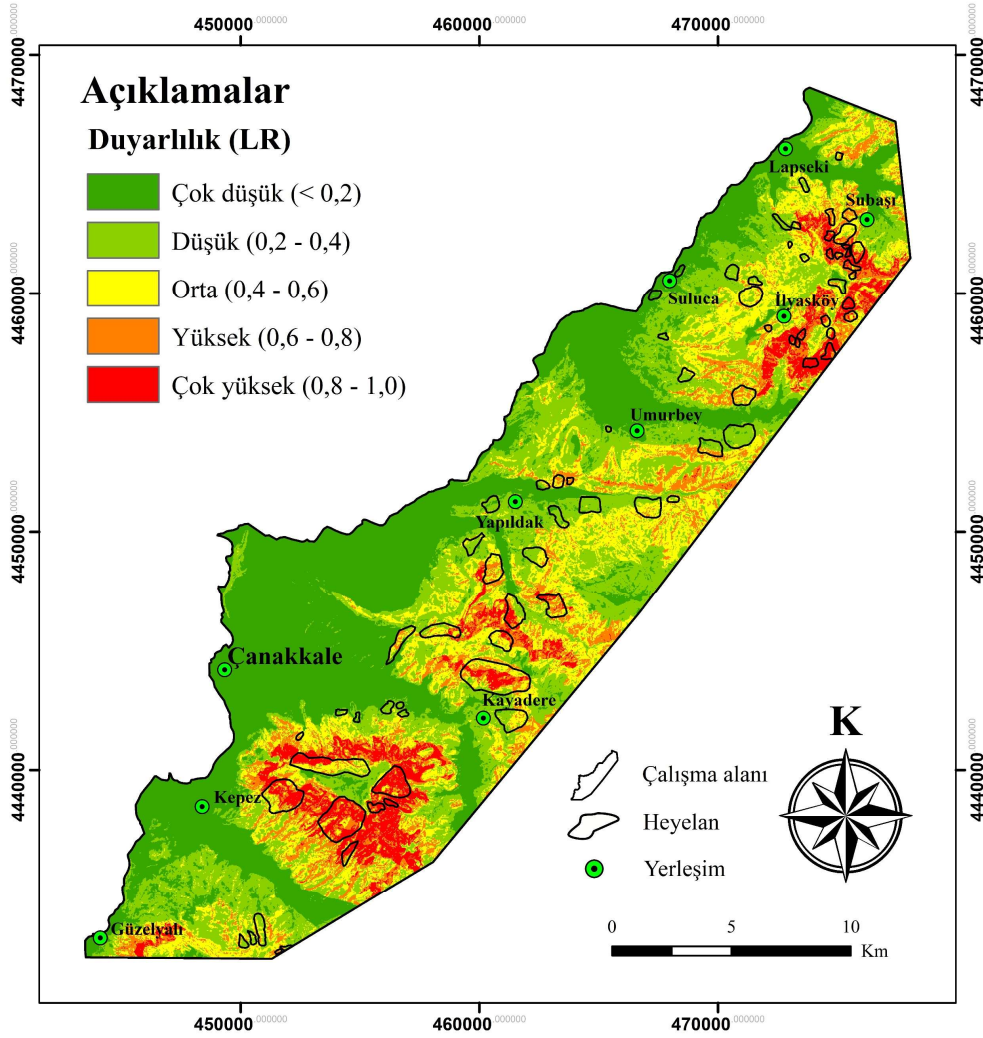
Oluşturulan regresyon sonucunda elde edilen istatistiksel değerler Tablo 4.14’de verilmiştir. Hesaplanan R^2 değerinin 0,2’den büyük olması kullanılan girdi parametreleri ile oluşturulan regresyonun istatistiksel olarak uyumlu olduğu anlamına gelmektedir.

Tablo 4.14: Lojistik Regresyon yöntemiyle elde edilen istatistiksel sonuçlar.

Değişken	Katsayı
Kesişim	-8,5207
Yamaç eğimi	1,1678
Baki	0,9788
Topoğrafik yükseklik	1,5220
Eğrisellik	0,2067
Arazi kullanımı	1,3503
Akarsuya yakınlık	0,5968
TWI	-0,2175
NDVI	0,5301
Litoloji	1,8414
-2Log (L0)	29421,9371
-2Log (L)	19689,3924
Yapay R^2	0,33

Oluşturulan heyelan duyarlılık haritasına göre toplam alanın %%35,71’inin çok düşük, %28,84’ünün düşük, %18,80’inin orta, %10,62’sinin yüksek ve %6,04’ünün çok yüksek duyarlılıkları olduğu görülmüştür. Toplam heyelanlı alanların ise %3,17’si çok düşük

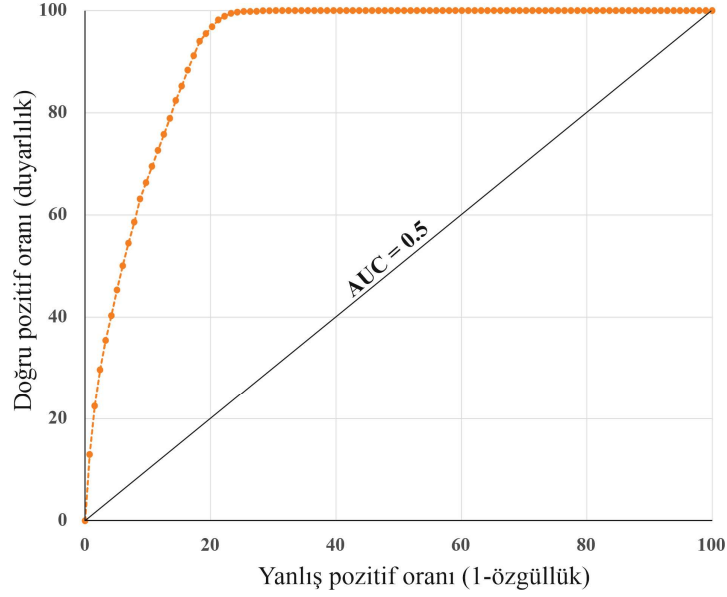
%26,85'i düşük, %26,36'sı orta, %20,62'si yüksek ve %23,00'ü çok yüksek duyarlılık alanına karşılık gelmektedir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18: Çalışma alanının Lojistik Regresyon (LR) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası.

Oluşturulan regresyonda katsayılara bakıldığında, litoloji, yamaç eğimi, topoğrafik yükseklik ve arazi kullanımı parametrelerinin heyelan duyarlılığına etkisini daha büyük oranda olduğu, diğer parametrelerin etkilerinin ise daha az olduğu gözlenmiştir.

Lojistik Regresyon yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının AUC değeri 0,925 olarak bulunmuştur (Şekil 4.19). Bu değer modelin doğrulunun “mükemmel” sınıfına karşılık geldiğini göstermektedir.



Şekil 4.19: Lojistik Regresyon (LR) yöntemiyle üretilen duyarlılık haritasının ROC eğrisi.

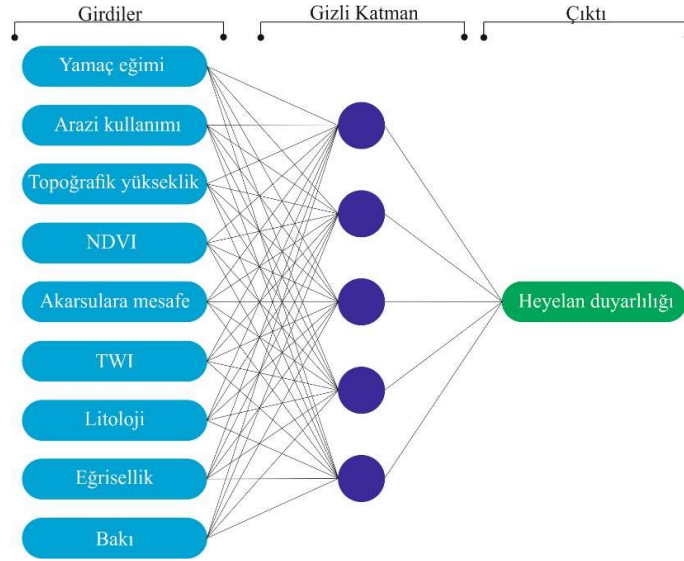
4.3.4 YSA Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi ve Performans

Analizi

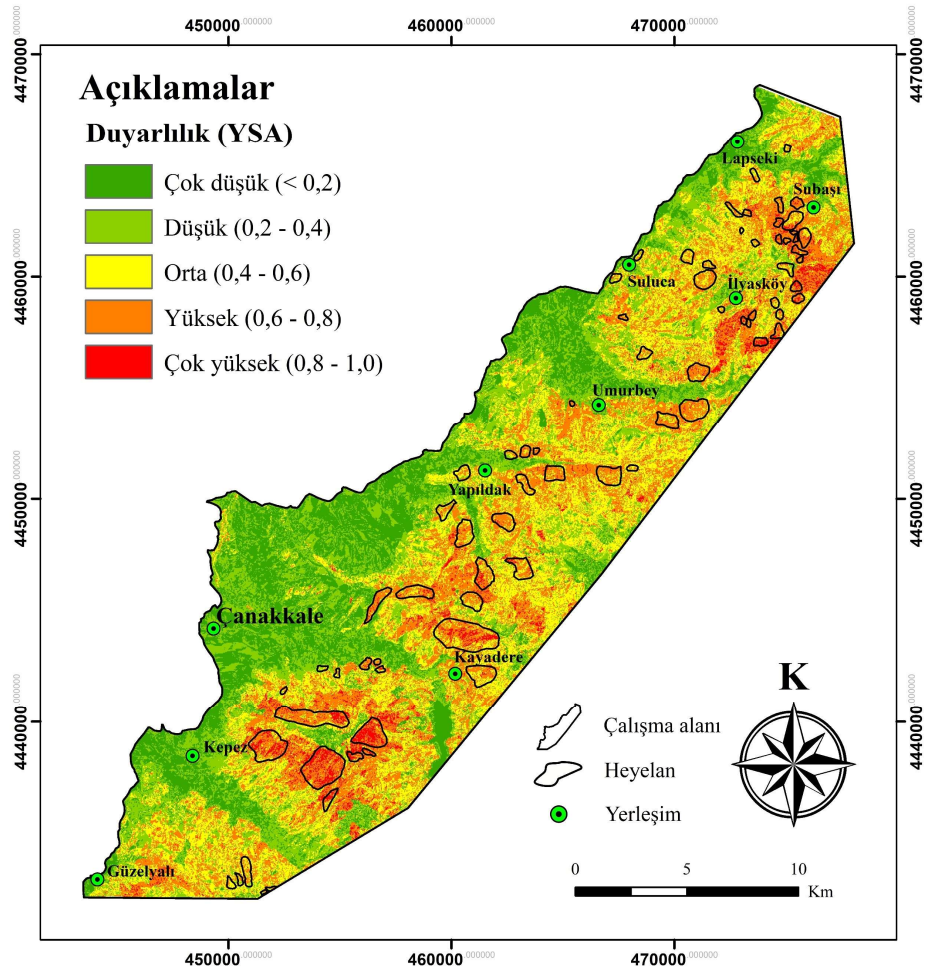
Çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan dördüncü yöntemimiz Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemidir. YSA yöntemiyle çalışma alanının heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde MatLab 2021 programından faydalanılmıştır.

Öncelikli olarak girdi parametre haritaları Raster formata çevrilmiş ve MatLab programına aktarabilmek için Excel çıktısı olarak alınmıştır. Sonraki aşamada çıktılar, MatLab programı içerisine birer matris olarak atılmıştır. Elde edilen matrisler kullanılarak bir veriseti oluşturulmuştur. Toplam piksel sayısının yaklaşık %12'sine karşılık gelen 60.000 piksel ile bu analizler yürütülmüştür. Veriseti, eğitim ve test amacıyla %70'e %30 oranında ayrılmış ve YSA yapısının kurgusu oluşturulmuştur. YSA yapısı 9 girdi 5 gizli katman ve 1 çıktı olarak kurgulanmış, iterasyon sayısı 1000 olarak alınmış ve transfer fonksiyonu olarak da "rectified linear unit" seçilmiştir (Şekil 4.20). Oluşturulan YSA yapısıyla program çalıştırılmış ve çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir (Şekil 4.21).

YSA ile üretilen heyelan duyarlılık haritasında çalışma alanının %20,40'ı çok düşük, %25,23'ü düşük, %26,88'i orta, %24,35'i yüksek ve %3,13'ü çok yüksek duyarlılıklı olarak çıkmıştır. Heyelanlı alanların ise %0,41'i çok düşük, %3,37'si düşük, %23,61'i orta, %56,96'sı yüksek ve %15,66'sı çok yüksek duyarlılıklı olarak ortaya çıkmıştır.

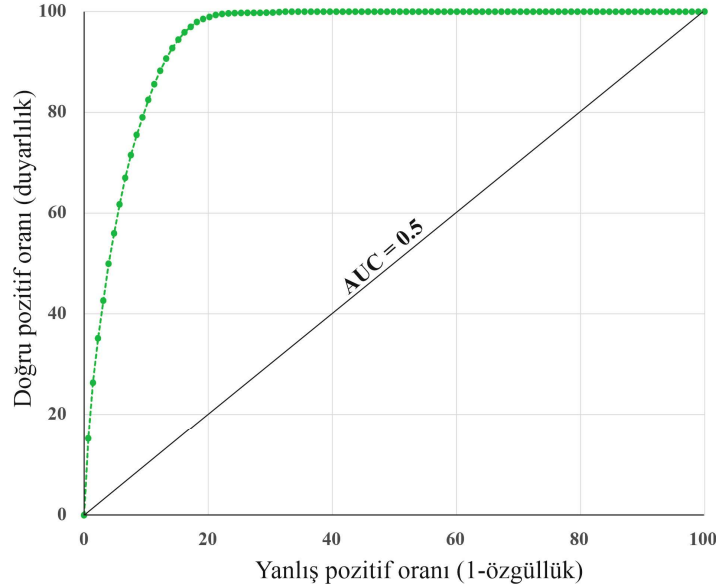


Şekil 4.20: Tek gizli katmanlı oluşturulan YSA tasarımı.



Şekil 4.21: Çalışma alanının Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası.

YSA yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılığı haritasının performans analizi için ROC eğrisi yöntemi kullanılmıştır. Buna göre YSA yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının AUC değeri 0,944 olarak bulunmuştur (Şekil 4.22). Bu değer modelin doğrulunun “mükemmel” sınıfına karşılık geldiğini göstermektedir.

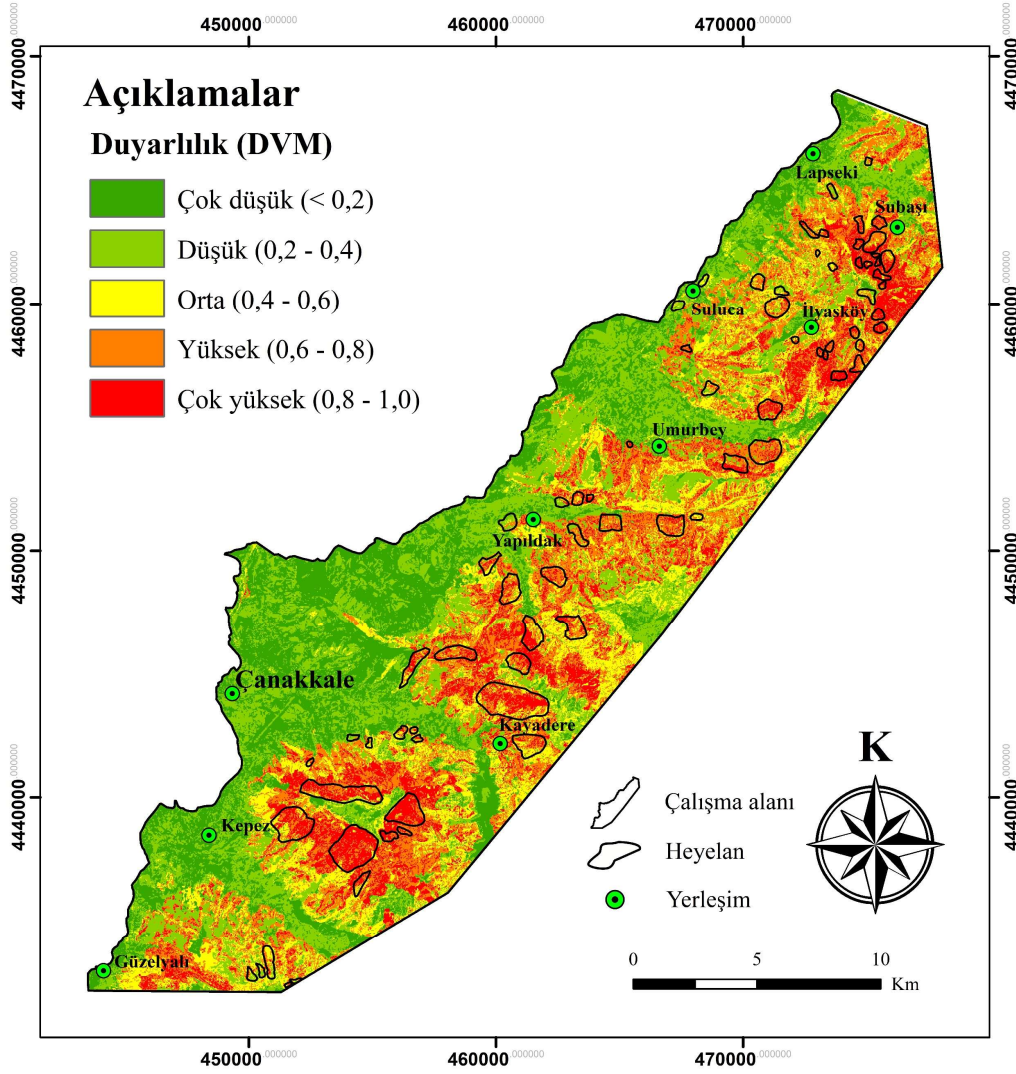


Şekil 4.22: Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının ROC eğrisi.

4.3.5 DVM Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi ve Performans Analizi

Çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan beşinci yöntem Destek Vektör Makineleri (DVM) yöntemidir. DVM yöntemiyle çalışma alanının heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde MatLab 2021 programından faydalanılmıştır.

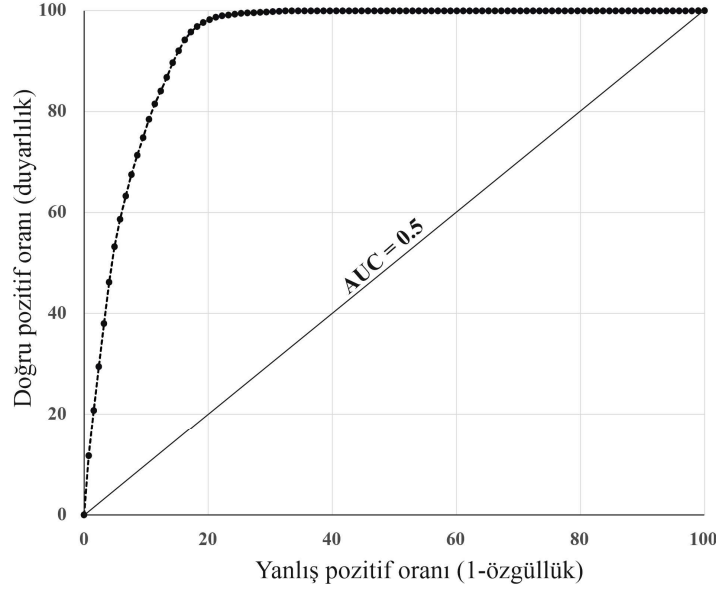
Parametre haritalarının analize hazır hale getirilmesi için öncelikli olarak Raster veri formatında çıktıları alınmıştır. Bu veriler sonraki adımda Excel aracılığıyla düzenlenerek MatLab programına aktarılmıştır. Bir sonraki adımda elde edilen bu veriler 9 ayrı matriste saklanarak bir veriseti (60.000 piksel) oluşturulmuştur. Elde edilen verisetinin %70'i oluşturulan modelin eğitilmesi, kalan %30'u da test edilmesi için kullanılmıştır. Son aşamada oluşturulan modelin çalıştırılmasıyla çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Şekil 4.23).



Şekil 4.23: Çalışma alanının Destek Vektör Makineleri (DVM) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası.

DVM yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasında toplam alanın %22,26'sının çok düşük, %27,82'sinin düşük, %15,84'ünün orta, %21,98'inin yüksek ve %12,09'unun çok yüksek duyarlılıklı alana karşılık geldiği görülmüştür. Toplam heyelanlı alanın ise %0,65'i çok düşük, %7,48'i düşük, %15,17'si orta, %38,07'si yüksek ve %38,62'si çok yüksek duyarlılıklı alana karşılık gelmektedir.

DVM yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılığı haritasının performans analizi için ROC eğrisi yöntemi kullanılmıştır. Buna göre DVM yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının AUC değeri 0.937 olarak bulunmuştur (Şekil 4.24). Bu değer modelin doğruluğunun "mükemmel" sınıfına karşılık geldiğini göstermektedir.



Şekil 4.24: Destek Vektör Makineleri (DVM) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının ROC eğrisi.

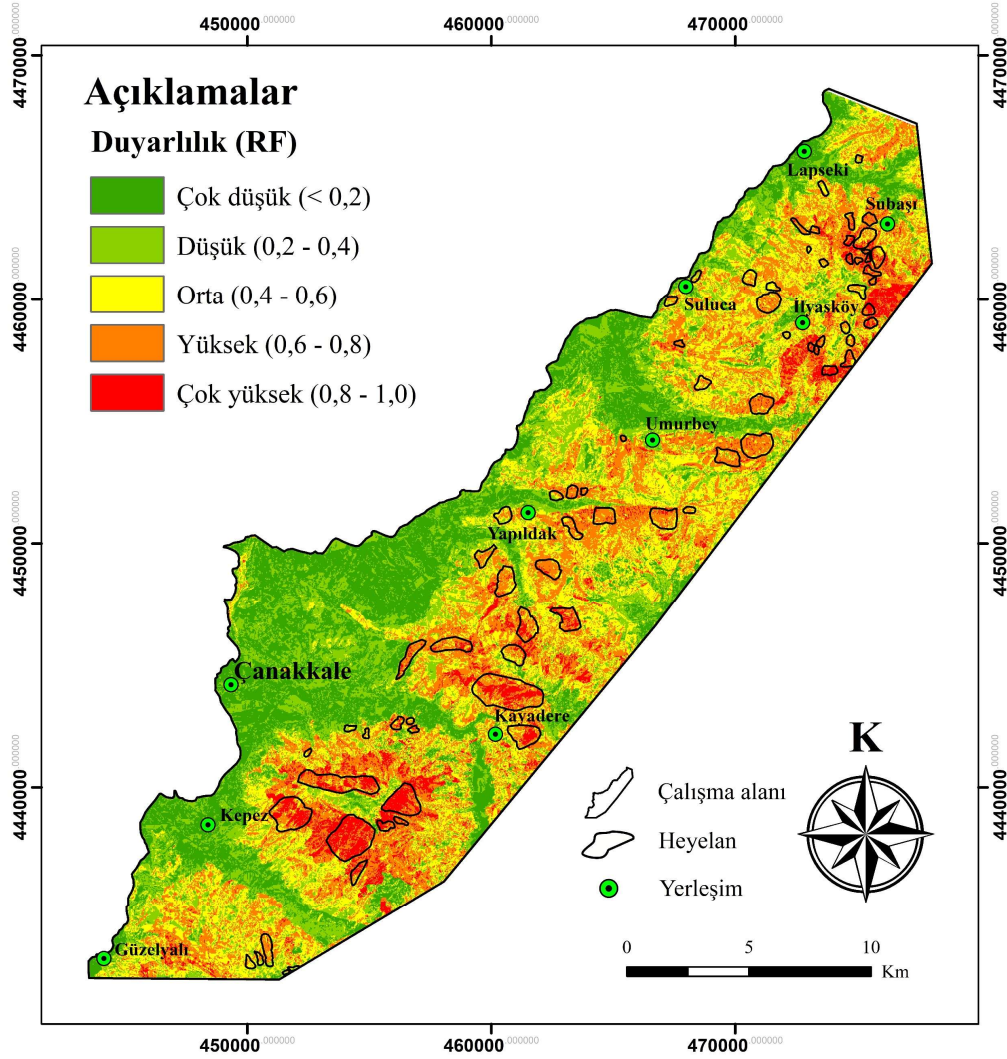
4.3.6 RF Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi ve Performans

Analizi

Çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan altıncı yöntemimiz Rastgele Orman Algoritmaları (RF) yöntemidir. Son yıllarda bu yöntemin kullanımı oldukça artmıştır. RF yöntemiyle çalışma alanının heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde MatLab 2021 programından faydalanılmıştır.

Model oluşturulurken YSA ve DVM yöntemlerinde olduğu gibi parametre haritaları önce Excel formatına çevrilmiş ve matrisler şeklinde MatLab programına aktarılmıştır. Sonraki aşamada daha önce oluşturulan veriseti kullanılarak modelin eğitimi için %70'i testi için de %30'u rastgele seçilmiştir. RF algoritması oluşturulurken de ağaç sayısı 100 olarak belirlenmiş ve çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir (Şekil 4.25).

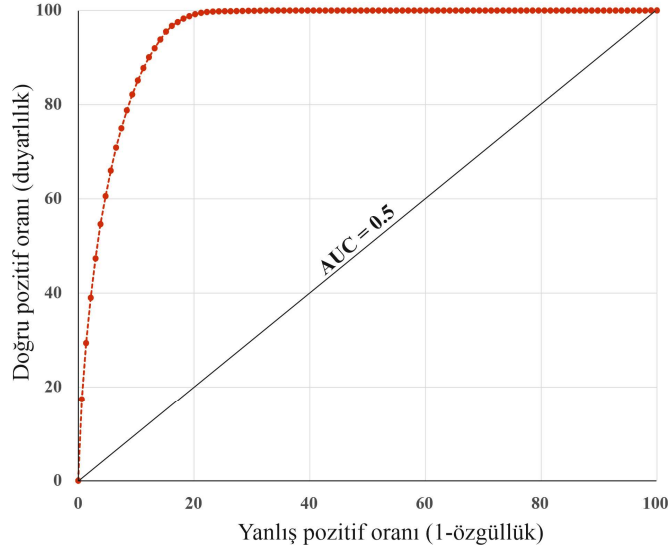
RF ile üretilen duyarlılık haritasında toplam alanın %22,70'inin çok düşük, %21,79'unun düşük, %25,26'sının orta, %24,68'inin yüksek ve %5,57'sinin çok yüksek duyarlılıklı alana karşılık geldiği görülmüştür. Toplam heyelanlı alanların ise %0'ı çok düşük, %2,47'si düşük, %17,76'sı orta, %51,89'u yüksek ve %27,87'si çok yüksek duyarlılıklı alana karşılık gelmektedir.



Şekil 4.25: Çalışma alanının Rastgele Orman Algoritması (RF) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası.

RF yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılığı haritasının performans analizi için ROC eğrisi yöntemi kullanılmıştır. Buna göre RF yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının AUC değeri 0,950 olarak bulunmuştur (Şekil 4.26). Bu değer modelin doğrulunun “mükemmel” sınıfına karşılık geldiğini göstermektedir.

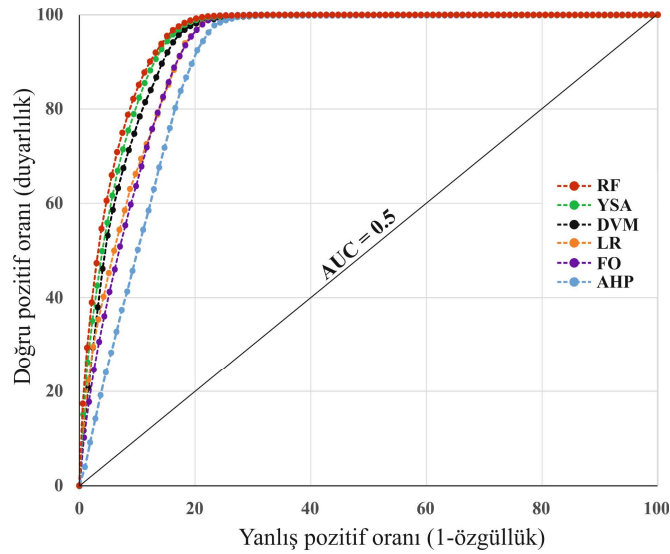
Sonuç olarak, çalışma alanının heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi amacıyla 6 farklı yöntem tercih edilmiştir. RF yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası bu yöntemler arasında en iyi performansı veren yöntem olmuştur. Dolayısıyla sonraki aşamada tehlike haritalarına altlık olarak RF yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası kullanılmıştır.



Şekil 4.26: Rastgele Orman Algoritması (RF) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasının ROC eğrisi.

4.4 Heyelan Duyarlılık Haritalarının Performanslarının Karşılaştırılması

Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde kullanılan 6 yöntemin ROC eğrisi aracılığıyla performansları karşılaştırılmıştır (Şekil 4.27). Buna göre hesaplanan AUC değerleri; Frekans Oranı için 0,92, AHP için 0,893, Lojistik Regresyon için 0,925, Yapay Sinir Ağları için 0,944, Destek Vektör Makineleri için 0,937 ve RF Algoritması için 0,950 hesaplanmıştır. Hesaplanan AUC değerlerine göre AHP yönteminin model doğrulu sınıfında “çok iyi”, FO, LR, DVM, YSA ve RF yöntemlerinin ise “mükemmel” sınıfında olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.27: Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde kullanılan yöntemlerin ROC eğrileri.

4.5 Çalışma Alanının Heyelan Tehlike Analizleri

4.5.1 Zamansal Olasılığın Değerlendirilmesi

Heyelan tehlike kavramından bahsedebilmek için heyelan oluşumuna etki eden bir tetikleyici unsurun, belirli bir zaman aralığında ve belirli bir büyüklükte etki etmesi gerekmektedir. Tez çalışması kapsamında yapılan heyelan tehlike hesaplamaları için Guzzetti vd., (1999)'nin tanımı gereği Zamansal Olasılık hesaplamaları yapılmıştır.

Heyelanları tetikleyici unsur olarak deprem, yağış ve insan faktörü ön plana çıkmaktadır. Bu faktörlerle ilgili yapılan literatür çalışmaları sonucunda herhangi bir standart olmadığı tespit edilmiştir. Yapılan saha çalışmaları, AFAD arşivlerinin incelenmesi ve yerel halkla yapılan görüşmeler sonucunda bölgedeki heyelanlarla ilgili tarihsel veri elde edilmiştir (Tablo 4.15). Ayrıca bu tarihi belirlenen heyelanların tamamının bölgede meydana gelen aşırı yağışlardan sonra gerçekleştiği, dolayısıyla heyelanları aşırı yağışların tetiklediği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle tez çalışması kapsamında Zamansal Olasılığı ortaya koymak için yağış modellemesi üzerinden olasılık hesabı yapılmıştır.

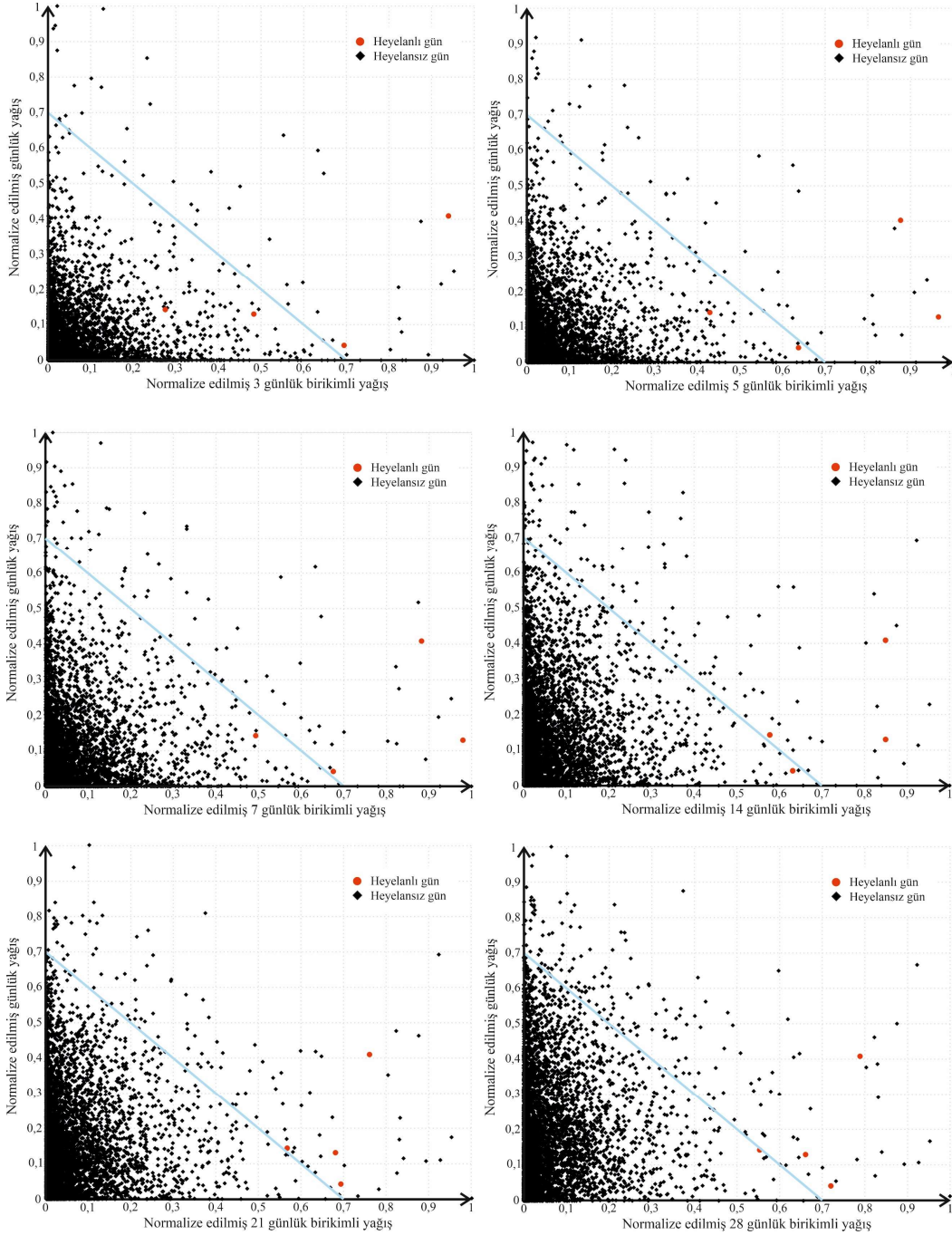
Tablo 4.15: Çalışma alanında tarihi bilinen heyelanlar.

Konum	Heyelan Tarihi
Subaşı köyü eski yerleşim yeri	31.12.1960
Subaşı köyü eski yerleşim yeri	21.12.1963
İlyasköy mevki	9.12.1997
Çanakkale otoyolu	28.11.2005

Çanakkale Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan Çanakkale merkez istasyonuna ait 1960-2021 yılları arasındaki günlük yağış ölçümleri bu analizlerin ham verisini oluşturmaktadır. Bu bağlamda elde edilen yağış verileriyle istatistiksel modelleme yapılarak birikimli yağışlar üzerinden eşik yağış değeri tespit edilmiş ve hesaplanan eşik yağış değerinin farklı yıl periyotları için tekrarlama olasılıkları hesaplanmıştır.

Öncelikli olarak çalışma alanındaki heyelanları tetikleyecek yağış birikiminin kaç günde sağlandığını ortaya koyabilmek amacıyla Terlien (1998) tarafından önerilen birikimli yağış analizi yapılmıştır. Bu doğrultuda Çanakkale merkez istasyonuna ait 1960-2021 yılları arasındaki günlük yağış verileri kullanılarak; her yıl için 3, 5, 7, 14, 21 ve 28 günlük

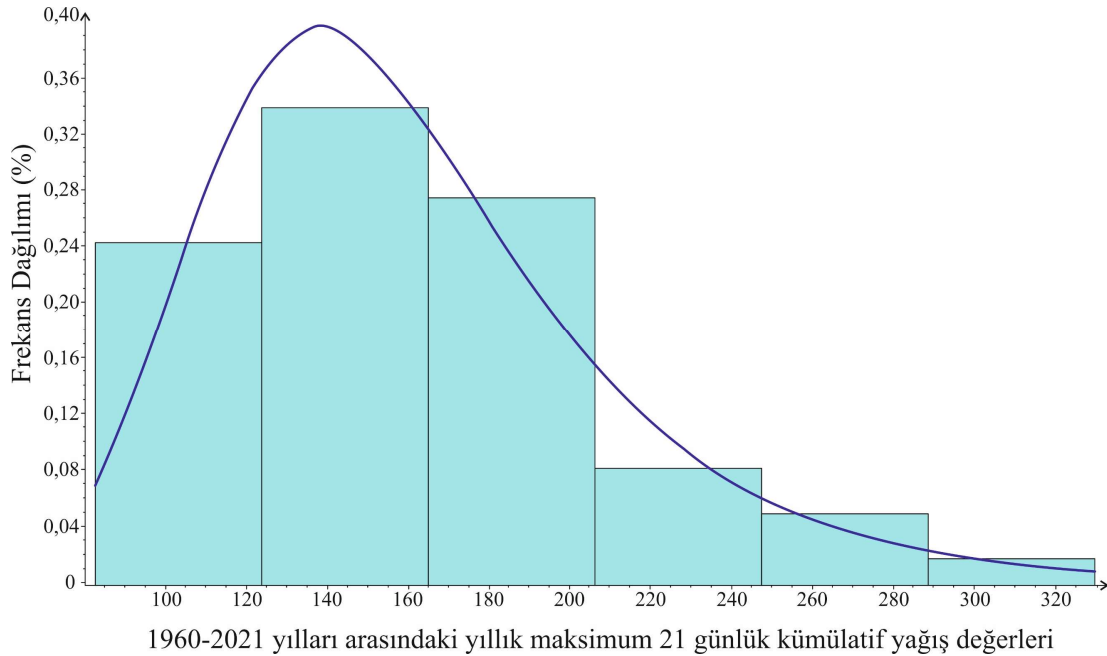
kümülatif yağış değerlerini ifade eden normalize edilmiş kümülatif yağış-günlük yağış grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.28). Bu grafikler üzerinde tarihi bilinen heyelanlar için normalize edilmiş kümülatif yağış-günlük yağış değerleri de gösterilmiştir. Söz konusu grafiklerde siyah noktalar heyelan olmayan günleri ifade etmektenken, kırmızı olan noktalar tarihi bilinen heyelanlı günleri ifade etmektedir.



Şekil 4.28: 3, 5, 7, 14, 21 ve 28 günlük normalize edilmiş kümülatif yağış-günlük yağış grafikleri.

3, 5, 7, 14 ve 28 günlük normalize edilmiş kümülatif yağış-günlük yağış grafiklerinde heyelanlı günleri temsil eden noktaların bazıları 0,7-0,7 referans çizgisi altında kalmışken, 21 günlük birikimli yağış grafiğine bakıldığında, tüm heyelanlı günlerin 0,7-0,7 olarak belirlenen referans çizgisi üzerinde olduğu gözükmemektedir (Şekil 4.28). Dolayısıyla bölgedeki heyelanların, 21 günlük birikimli yağış aldıktan sonra tetiklendiği şeklinde bir yorumlama yapılabilir. 21 günlük birikimli yağış grafiğinde 0,7-0,7 olarak belirlenen referans çizgisi üzerinde olan heyelanlı günlerde en düşük kümülatif yağış değerinin 220 mm olduğu görülmektedir (Şekil 4.28). Bu nedenle 220 mm'lik 21 günlük birikimli yağış değeri, heyelanları tetikleyen eşik yağış değeri olarak alınmıştır.

Sonraki aşamada, tetikleyici faktör olarak belirlenen eşik yağış değerinin aşılma olasılığını belirlemek amacıyla literatürde de sıklıkla kullanılan Gumbel dağılımı kullanılmıştır. Bu tür çalışmalarda Gumbel dağılımının temelinin, yıllık maksimum yağış değerleri oluşturmakta ve analizler bu değerler üzerinden yapılmaktadır. Bu doğrultuda 1960-2021 yılları arası için yıllık 21 günlük kümülatif maksimum yağışların Gumbel dağılımı ve olasılık yoğunluk fonksiyonu grafiği çizilmiştir (Şekil 4.29).

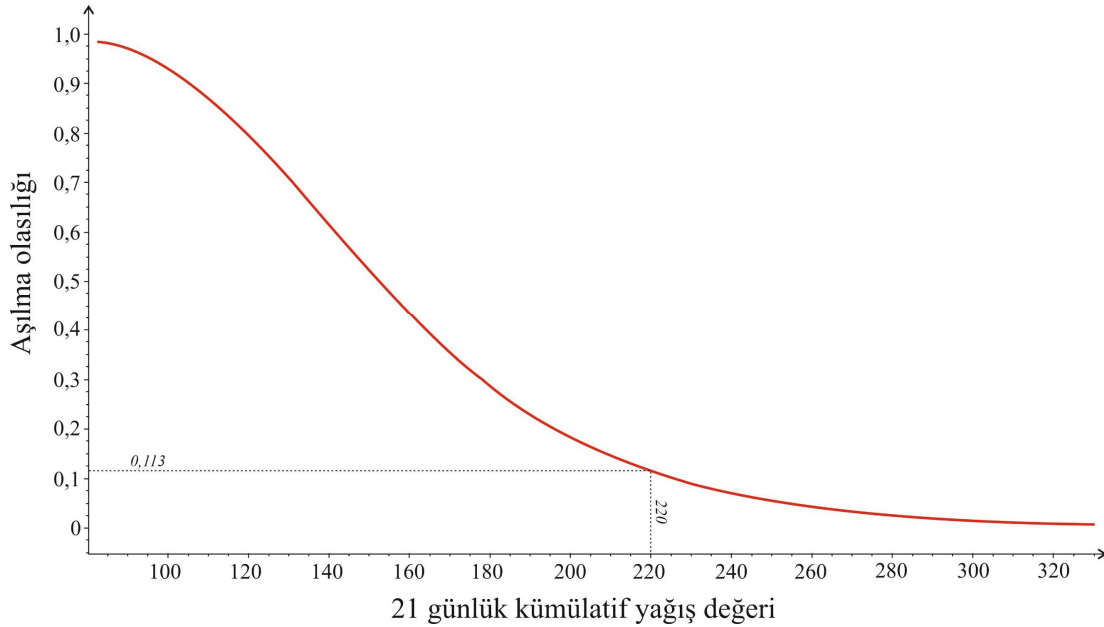


Şekil 4.29: 1960-2021 yılları arası için yıllık maksimum 21 günlük kümülatif yağış değerleri frekans dağılımları.

Sonraki aşamada ise 21 günlük kümülatif yağış miktarlarının 1 yıl için aşılma olasılığı gösteren grafik çizilmiştir. (Şekil 4.30). Tarihi bilinen heyelanlardan yola çıkarak bulunan 220 mm'lik eşik yağış değerinin 1 yılda aşılma olasılığı da 0,113 olarak bulunmuştur. Çalışma alanına ait heyelan tehlike haritaları oluşturulurken 1, 5, 10, 25 ve 50 yıl içinde en az bir kere sözü edilen yağış miktarının aşılma olasılık hesaplamaları dikkate alınmıştır. Belirtilen farklı tekrarlama periyotları için olasılık hesabı aşağıdaki formül vasıtasıyla yapılmıştır (Lee vd., 2021).

$$Pr(N) = \sum_{t=1}^N (1 - p)^{t-1} p = 1 - (1 - p)^N \quad (4.3)$$

Eşitlikte p eşik yağış değerinin aşılma olasılığını, N ise hesaplanmak istenen yıl periyodunu ifade etmektedir. Yukarıdaki eşitlik vasıtasıyla 5, 10, 25, ve 50 yıllık tekrarlama periyotları için eşik yağış değerinin aşılma olasılıkları sırasıyla 0,453, 0,701, 0,951 ve 0,997 olarak hesaplanmıştır.



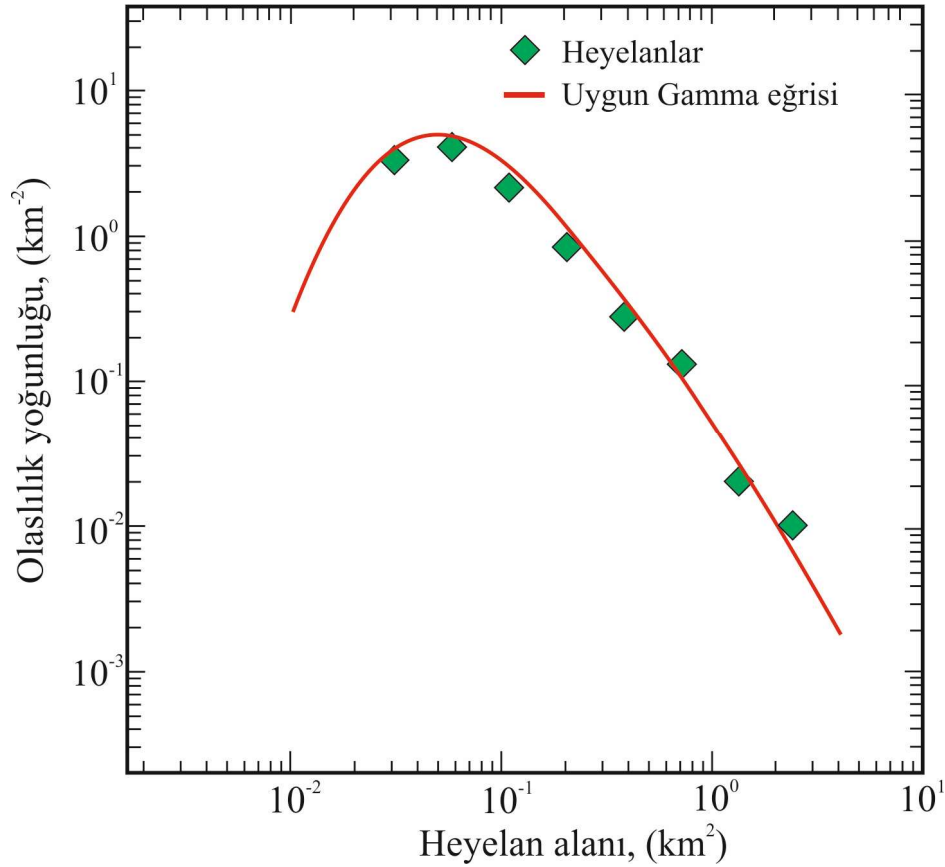
Şekil 4.30: 21 günlük kümülatif yağış değeri olasılık grafiği.

4.5.2 Alansal Olasılığın Değerlendirilmesi

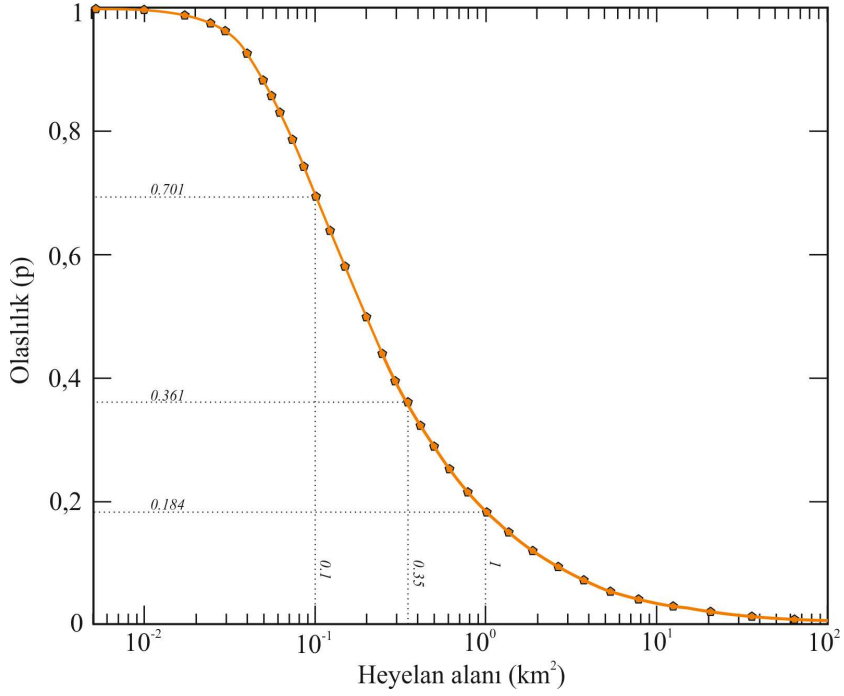
Tehlike analizi için gerekli olan bir diğer olasılık ise alansal olasılıktır. Malamud vd. (2004)'ün önerdiği alansal olasılık hesabı için, belirlenen heyelan alan sınıflarına karşılık

olasılık yoğunluk grafiği çizilmiştir (Şekil 4.31). En küçüğü 0,031 km², en büyüğü ise yaklaşık 3,2 km² olan 75 adet heyelan uygun sınıf aralıklarıyla 8 sınıfa ayrılmıştır. Çizilen grafikte de sınıf aralıklarına karşılık gelen olasılık yoğunluğu değerleri bulunmaktadır. Buna uygun gamma eğrisi de yine 1. Bölümde verilen Eşitlik 3.7 üzerinden elde edilmiştir. Uygun eğri oluşturulduktan sonra elde edilen parametre değerleri; $a=0.151$ km², $\Gamma(\rho)=0.89057$, $s=-0.00819$ km², $\rho = 1.3558$ şeklindedir. Ayrıca oluşturulan eğrinin uyumluluğunu test eden R değeri de 0,986 olarak bulunmuştur.

Elde edilen parametre değerleriyle 1. Bölümde verilen Eşitlik 3.9 kullanılarak alansal olasılık grafiği çizilmiştir (4.32). Sonrasında heyelan tehlike analizi için üç farklı büyüklüğe sahip heyelan boyutu seçilmiştir. Buna göre küçük boyut olarak alınan 0.1 km²den büyük bir heyelanın olma olasılığı 0.701, orta boyut olarak alınan 0.35 km²den büyük bir heyelanın olma olasılığı 0.361 ve büyük boyut olarak alınan 1 km²den büyük bir heyelanın olma olasılığı 0.184 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.32).



Şekil 4.31: Heyelan alan sınıfı-olasılık yoğunluk grafiği.



Şekil 4.32: Heyelan alansal olasılık grafiği.

4.5.3 Heyelan Tehlike Haritalarının Üretilmesi

Tez çalışmasının temel amacı doğrultusunda çalışma alanının heyelan tehlikesini değerlendirmek amacıyla Guzzetti vd. (1999)'nin heyelan tehlike tanımı doğrultusunda zamansal olasılık ve alansal olasılık hesaplamaları yapılmıştır. Bu tanım gereği yapılan tehlike değerlendirmelerinde, heyelanın nerede ($P_{mekansal}$), ne zaman ($P_{zamansal}$) ve ne büyüklükte ($P_{alansal}$) gerçekleşme olasılıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre heyelan tehlikesi Eşitlik 4.4 ile hesaplanmaktadır.

$$Heyelan\ tehlikesi = P_{mekansal} \times P_{zamansal} \times P_{alansal} \quad (4.4)$$

Tehlike haritalarının oluşturulması için en yüksek AUC değerine sahip olan RF (Rastgele Orman Algoritması) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası kullanılmıştır. Yapılan bu hesaplamalar neticesinde çalışma alanına ait küçük, orta ve büyük boyut olarak tanımlanan heyelanların 1, 5, 10, 25 ve 50 yıllık süreçlerde oluşma olasılıklarını gösteren toplam 18 adet heyelan tehlike haritası üretilmiştir (Şekil 4.33, 4.34, 4.35). Çalışma alanına ait heyelan tehlike haritalarına bakıldığında küçük boyutlu olarak sınıflandırılan heyelanların gerçekleşme olasılığının daha fazla olduğu ve yıl aralığının arttığında da heyelan tehlikesinin arttığı gözükmektedir. Orta ve büyük boyutlu olarak sınıflandırılan 0,35

km²den büyük ve 1 km²den büyük heyelanlara ait heyelan tehlike haritalarında ise küçük boyutlu heyelanlara göre olasılığın azaldığını dolayısıyla heyelan tehlikesinin de azaldığı söylenebilir. Ancak söz konusu haritalarda da aynı şekilde yıl aralığı arttıkça heyelan tehlikesi de artmaktadır.

4.6 Çalışma Alanının Heyelan Tehlike Yoğunluğu Analizi

Çalışma alanındaki heyelanların alansal değerlerini kullanarak heyelan büyüklüğü yoğunluk haritası üretilmiştir. Heyelan büyüklüğü yoğunluk haritası, heyelanların km² cinsinden alan değerleri kullanılarak ArcGIS programında yer alan “Kernel Density” komutuyla üretilmiştir (Şekil 4.36). Heyelan büyüklüğü yoğunluk haritasındaki değerler 1 km²ye düşen heyelan alanlarının km² cinsinden ifadesidir.

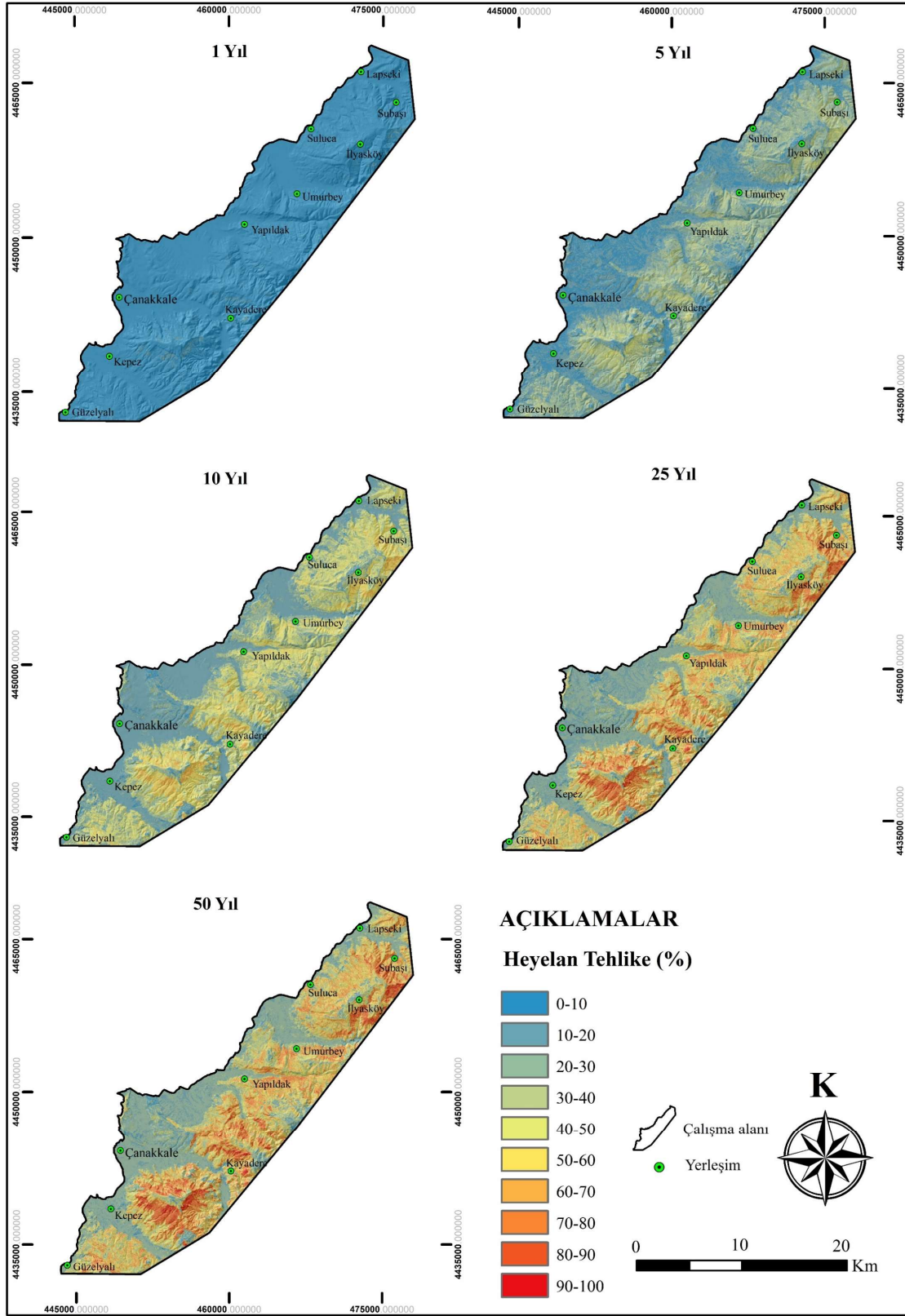
Kernel Density (Çekirdek Yoğunluğu) analizi, tanımlı bir yarıçapa sahip çember içerisine düşen noktaların yoğunluğu ile bu kaynak noktadan itibaren uzaklaştıkça değişen noktasal yoğunluğu ifade etmektedir (ESRI, 2023). Kernel Density ile ilgili hesaplamalar Eşitlik 4.5 ve 4.6’daki formüller vasıtasıyla yapılmaktadır.

$$p_n = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{X_i - observation}{h}\right) \quad (4.5)$$

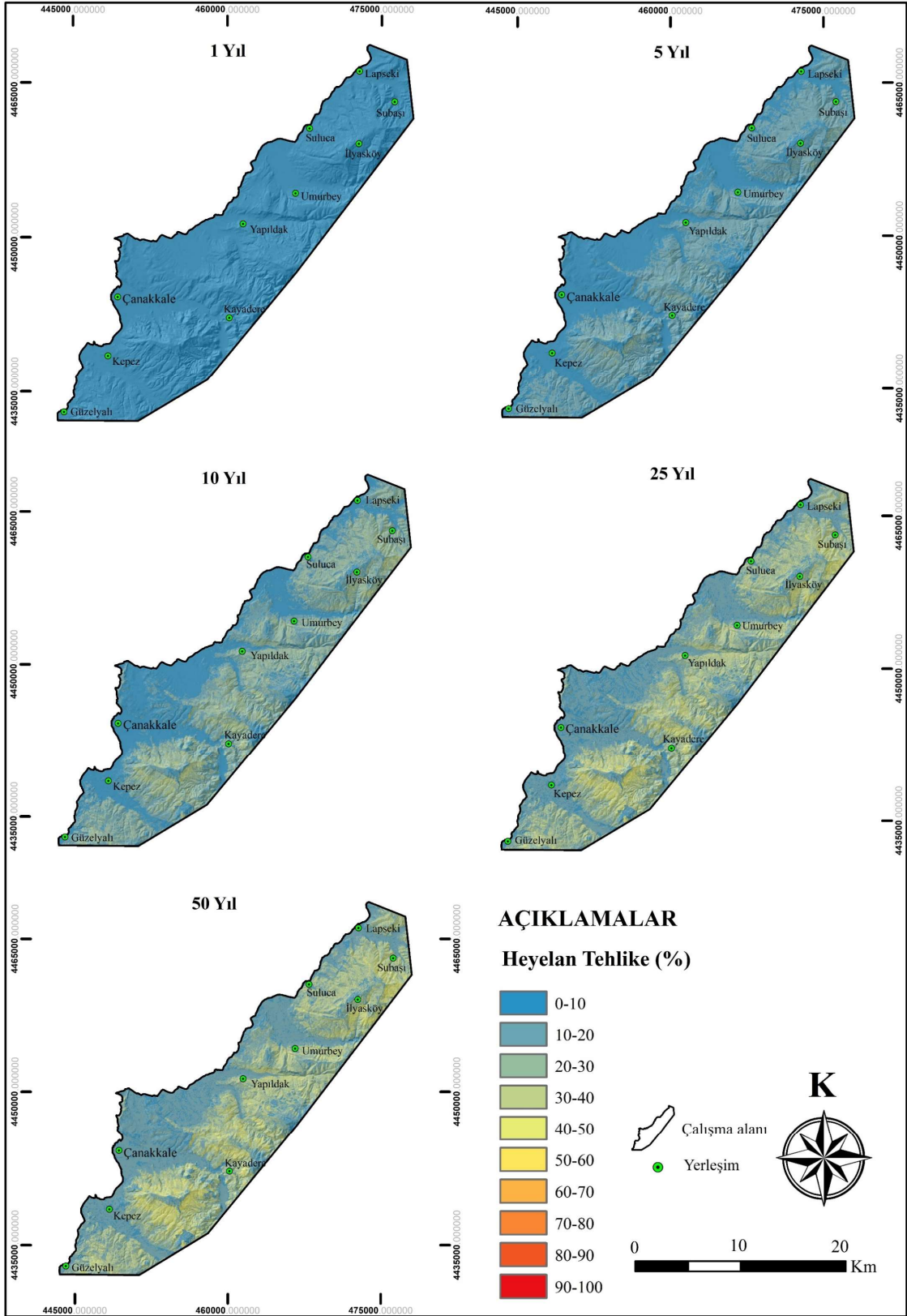
$$k(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2} \quad (4.6)$$

Eşitlikte X_i sabit lokasyonu, $k(x)$ Kernel fonksiyonunu, h ise bant genişliği yumuşatma değerini ifade etmektedir.

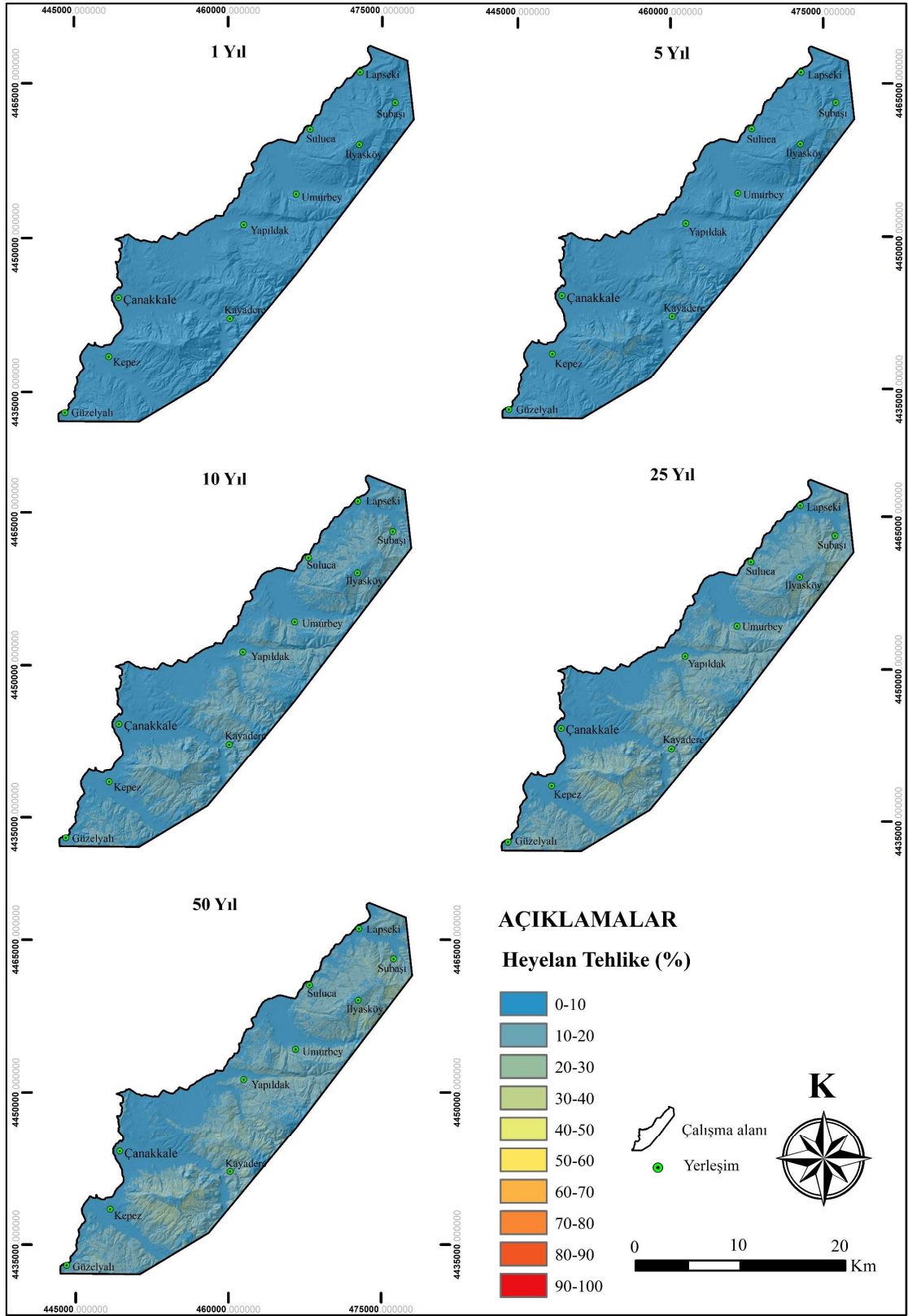
Son aşamada 1, 5, 10, 25, ve 50 yıllık zaman aralıkları için hesaplanan eşik yağış aşılma olasılığı değerleri kullanılarak bu zaman periyotları için heyelan tehlike yoğunluğu haritaları üretilmiştir. Burada kullanılan olasılık değerlerine +1 eklenerek haritalar üretilmiştir (Şekil 37). Sonuç olarak; heyelan büyüklüğü yoğunluk haritası, heyelan duyarlılık haritası ve (1+ eşik yağış değerinin aşılma olasılığı) girdileri matematiksel olarak çarpılmış ve çalışma alanına ait farklı yıl periyotları için heyelan tehlike yoğunluğu analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.33: 1, 5, 10, 25 ve 50 yıllık zaman aralığında 0.1 km²den büyük heyelanlar için heyelan tehlike haritaları.

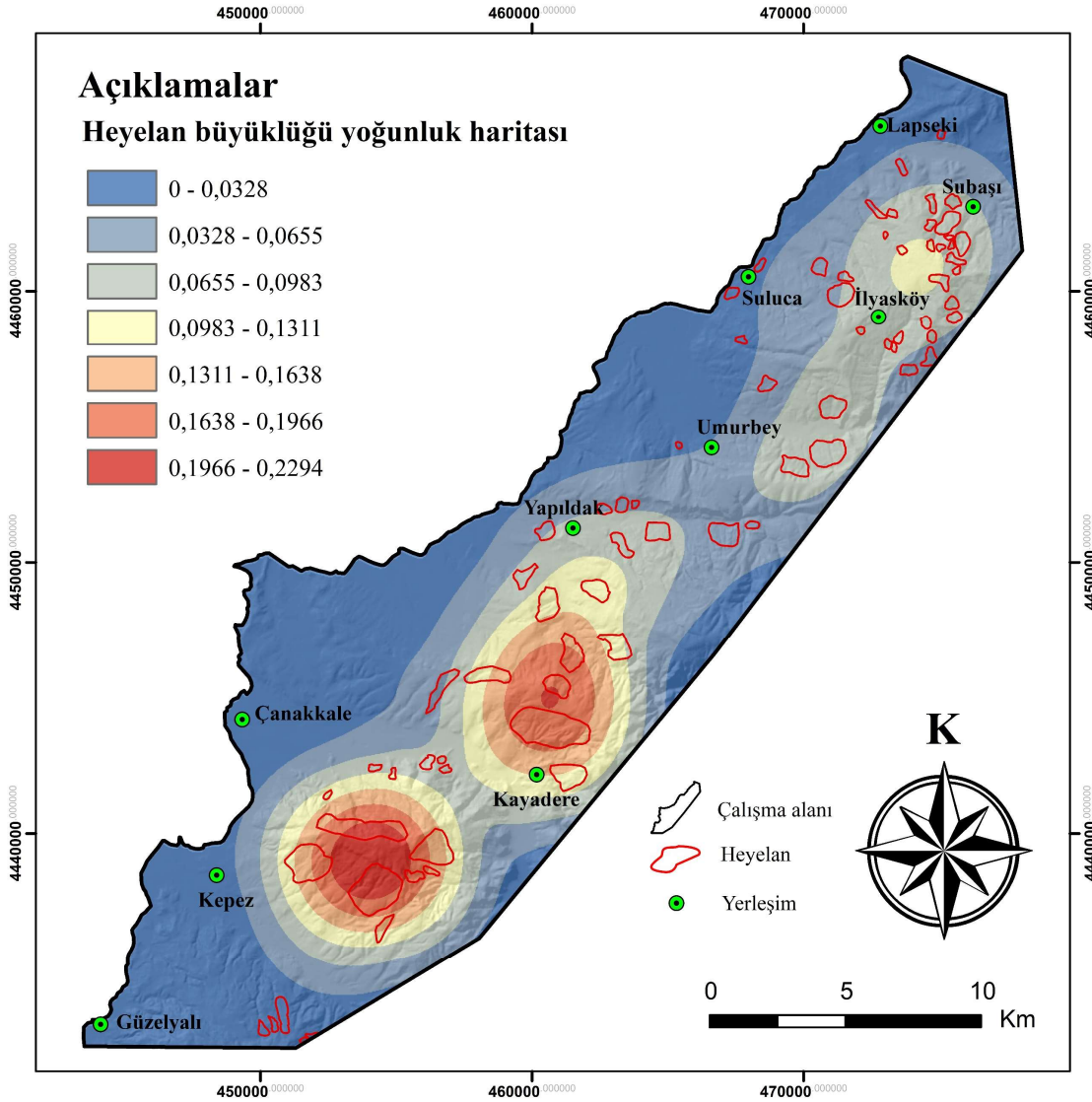


Şekil 4.34: 1, 5, 10, 25 ve 50 yıllık zaman aralığında 0.35 km²den büyük heyelanlar için heyelan tehlike haritaları.



Şekil 4.35: 1, 5, 10, 25 ve 50 yıllık zaman aralığında 1 km²den büyük heyelanlar için heyelan tehlike haritaları.

Çalışma alanına ait üretilen heyelan büyüklüğü yoğunluk haritasında toplam alanın; %35,55'ini yoğunluk değeri 0,0328'den düşük olan alanlar, %25,15'ini değeri 0,0328 ile 0,0655 arasında olan alanlar, %20,67'sini değeri 0,0655 ile 0,0983 arasında olan alanlar, %7,97'sini değeri 0,0983 ile 0,1311 arasında olan alanlar, %4,97'sini değeri 0,1311 ile 0,1638 arasında olan alanlar, %4,06'sını ise değeri 0,1638 ile 0,2294 arasında olan alanlar kaplamaktadır (Şekil 4.36).



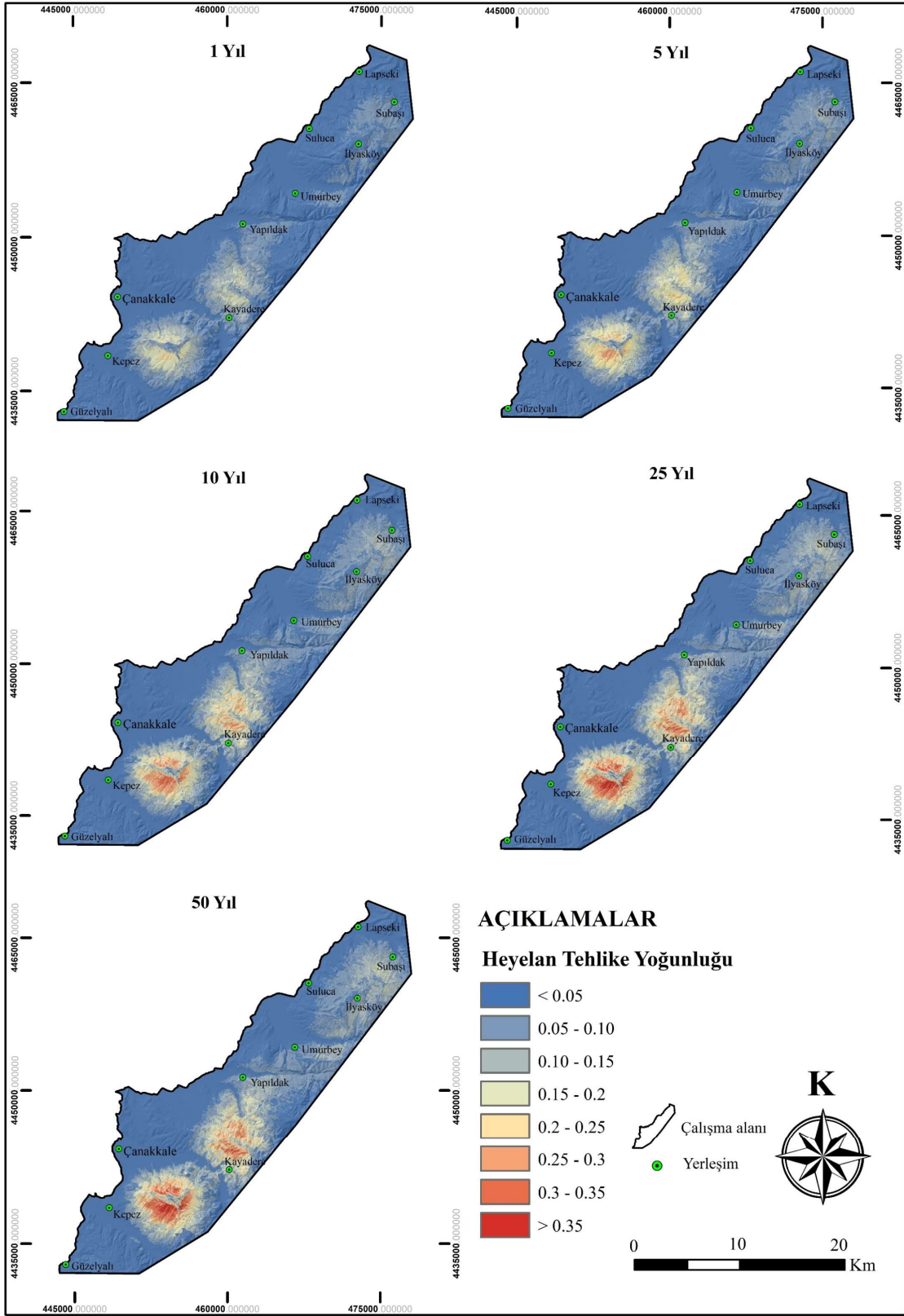
Şekil 4.36: Çalışma alanına ait heyelan büyüklüğü yoğunluk haritası.

1 yıl için üretilen heyelan tehlike yoğunluğu haritasında toplam alanın; %72,58'ini heyelan tehlike yoğunluğu değeri 0,05'den küçük olan alanlar, %18,96'sını 0,05 ile 0,10 değeri arasında olan alanlar, %5,73'ünü 0,10 ile 0,15 değeri arasında olan alanlar, %2,36'sını 0,15 ile 0,20 değeri arasında olan alanlar ve %0,36'sını değeri 0,20'den büyük olan alanlar kaplamaktadır.

5 yıl için üretilen heyelan tehlike yoğunluğu haritasında toplam alanın; %63,91'ini heyelan tehlike yoğunluğu değeri 0,05'den küçük olan alanlar, %22,26'sını 0,05 ile 0,10 değeri arasında olan alanlar, %7,59'unu 0,10 ile 0,15 değeri arasında olan alanlar, %3,72'sini 0,15 ile 0,20 değeri arasında olan alanlar, %1,96'sını 0,20 ile 0,25 değeri arasında olan alanlar ve %0,55'ini değeri 0,25'ten büyük olan alanlar kaplamaktadır.

10 yıl için üretilen heyelan tehlike yoğunluğu haritasında toplam alanın; %59,03'ünü heyelan tehlike yoğunluğu değeri 0,05'den küçük olan alanlar, %22,68'ini 0,05 ile 0,10 değeri arasında olan alanlar, %9,53'ünü 0,10 ile 0,15 değeri arasında olan alanlar, %4,37'sini 0,15 ile 0,20 değeri arasında olan alanlar, %2,56'sını 0,20 ile 0,25 değeri arasında olan alanlar, %1,40'ını 0,25 ile 0,30 değeri arasında olan alanlar ve %0,43'ünü değeri 0,30'dan büyük olan alanlar kaplamaktadır.

25 yıl için üretilen heyelan tehlike yoğunluğu haritasında toplam alanın; %55,35'ini heyelan tehlike yoğunluğu değeri 0,05'den küçük olan alanlar, %21,73'ünü 0,05 ile 0,10 değeri arasında olan alanlar, %11,55'ini 0,10 ile 0,15 değeri arasında olan alanlar, %5,01'ini 0,15 ile 0,20 değeri arasında olan alanlar, %3,05'ini 0,20 ile 0,25 değeri arasında olan alanlar, %1,91'ini 0,25 ile 0,30 değeri arasında olan alanlar, %1,04'ünü 0,30 ile 0,35 değeri arasında olan alanlar ve %0,37'sini ise değeri 0,35'ten büyük olan alanlar kaplamaktadır.



Şekil 4.37: 1, 5, 10, 25 ve 50 yıllık heyelan tehlike yoğunluğu haritaları.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doktora tez çalışması kapsamında, Biga Yarımadasının kuzeybatısında yer alan Çanakkale il merkezini de içine alan Güzelyalı-Lapseki arasındaki 430 km²lik alanın heyelan duyarlılık, heyelan tehlike ve heyelan tehlike yoğunluğu haritaları üretilmiştir.

Yapılan literatür çalışmalarına saha gözlemlerini de eklediğimizde çalışma alanında heyelan duyarlılığına etki ettiği düşünülen 9 parametre kullanılmış olup bunlar; eğim, baki, eğrisellik, arazi kullanımı, topoğrafik yükseklik, NDVI (Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü İndeksi), akarsulara mesafe, TWI (Topoğrafik Nemlilik İndeksi) ve litolojidir.

Tez çalışmasında heyelan duyarlılık analizleri için toplam 6 adet yöntem kullanılmış olup bunlar; Frekans Oranı, Analitik Hiyerarşi Süreci, Lojistik Regresyon, Yapay Sinir Ağları, Destek Vektör Makineleri ve Rastgele Orman Algoritması şeklindedir.

Tez çalışması kapsamında yürütülen saha çalışmaları sonucunda bölgede 75 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelanların haritalanması esnasında sahada gözlemlenebilen özelliklerine ilişkin kayıtlar tutularak heyelan envanter haritası oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki heyelanların girdi parametreleriyle ilişkileri incelendiğinde genellikle; eğimin çok yüksek olmadığı kesimlerde 10-15° aralığındaki sınıfta heyelan yoğunluğunun %28,16 değeriyle en yoğun olduğu gözlenmiştir. Topoğrafik yükselti ile heyelan yoğunluğu arasındaki ilişkiye göre 150-250 metre aralığındaki sınıfta heyelanların yoğunluğu %37,61 olup düşük topoğrafyalı kesimlerde nadiren heyelan gözlenmiştir. Eğrisellik parametresine baktığımızda ise içbükey yamaçların yanı sıra dışbükey yamaçlarda da heyelanların gözlendiği tespit edilmiştir. Arazi kullanımı parametresinde %41,16 ile Ormanlık Alanlar sınıfında heyelan yoğunluğunun maksimum olduğu gözlenmiştir. Akarsulara mesafe parametresinde akarsu yakınlarını temsil eden iki sınıfta toplam %60 oranında heyelan yoğunluğu hesaplanmış ve mesafe arttıkça heyelan yoğunluğunun azaldığı tespit edilmiştir. Topoğrafik nemlilik indeksi parametresinde TWI değerinin arttıkça heyelan yoğunluğunun azaldığı gözlenmiştir. Normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi parametresinde ise bitki örtüsünün az olduğu kısımlarda heyelan yoğunluğunun da az olduğu tespit edilmiştir. Litoloji parametresinde çalışma sahasında da büyük bir alan kaplayan çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası ardalı birimin heyelan yoğunluğu %45,86 olarak hesaplanmıştır.

Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritaları, tercih edilen 6 yöntemle üretilmiştir. Üretilen tüm haritalarda genel sınıflamaya uygun olarak 5 sınıf belirlenmiştir. Bu sınıfların alansal yüzde dağılımı ve heyelanlı alanlardaki yüzde dağılımları incelenmiştir. Buna göre FO ile üretilen duyarlılık haritasında toplam heyelanlı alanın; %0,02'si çok düşük, %0,78'i düşük, %16,28'i orta, %54,93'ü yüksek ve %27,98'i çok yüksek duyarlılıklı sınıfta, AHP ile üretilen duyarlılık haritasında toplam heyelanlı alanın; %0,62'si çok düşük, %14,37'si düşük, %50,45'i orta, %31,45'i yüksek ve %3,10'u çok yüksek duyarlılıklı sınıfta, LR ile üretilen duyarlılık haritasında heyelanlı alanların %3,17'si çok düşük %26,85'i düşük, %26,36'sı orta, %20,62'si yüksek ve %23,00'ü çok yüksek duyarlılıklı sınıfta, YSA ile üretilen duyarlılık haritasında heyelanlı alanların ise %0,41'i çok düşük, %3,37'si düşük, %23,61'i orta, %56,96'sı yüksek ve %15,66'sı çok yüksek duyarlılıklı sınıfta, DVM ile üretilen duyarlılık haritasında toplam heyelanlı alanın ise %0,65'i çok düşük, %7,48'i düşük, %15,17'si orta, %38,07'si yüksek ve %38,62'si çok yüksek duyarlılıklı sınıfta, RF ile üretilen duyarlılık haritasında toplam heyelanlı alanların ise %0'ı çok düşük, %2,47'si düşük, %17,76'sı orta, %51,89'u yüksek ve %27,87'si çok yüksek duyarlılıklı sınıfta yer almaktadır.

Üretilen duyarlılık haritalarının performans analizi ROC eğrisi ile yapılmıştır. Bunun sonucunda elde edilen AUC değerleri; FO için 0,92, AHP için 0,893, LR için 0,925, YSA için 0,944, DVM için 0,937 ve RF için 0,950 olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan AUC değerlerine göre AHP yönteminin model doğruluğu sınıfında “çok iyi”, FO, LR, DVM, YSA ve RF yöntemlerinin ise “mükemmel” sınıfında olduğu ortaya çıkmıştır. Duyarlılık haritalarında en iyi performansı veren RF yöntemi ile üretilen harita verdiğinden tehlike analizlerinde bu harita kullanılmıştır.

Heyelan tehlike haritalarının oluşturulabilmesi için Zamansal Olasılık hesaplamaları yapılmıştır. Çalışma sahasındaki heyelanları aşırı yağışın tetiklediği düşünüldüğünden Zamansal Olasılık hesaplamaları yağış modellemesi üzerinden yapılmıştır. Bu doğrultuda Çanakkale merkez istasyonuna ait 1960-2021 yılları arasındaki günlük yağış verileri kullanılarak; her yıl için 3, 5, 7, 14, 21 ve 28 günlük kümülatif yağış değerlerini ifade eden normalize edilmiş kümülatif yağış-günlük yağış grafikleri çizilmiştir. Yapılan analizler sonucunda bölgedeki heyelanların, 21 günlük birikimli yağış aldıktan sonra tetiklendiği yorumu yapılmıştır. Tetikleyici faktör olarak belirlenen eşik yağış değerinin aşılma olasılığını belirlemek amacıyla literatürde de sıklıkla kullanılan Gumbel dağılımı

kullanılmıştır. Tarihi bilinen heyelanlardan yola çıkarak bulunan 220 mm'lik eşik yağış değerinin 1 yılda aşılma olasılığı da 0,113 olarak bulunmuştur. 5, 10, 25, ve 50 yıllık tekrarlama periyotları için eşik yağış değerinin aşılma olasılıkları sırasıyla 0,453, 0,701, 0,951 ve 0,997 olarak hesaplanmıştır.

Tehlike analizleri için gerekli bir diğer olasılık ise Alansal Olasılıktır. Malamud vd. (2004)'ün önerdiği alansal olasılık hesabı için, belirlenen heyelan alan sınıflarına karşılık olasılık yoğunluk grafiği çizilmiştir. En küçüğü 0,031 km², en büyüğü ise yaklaşık 3,2 km² olan 75 adet heyelan uygun sınıf aralıklarıyla 8 sınıfa ayrılmıştır. Uygun eğri oluşturulduktan sonra elde edilen üç parametreleri ters gamma dağılımındaki parametre değerleri; $a=0.151$ km², $\Gamma(p)=0.89057$, $s=-0.00819$ km², $\rho =1.3558$ şeklindedir. Ayrıca oluşturulan eğrinin uyumluluğunu test eden R değeri de 0,986 olarak bulunmuştur. Tehlike analizi için seçilen üç farklı büyüklüğe sahip heyelan boyutu olasılıkları ise; küçük boyut olarak alınan 0.1 km²den büyük bir heyelanın olma olasılığı 0.701, orta boyut olarak alınan 0.35 km²den büyük bir heyelanın olma olasılığı 0.361 ve büyük boyut olarak alınan 1 km²den büyük bir heyelanın olma olasılığı 0.184 olarak hesaplanmıştır.

Tehlike haritalarının oluşturulması için en yüksek AUC değerine sahip olan RF (Rastgele Orman Algoritması) yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası kullanılmıştır. Yapılan tüm hesaplamalar neticesinde çalışma alanına ait küçük, orta ve büyük boyut olarak tanımlanan heyelanların 1, 5, 10, 25 ve 50 yıllık süreçlerde oluşma olasılıklarını gösteren toplam 18 adet heyelan tehlike haritası üretilmiştir. Heyelan tehlike haritalarında; küçük boyutlu olarak sınıflandırılan heyelanların gerçekleşme olasılığının daha fazla olduğu ve yıl aralığının arttığında da heyelan tehlikesinin arttığı gözükmemektedir. Orta ve büyük boyutlu olarak sınıflandırılan 0,35 km²den büyük ve 1 km²den büyük heyelanlara ait heyelan tehlike haritalarında ise küçük boyutlu heyelanlara göre olasılığın azaldığını dolayısıyla heyelan tehlikesinin de azaldığı söylenebilir. Ancak söz konusu haritalarda da aynı şekilde yıl aralığı arttıkça heyelan tehlikesi de artmaktadır.

Doktora tez çalışmasının son aşamasında çalışma alanındaki heyelanların alansal değerlerini kullanarak heyelan büyüklüğü yoğunluk haritası üretilmiştir. Heyelan büyüklüğü yoğunluk haritası, heyelanların km² cinsinden alan değerleri kullanılarak ArcGIS programında yer alan "Kernel Density" komutuyla üretilmiştir. Son aşamada 1, 5, 10, 25, ve 50 yıllık zaman aralıkları için hesaplanan eşik yağış aşılma olasılığı değerleri kullanılarak bu zaman

periyotları için heyelan tehlike yoğunluğu haritaları üretilmiştir. Burada kullanılan olasılık değerlerine +1 eklenerek haritalar üretilmiştir. Sonuç olarak; heyelan büyüklüğü yoğunluk haritası, heyelan duyarlılık haritası ve (1+ eşik yağış değerinin aşılma olasılığı) girdileri matematiksek olarak çarpılmış ve çalışma alanına ait farklı yıl periyotları için heyelan tehlike yoğunluğu analizleri yapılmıştır.

Arazide yapılan çalışmalar, heyelanlara ait kayıtlar, yöre halkından alınan bilgiler ve internet kayıtları çalışma alanındaki heyelanların yağışlar tarafından tetiklendiğini göstermiştir. Bu nedenle bölgenin deprenselliğine ait bir değerlendirme yapılmamış olup tehlike haritalarının üretiminde bu durum dikkate alınmıştır. Ancak Kuzey Anadolu fay zonuna ait Ganos fayı çalışma alanının yaklaşık 25 km kuzeybatısında yer almaktadır. Ayrıca Kuzey Anadolu fay zonunun güney koluna ait faylar çalışma alanımızın yaklaşık 40 km doğusundan geçmektedir. Söz konusu bu fayların çalışma alanında üreteceği en büyük yer ivmesinin heyelanları tetikleyip tetiklemeyeceği araştırılmalı ve yörede yapılacak yamaç duraylılığı çalışmalarında söz konusu ivmeler dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmada üretilen heyelan duyarlılık, heyelan tehlike ve heyelan tehlike yoğunluğu haritaları Çanakkale ilinin mekânsal planlanmasında esas alınacak temel (altlık) haritalar olarak kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Alba, E., Chicano, J. (2004). Training neural networks with GA hybrid algorithms, *Genetic Evolutionary Computation*, 3102,852-863.
- Aleotti, P. and Chowdhury, R. (1999) Landslide hazard assessments: Summry reiew and new perspective, *Bulletin of Engineering Geology of the Environment*, 58, 21-44.
- Alkeveli, T. (2015). *Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde örneklem stratejileri ve bazı karar verme ağaçları algoritmalarının kullanımı üzerine bir araştırma*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Ayalew, L., Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65/1-2, 15-31.
- Atabey, E., Ilgar, A., Sakıtaş, A. (2004). Çanakkale havzasının Orta – Üst Miosen stratigrafisi, Çanakkale, KB Türkiye. *MTA Dergisi*, 128, 79-97.
- Bai, S., Wang, J., Lu, G.N., Zhou, P.G., Hou, S.S., Xu, S.N. (2010). GIS-based and logistic regression for landslide susceptibility mapping of Zhongxian segment in the Three Gorge area,China. *Geomorphology*, 115, 23-31. 10.1016/j.geomorph.2009.09.025.
- Banshtu, R. S., Versain, L. D., Pandey, D. D. (2020). Risk assessment using quantitative approach: Central Himalaya, Kullu, Himachal Pradesh, India. *Arabian Journal of Geosciences*. 13, 219.
- Beguieria, S. (2006). Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management, *Natural Hazards*, 37, 315-329.
- Bican, B. (2014). *Zaman serilerinin öngörüsü için GKA tabanlı DVR metodları*, (Yüksek Lisans Tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği ABD, 9-21.
- Biçer, Ç., Ercanoğlu, M. (2020). A semi-quantitative landslide risk assessment of central Kahramanmaraş City in the Eastern Mediterranean region of Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*. 13. 10.1007/s12517-020-05697-w.
- Bingöl, E., Akyürek, B., Korkmazer, B. (1973). Biga Yarımadası'nın jeolojisi ve Karakaya formasyonunun bazı özellikler: Cumh. 50. Yılı Yerbilimleri kongresi tebliğler dergisi, MRA yayınları, 70-76.

- Breiman, L. (2001). Random forests, *Machine Learning*, 45(1), 5-32.
- Bui, D., Löffman, O., Revhaug, I., Dick, Ø. (2011). Landslide susceptibility analysis in the Hoa Binh province of Vietnam using statistical index and logistic regression. *Natural Hazards*, 59, 1413–1444. 10.1007/s11069-011-9844-2.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., and Reichenbach, P. (1991). GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16, 427-445.
- Ceryan, N., Ceryan, Ş. (2008). An application of the interaction matrices method for slope failure susceptibility zoning: Dogankent settlement area (Giresun, NE Turkey), *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67, 375–385.
- Ceryan, Ş. (1990). *Şebinkarahisar (Giresun) ve çevresinin kitle hareketleri açısından incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon.
- Chang, M., Cui, P., Dou, X., Su, F. (2021). Quantitative risk assessment of landslides over the China-Pakistan economic corridor. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 63, 102441. 10.1016/j.ijdr.2021.102441.
- Chen, W., Xie, X., Wang, J., Pradhan, B., Hong, H., Bui, D., Duan, Z., Ma, J. (2017a). A comparative study of logistic model tree, random forest, and classification and regression tree models for spatial prediction of landslide susceptibility. *Catena*, 151, 147-160. 10.1016/j.catena.2016.11.032.
- Chen, W., Panahi, M., Pourghasemi, H. (2017b). Performance evaluation of GIS-based new ensemble data mining techniques of adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) with genetic algorithm (GA), differential evolution (DE), and particle swarm optimization (PSO) for landslide spatial modelling. *Catena*, 157, 310–324. 10.1016/j.catena.2017.05.034.
- Chen, W., Peng, J., Hong, H., Shahabi, H., Pradhan, B., Liu, J., Zhu, A.X., Pei, X., Duan, Z. (2018). Landslide susceptibility modelling using GIS-based machine learning techniques for Chongren County, Jiangxi Province, China. *Science of The Total Environment*. 626. 10.1016/j.scitotenv.2018.01.124.

- Çölkesen, İ. (2015). *Yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri kullanarak benzer spektral özelliklere sahip doğal nesnelere ayırt edilmesine yönelik bir metodoloji geliştirme*, (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dağdelenler, G. (2013). *Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde örneklem ve doğrulama stratejilerinin değerlendirilmesi (Gelibolu Yarımadası'nın doğu kesimi)* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi Veritabanı.
- Demirbağ, E., Gökaşan, E., Kurt, H. ve Tepe, C. M. (1998). Çanakkale Boğazı kuzeydoğusunun oluşumu üzerine düşünceler. *Deniz Jeolojisi, Türkiye Deniz Araştırmaları*, İstanbul, 33-38.
- Dikshit, A., Sarkar, R., Pradhan, B., Acharya, S., Alamri, A. (2020). Spatial landslide risk assessment at Phuentsholing, Bhutan. *Geosciences (Switzerland)*. 10. 131. 10.3390/geosciences10040131.
- Dönmez, M., Akçay, E.A., Genç, Ş.C. ve Acar, Ş. (2005). Biga Yarımadası'nda Orta-Üst Eosen volkanizması ve denizel ignimbritler: MTA Dergisi, sayı 131, 49-61.
- Dönmez, M., Akçay, E.A., Duru, M., Ilgar, A., Pehlivan, Ş. (2008). 1:100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları Çanakkale-H17 Paftası, MTA Raporu, sayı 101.
- Ercan, T., Satır, M., Steinitz, G., Dora, A., Sarıfakıoğlu, E., Adis, C., Walter, H. J., Yıldırım, T. (1995). Biga Yarımadası ile Gökçeada, Bozcaada ve Tavşan adalarındaki (KB Anadolu) Tersiyer volkanizmasının özellikleri, MTA Dergisi, 117, 55-86.
- Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C. (2002). Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environmental Geology*. 41. 720-730. 10.1007/s00254-001-0454-2.
- Ercanoğlu, M. (2005). Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea Region, Turkey) by artificial neural networks, *Natural Hazards and Earth System Science*, 5, 979-992.
- Ercanoğlu, M. (2019). Heyelan haritalama teknikleri üzerine genel bir değerlendirme, Balıkesir'in Afet Durumu ve Yönetimi Çalıştayı, 109-128.
- Ermini, L., Catani, F., Casagli, N. (2005). Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology*, 66, 327-343.

- Erol, O. (1968). Çanakkale boğazı çevresinin jeomorfolojisi hakkında ön not. *A. Ü. D.T.C.F. Yayınları Coğrafya Araştırmaları Dergisi* 2(2), 57-87.
- Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis, *Pattern Recognition Letters*, 27, 8, 861-874.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., Savage, W. Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning, *Engineering Geology*, 102, 85-98.
- Fu, S., Chen, L., Woldai, T., Yin, K., Gui, L., Li, D., Du, J., Zhou, C., Xu, Y., Lian, Z. (2020). Landslide hazard probability and risk assessment at the community level: a case of western Hubei, China. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20, 581-601. 10.5194/nhess-20-581-2020.
- Genç, C. Ş., Dönmez, M., Akçay, A. E., Altunkaynak, Ş., Eyüpoğlu, M., Ilgar, Y. (2012). *Biga yarımadası Tersiyer volkanizmasının stratigrafik, petrografik ve kimyasal özellikleri*. Biga Yarımadasının Genel Jeolojisi ve Ekonomik Jeolojisi, 28.
- Gomez, H., Kavzoglu, T. (2005). Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology*, 78, 11-27.
- Gökçeoğlu, C., Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler, *Yerbilimleri*, 23, 189-206.
- Gumbel, E.J. (1958). *Statistics of extremes*, Columbia University Press, New York.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evolution: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216.
- Ham, F. M., Kostanic, I. (2000). *Principles of neurocomputing for science and engineering*. McGraw-Hill Higher Education, 672 (ISBN:978-0-07-025966-9).
- Huang, P., Peng, L., Pan, H. (2020). Linking the Random Forests model and GIS to assess Geo-hazards risk: A case study in Shifang County, China. *IEEE Access*, 8, 1-1. 10.1109/ACCESS.2020.2972005.

- Huangfu, W., Wu, W., Zhou, X., Lin, Z., Zhang, G., Chen, R., Song, Y., Lang, T., Qin, Y., Ou, P., Zhang, Y., Xie, L., Huang, X., Fu, X., Li, J., Jiang, J., Zhang, M., Liu, Y., Shanling, P., Liu, W. (2021). Landslide Geo-Hazard risk mapping using Logistic Regression modeling in Guixi, Jiangxi, China. *Sustainability*, 13, 4830. 10.3390/su13094830.
- IAEG, (1990). A suggested method for reporting a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 41, 5-12.
- IAEG, (1993). A Suggested Method For Describing The Activity Of A Landslide. Bulletin International Association For Engineering Geology, 53-57.
- IAEG, (1995). A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 52, 75-78.
- Ildır, B. (1995). Türkiye’de heyelanların dağılımı ve afetler yasası ile ilgili uygulamalar. 2. *Ulusal Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Sakarya, 1-9.
- Ilgar, A., Demirci, E. S., Duru, M., Pehlivan, Ş., Dönmez, M., Akçay, A. E. (2008). 1:100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları Çanakkale-H15 ve H16 paftaları, MTA Raporu, sayı 100.
- İRAP. (2021). İlk afet risk azaltma planı, Çanakkale.
- Kayastha, P., Dhital, M.R., DeSmedt, F. (2013). Application of the Analytical Hierarchy Process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal. *Computers & Geosciences*, 52, 398–408.
- Lee, S., Ab Talib, J. (2005). Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental Geology*, 47, 982-990. 10.1007/s00254-005-1228-z.
- Lee, S. (2005). Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data, *International Journal of Remote Sensing*, 26, (7-10), 1477-1491.
- Lee, S.W., Chun, K.W., Kim, M.S., Catani, F., Choi, B., Seo, J.I. (2021). Effect of antecedent rainfall conditions and their variations on shallow landslide-triggering rainfall thresholds in South Korea. *Landslides*, 18, 569–582.

- Lin, W., Yin, K., Wang, N., Xu, Y., Guo, Z., Li, Y. (2020). Landslide hazard assessment of rainfall-induced landslide based on the CF-SINMAP model: a case study from Wuling Mountain in Hunan Province, China. *Natural Hazards*. 106. 1-22. 10.1007/s11069-020-04483-x.
- Liu, X., Miao, C. (2018). Large-scale assessment of landslide hazard, vulnerability and risk in China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 9, 1037-1052.
- Malamud, B.D., Turcotte, D.L., Guzzetti, F., Reichenbach, P. (2004). Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms* 29(6), 687-711.
- McCulloch, W.S., Pitts, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent innervous activity, *Bull. Math. Biophys.*, 5, 115–133.
- Mishra, M., Sarkar, T. (2020). A multistage hybrid model for landslide risk mapping: tested in and around Mussoorie in Uttarakhand state of India. *Environmental Earth Sciences*, 79, 10.1007/s12665-020-09180-3.
- Malamud B.D, Turcotte D.L., Guzzetti F., Reichenbach P. (2004). Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29(6):687-711.
- Mehrotra, G.S., Sarkar, S., and Dharmaraju, R. (1992). Landslide hazard assessment in Rishikesh-Tehri area, Garhwal Himalaya, India. *Proceedings of 6th International Symposium on the Landslides*, 10-14 February 1992, Christchurch, England, D.H. Bell (ed.), Balkema, 1001-1007.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2022). [Online] Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr>.
- Nefeslioglu, H., Gokceoglu, C., Sonmez, H. (2008). An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology*, 97(3), 171–191.
- Nocedal, J., Wright, S. J. (2006). Numerical optimization, 2nd ed., New York: Springer.
- Ott, R.L. and Longnecker, M. (2001). An introduction to statistical methods and data analysis, 5th edn. Duxbury Press, USA.

- Paudel, B., Fall, M., Daneshfar, B. (2021). Gis-based assessment of debris flow Runout in Kulekhani Watershed, Nepal. *Geotechnical and Geological Engineering*, 39, 1-21. 10.1007/s10706-020-01655-1.
- Perera, E., Jayawardana, D., Ranagalage, M., Dissanayake, D., Wijenayaka, H.M.D. (2020). Introduce a framework for landslide risk assessment using geospatial analysis: a case study from Kegalle District, Sri Lanka. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 10.1007/s40808-020-00811-z.
- Pourghasemi, H., Kariminejad, N., Amiri, M., Edalat, M., Zarafshar, M., Thomas, B., & Edalat, M. (2020). Assessing and mapping multi- hazard risk susceptibility using a machine learning technique. *Scientific Reports*, 10, 10.1038/s41598-020-60191-3.
- Psomiadis, E., Charizopoulos, N., Efthimiou, N., Soulis, K., Charalampopoulos, I. (2020). Earth observation and GIS-based analysis for landslide susceptibility and risk assessment. *International Journal of Geo-Information*, 9, 552. 10.3390/ijgi9090552.
- Ram, P., Gupta, V. (2021). Landslide hazard, vulnerability, and risk assessment (HVRA), Mussoorie township, lesser himalaya, India. *Environment Development and Sustainability*. 10.1007/s10668-021-01449-2.
- Rejith, R. G., Anirudhan, S., Sundararajan, M. (2019). Delineation of groundwater potential zones in hard rock terrain using integrated remote sensing, GIS and MCDM techniques: A case study from vamanapuram river basin, Kerala, India. *In GIS and Geostatistical Techniques for Groundwater Science*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815413-7.00025-0>.
- Rong, G., Li, K., Han, L., Alu, S., Zhang, J., Zhang, Y. (2020). Hazard mapping of the rainfall–landslides disaster chain based on GeoDetector and Bayesian Network models in Shuicheng County, China. *Water*, 12, 2572. 10.3390/w12092572.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. and Deering, D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, 301–317. Greenbelt, MD: NASA.
- Saaty, T.L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures, *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 3, 234-281.

- Saaty T.L. (1980). The analytic hierarchy process: planning, priority setting, *Resource Allocation*, McGraw-Hill Comp., New York, USA.
- Saltık, O. (1974). Şarköy-Mürefte sahaları jeolojisi ve petrol olanakları, TPAO Raporu, 879.
- Shano, L., Raghuvanshi, T., Meten, M. (2021). Landslide hazard zonation using Logistic Regression Model: The case of Shafe and Baso Catchments, Gamo Highland, Southern Ethiopia. *Geotechnical and Geological Engineering*. 10.1007/s10706-021-01873-1.
- Skilodimou, H., Bathrellos, G., Chousianitis, K., Youssef, Dr. A., Pradhan, B. (2019) Multi-hazard assessment modeling via multi-criteria analysis and GIS: a case study. *Environmental Earth Sciences*, 78, 10.1007/s12665-018-8003-4.
- Şentürk, K., Karaköse, C. (1987). Çanakkale Boğazı ve dolayışının jeolojisi: MTA Raporu, 371, 207.
- Talaei, R., Samadov, S. (2018). Quantitative landslide risk analysis in the Hashtchin area (NW-Iran). *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 22, 883-909. 10.1080/19648189.2016.1229224.
- Tatlıldil, H. (1996). Uygulamalı çok değişkenli istatistiksel analiz, Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, *Akademi Matbaası*, Ankara, 424 s.
- Tekin, S., (2019). *Göksu Nehri havzasının coğrafi bilgi sistemleri tabanlı jeomorfolojik analizi ve niceliksel heyelan olası tehlike değerlendirmesi*, (Doktora Tezi), Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği ABD.
- Terlien, M. T. J. (1998). The determination of statistical and deterministic hydrological landslide-triggering thresholds, *Environmental Geology*, 35, 124-130.
- Tsai, F., Hwang, J. H., Chen, L. C., Lin, T. H. (2010). Post-disaster assessment of landslides in southern Taiwan after 2009 Typhoon Morakot using remote sensing and spatial analysis, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 2179-2190.
- Usul, N. (2001). *Engineering hydrology*, METU Press Publishing Company, Ankara, 404.
- Vapnik, V. N. (1995). The nature of statistical learning theory, *Springer-Verlag*, New York.
- Vapnik, V. N. (1998). *Statistical learning theory*, New York, Wiley-Interscience.

- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes in landslides: analysis and control. Edited by R. L. Schuster And R. J. Krizek. Transportation Research Board, *National Academy Of Science*, Washington. Special Report 176, Chapter 2, 11-33.
- Varnes, D.J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, Commission of Landslides of the IAEG, UNESCO, *Natural Hazards*, 3, 61.
- Wang K., Zhang S. (2021). Rainfall-induced landslides assessment in the Fengjie County, Three-Gorge reservoir area, China, *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, Springer;International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, vol. 108(1), pages 451-478, August.
- Xiong, J., Li, J., Zhang, H., Sun, M., Cheng, W. (2019). Quantitative hazard assessment of landslides using the Levenburg–Marquardt Back Propagation Neural Network method in a Pipeline area. *Geosciences*, 9, 449. 10.3390/geosciences9100449.
- Zhang, Y., Wu, W., Qin, Y., Lin, Z., Zhang, G., Chen, R., Song, Y., Lang, T., Zhou, X., Huangfu, W., Ou, P., Xie, L., Huang, X., Shanling, P., Shao, C. (2020). Mapping landslide hazard risk using Random Forest Algorithm in Guixi, Jiangxi, China. *International Journal of Geo-Information*, 9, 10.3390/ijgi9110695.
- Zheng, Q., Lyu, H.M., Zhou, A., Shen, S.L. (2021). Risk assessment of geohazards along Cheng-Kun railway using fuzzy AHP incorporated into GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12, 1508-1531. 10.1080/19475705.2021.1933614.
- Zou, Q., Cui, P., He, J., Lei, Y., Li, S. (2019). Regional risk assessment of debris flows in China-An HRU-based approach. *Geomorphology*, 340.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Samet Berber
Doğum tarihi ve yeri : 25.04.1990
e-posta : sametberber@balikesir.edu.tr

Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Doktora	Balıkesir Üniversitesi/Jeoloji Mühendisliği	2017-...
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/Jeoloji Mühendisliği	2014-2017
Lisans	Hacettepe Üniversitesi/Jeoloji Mühendisliği	2008-2013
Lise	Çan İbrahim Bodur Anadolu Lisesi	2004-2008

Yayın Listesi

S. Berber, N. Ceryan, G. Esin, Ş. Ceryan "Kaya Kütlelerinin Dayanım Özelliklerinin Tahmininde Kullanılan Görgül İlişkilerin Karşılaştırılması Üzerine Bir Çalışma", *Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu 2015* (Sözlü Bildiri).

S. Berber, N. Ceryan, Ş. Ceryan "A new the weathering classification for rock mass using Rock Engineering System and its application", *ICENS 2016*, (Sözlü Bildiri).

N. Ceryan, S. Berber, Ş. Ceryan "Prediction of unconfined compressive strength of weathered rocks using P-durability index and porosity in soft computing models", *ICENS 2016*, (Sözlü Bildiri)

Ş. Ceryan, N. Ceryan, S. Berber "The effects of weathering state on the shear strength of discontinuity: A case study on the weathered granitic rock joints, NE Turkey", *ICENS 2016*, (Sözlü Bildiri)

Ş. Ceryan, S. Berber "Çağış Göleti (Bigadiç/Balıkesir) Yeri ve Rezervuar Alanının Mühendislik Jeolojisi Araştırmaları" DSİ 25. Bölge Müdürlüğü Ortak Proje, 2018.

Ş. Ceryan, G. Büyükkahraman, S. Berber, F. Çoban "BAUN Mühendislik Fakültesi binalarının bulunduğu alanın (Çağış, Balıkesir) deprem tehlike analizi, dinamik özellikleri ve standart deprem yer hareketi spektrumları", *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2022.

S. Berber, Ş. Ceryan "Güzelyalı-Lapseki (Çanakkale) arasındaki bölgenin heyelan duyarlılığının analitik hiyerarşi süreci yöntemiyle (AHP) değerlendirilmesi" *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2023. [Tezden üretilmiştir]