

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

ÖNSÖZ

“Ordu İli Medrese Mikro Havzası Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi Ve Heyelana Duyarlı Alanların Silvikültürel Açıdan Değerlendirilmesi” adlı bu çalışma KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Bu tez çalışması Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü ile Kamu İşbirliği İçeren Uygulamalı Çalışma kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Yüksek Lisans sürecim boyunca bilgi ve tecrübesi ile beni yönlendiren, desteklerini ve emeklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. İbrahim TURNA’ya en içten teşekkürlerimi sunarım. Tez izleme komitemde yer alarak değerli görüş ve önerileri ile çalışmamın şekillenmesini sağlayan Sayın Doç. Dr. Fahrettin ATAR, Sayın Prof. Dr. Sinan GÜNER’e, çalışmama görüşlerini sunan Sayın Prof. Dr. Deniz GÜNEY’e ve yardımlarını esirgemeyen Dr. Ali BAYRAKTAR’a teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmam süresince, deneyimleri ve yönlendirmeleri ile tezimde çok büyük emekleri olan değerli iş arkadaşım Dr. Zehra KAYA TOPAÇLI’ ya, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım değerli arkadaşım Doç. Dr. Şeyda EMEKÇİ’ye ve Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğündeki yöneticilerime ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak; eğitim hayatımın her aşamasında bana destek vererek varlıklarını her zaman yanımda hissettiğim aileme ve kıymetli kardeşim Aylin DEMİRHAN’a teşekkürlerimi sunarım.

Ayten DEMİRHAN

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ordu İli Medrese Mikrohavzası Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi ve Heyelana Duyarlı Alanların Silvikültürel Açıdan Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. İbrahim TURNA’nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 30/10/2024

Ayten DEMİRHAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Heyelan Kavramı	2
1.3. Amaç ve Kapsam	3
1.4. Literatür Özeti.....	6
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	11
2.1. Materyal	11
2.1.1. Konumu.....	11
2.1.2. Hidrolojik Özellikler	12
2.1.3. İklim Durumu	13
2.1.4. Bitki Örtüsü ve Arazi Kullanımı	14
2.1.5. Ormancılık Faaliyetleri	15
2.1.6. Sahanın Jeolojik Yapısı.....	16
2.2. Yöntem	20
2.2.1. Heyelan Duyarlılık Değerlendirme Yöntemi	20
2.2.2. Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması.....	21
2.2.3. Arazi Kullanım Durumu Haritası.....	23
2.2.4. Yamaç Eğrisellik Haritası	24
2.2.5. Havzanın Nehir Aşındırma Gücü İndeksi	24
2.2.6. Topoğrafik Nemlilik Endeksi.....	24
2.2.7. Eğim Uzunluğu (L) ve Eğim Dikliği (S) Faktörü	25

3. BULGULAR.....	27
3.1. Ekolojik Özelliklere İlişkin Bulgular.....	27
3.1.1. Hidrolojik Özellikler	29
3.1.2. İklim Durumu	30
3.1.3. Bitki Örtüsü ve Arazi Kullanımı	32
3.2. Heyelan Duyarlılık Analizine İlişkin Bulgular	35
3.3. Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulmasına Ait Bulgular	37
3.3.1. Arazi Kullanım Durumu.....	39
3.3.2. Yükselti	42
3.3.3. Yamaç Eğimi.....	44
3.3.4. Bakı	46
3.3.5. Yamaç Eğriselliği	48
3.3.6. Nehir Aşındırma Gücü İndeksi (SPI)	50
3.3.7. Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TWI).....	51
3.3.8. Eğim Uzunluğu (L) ve Eğim Dikliği (S) Faktörü	53
3.3.9. Drenaj Yoğunluğu	55
3.3.10. Drenaja Olan Mesafe.....	56
3.3.11. Yol Yoğunluğu	58
3.3.12. Yola Yakınlık	60
3.3.13. Erozyon Durumu	61
3.3.14. Yağış Miktarı.....	63
3.4. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametrelere İlişkin Bulgular	64
3.5. Silvikültürel Müdahalelere İlişkin Bulgular	69
3.6. Rastgele Orman (RO) Analizinin Doğrulamasına İlişkin Bulgular.....	71
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	74
5. ÖNERİLER.....	79
6. KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ORDU İLİ MEDRESE MİKROHAVZASI HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ ÜRETİLMESİ VE HEYELANA DUYARLI ALANLARIN SİLVİKÜLTÜREL AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ayten DEMİRHAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. İbrahim TURNA
2024, 88 Sayfa

Bu tez çalışması ile Ordu ilinin Medrese mikro havzası heyelan duyarlılığı açısından değerlendirilerek meydana gelen stabilizasyon sorunlarından kaynaklanan heyelanların, sürdürülebilir arazi kullanımı (tarım orman, mera ve yerleşim alanları) bakımından arazide yapılan müdahaleler ile ilişkisi ortaya koyularak ormanların koruyucu etkisi incelenmiştir.

Tez çalışması kapsamında ilk olarak arazi ve büro çalışmalarından tarihi ve güncel veriler derlenerek heyelan envanter haritası oluşturulmuştur. Söz konusu heyelanlar ve bu heyelanları oluşturan etmenlerin ele alınması ile çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası makine öğrenme yöntemlerinden Rastgele Orman (RO) kullanılarak oluşturulmuştur. Duyarlılık analizinde 16 parametre ile değerlendirme yapılmıştır. Heyelan duyarlılık haritası; çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık olarak sınıflarına ayrılmıştır.

Sonuç olarak alanın heyelan duyarlılığı üzerinde; yükselti, %19,1 etkilenme oranı ile en yüksek etkiye, drenaj yoğunluğu, %15,1 etkilenme oranı ile ikinci en yüksek etkiye, arazi kullanımı % 0,9 oranı ile en düşük etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Heyelana duyarlı alanlarda ormanların koruyucu fonksiyonu dikkate alınarak ormanlarda yapılacak silvikültürel müdahalelerin nasıl ve ne yönde olması gerektiğine ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, Heyelan Duyarlılık, Silvikültürel Faaliyetleri

MSc. Thesis

SUMMARY

CREATION OF ORDU PROVINCE MEDRESE MICROCATCHMENT LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAP AND EVALUATION OF LANDSLIDE SUSCEPTIBLE AREAS IN TERMS OF SILVICULTURE

Ayten DEMİRHAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. İbrahim TURNA
2024, 88 Pages

The aim of this study was to evaluate the landslide susceptibility of the Medrese micro-basin in the province of Ordu and to investigate the protective effect of forests by showing the relationship between landslides caused by stabilisation problems and the interventions made on the land in terms of sustainable land use (agriculture, forest, pasture and settlement areas).

In the initial phase of the thesis study, a landslide inventory map was constructed by integrating historical and contemporary data from both field and office-based research. A landslide susceptibility map was created for the study area using Random Forest (RF), one of the machine learning methods, based on the landslide inventory and the factors forming these landslides. A total of 16 parameters were evaluated in the susceptibility analysis. The landslide susceptibility map is classified into five categories, namely very low, low, medium, high and very high susceptibility.

The results demonstrated that elevation had the greatest impact on landslide susceptibility, accounting for 19.1% of the total effect. Drainage density was identified as the second most influential factor, contributing 15.1% to the overall susceptibility. In contrast, land use exhibited the lowest effect, accounting for only 0.9% of the total susceptibility. In light of the protective function of forests in landslide-prone areas, an evaluation was conducted to determine the optimal silvicultural interventions for forests in these regions.

Key Words: Landslide, Landslide Susceptibility, Silvicultural Activities

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Heyelan sınıflamalarında kullanılan heyelan çeşitlerinin genelleştirilmiş şematik gösterimi (AFAD, 2015).....	3
Şekil 2. Havzanın 1/1.500.000 ölçekli heyelan envanteri haritasında yer alan aktif (kırmızı) ve eski (sarı) heyelanlar (Duman, Çan, & Emre, 2011).....	6
Şekil 3. Çalışma alanının güncel uydu görüntüsü	12
Şekil 4. Havzanın drenaj ağı haritasının güncel uydu görüntüsüne uygulaması	13
Şekil 5. Araştırma alanına ait jeoloji haritası	17
Şekil 6. Heyelan duyarlılık değerlendirme yöntemleri (Aleotti, 1999).....	21
Şekil 7. Heyelan duyarlılık haritası iş akış planı	23
Şekil 8. Havzadaki tarım ve orman alanlarında meydana gelen heyelanlar	28
Şekil 9. Havzanın drenaj ağı haritası	29
Şekil 10. Çalışma alanının yağış miktarı haritası	31
Şekil 11. Çalışma alanının arazi kullanım haritası	32
Şekil 12. Çalışma alanının CORİNE 2000-2018 yılları arazi örtüsü	34
Şekil 13. Çalışma alanının 2000- 2018 yılları arasında arazi örtüsü değişimi	34
Şekil 14. Heyelan envanter haritası	36
Şekil 15. RO yöntemiyle oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.....	38
Şekil 16. Arazi kullanım durumu haritası.....	40
Şekil 17. Heyelanların yükseltiye göre yüzdesel dağılımı	42
Şekil 18. Çalışma alanının yükselti haritası.....	43
Şekil 19. Heyelanların eğime göre yüzdesel dağılımı	44
Şekil 20. Çalışma alanı eğim haritası	45
Şekil 21. Heyelanların bakılara göre yüzdesel dağılımı	46
Şekil 22. Çalışma alanı bakı haritası	47
Şekil 23. Çalışma alanı eğrisellik haritası	49
Şekil 24. Çalışma alanı nehir aşındırma gücü haritası	50
Şekil 25. Heyelanların TWI'e göre yüzdesel dağılımı	51
Şekil 26. Çalışma alanı topoğrafik nemlilik indeksi haritası.....	52
Şekil 27. Çalışma alanı LS haritası.....	54
Şekil 28. Çalışma alanı drenaj yoğunluğu haritası	56

Şekil 29. Çalışma alanı drenaja olan mesafe haritası	57
Şekil 30. Çalışma alanı yol yoğunluğu haritası	59
Şekil 31. Çalışma alanı yola olan mesafe haritası	60
Şekil 32. Heyelanların şiddet sınıflarına göre yüzdesel dağılımı	61
Şekil 33. Çalışma alanı erozyon durumu haritası	62
Şekil 34. Çalışma alanı 2004-2019 yılları arası ortalama yağış miktarı haritası.....	63
Şekil 35. Kullanılan parametrelerin heyelana duyarlı alanları belirlemedeki etkisi	65
Şekil 36. Arazi kullanım türlerine göre heyelan duyarlılık sınıflarının yüzdesel dağılımı	69
Şekil 37. Çalışma alanında yer alan meşcere tipleri.....	70
Şekil 38. Rastgele orman modelinin doğrulanmasına ilişkin ROC analizi grafiği.....	72

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Ordu İline ait uzun yıllar (1959-2023) meteorolojik veriler (MGM, 2024).....	14
Tablo 2. Çalışma için kullanılan veri seti	22
Tablo 3. Heyelan Duyarlılık Sınıflarının Alan Yüzdesi Dağılımı	39
Tablo 4. Arazi kullanım durumunun yüzdesel dağılımı	39
Tablo 5. Karışıklık matrisi.....	72
Tablo 6. Çalışma alanının performans analiz verileri.....	73

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AFAD	: T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
ÇEMGEM	: Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü
CORİNE	: Coordination of Information on the Environment
HGM	: Harita Genel Müdürlüğü
LR	: Lojistik Regresyon
LS	: Eğim Dikliği ve Eğim Uzunluğu
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
RO	: Rastgele Orman
ROC	: Relative Operating Characteristic
RUSLE	: Revised Universal Soil Loss Equation
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TULİP	: Türkiye Dayanıklı Peyzaj Entegrasyonu Projesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünya genelinde çevresel dengeleri ve tabii afetlerin frekansını derinden etkileyen bir fenomen olan iklim değişikliği atmosferdeki sera gazı yoğunluğunun artmasına, küresel sıcaklıkların yükselmesine, yağış düzenlerinin değişmesine ve ekstrem hava olaylarının sıklığının artmasına neden olmaktadır. Bu değişiklikler, toprağın stabilitesini ve yerel ekosistemleri doğrudan etkileyerek heyelan gibi jeolojik felaketlerin meydana gelme olasılığını artırmaktadır.

Ülkemizde iklimik, jeomorfolojik ve jeolojik karakterleri ile her çeşit kütle hareketlerinin meydana gelmesi bakımından müsait şartlara sahiptir. Eğimli arazilerdeki doğal bitki materyalin ortadan kaldırılması ya da zarar görmesi; değişik gayeler için arazinin hatalı kullanılması da bu türlü kütle hareketlerinin oluşma hızını arttırmaktadır.

Son yıllarda heyelanların sosyal, ekonomik ve ekolojik açıdan verdiği zararlar nedeniyle, bu zararlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. Bu gibi zararları azaltmak, etkili bir planlama ve yönetim ile mümkündür. Bunun için yapılacak olan her türlü planlamada tehlike arz eden heyelana duyarlı alanların belirlenerek stabilizasyona yönelik olarak kolay uygulanabilir, ekonomik ve çevreye uyumlu çalışmalarının yapılması kaçınılmazdır. Bu çerçevede yapılacak olan heyelan duyarlılık, tehlike ve risk analizlerinin bilimsel ve doğru incelenebilmesinde izlenecek yollardan biri, heyelanların meydana gelmesinde hangi parametrelerin aktif olduğu bilinmesi ve bunlar içerisindeki öncelik sıralamasının tespit edilmesidir.

Heyelan oluşumundaki önemli parametrelerden bir de arazi kullanımı ve bitki örtüsüdür. Arazi kullanımındaki ve bitki örtüsündeki bozulmalar ya da değişimler, doğal afetlerin hem oluşumu hem de sonuçları üzerindeki etkisi arttırmıştır. Son yıllarda yaşanan sel, taşkın ve heyelan olayları, yanlış arazi kullanımı ve bitki örtüsünün tahribi ile yakından ilgilidir. Eker, (2013), yüksek eğimli ve harekete eğilimli sahalardaki tıraşlanmış yerlerde, ağaçlık alanlara kıyasla 2,8 kat ve aşırı yollarla parçalanmış yerlerde ise 30 kat daha fazla heyelanın görüldüğü ve yine hidrolojik ve jeomorfik yapıda ciddi değişikliklere sebep olan ormancılık faaliyetlerinden özellikle tıraşlama uygulamaları ve yol inşası, heyelanların meydana gelme sıklığını arttırdığı belirtilmiştir.

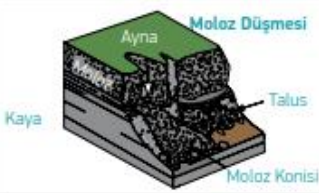
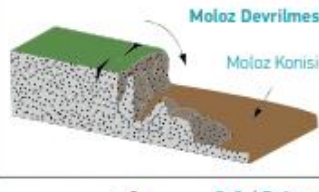
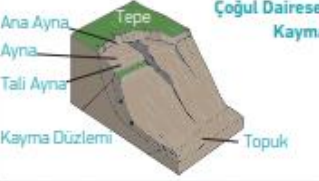
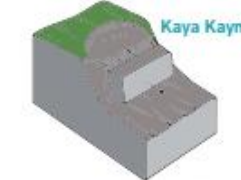
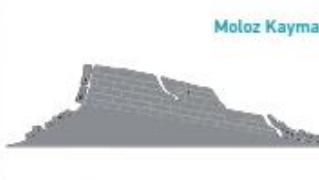
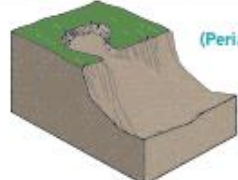
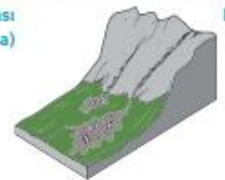
20. yüzyıl itibarıyla dünyada meydana gelen yenilikçi gelişmeler ve artan sanayi-teknolojik dönüşüm, kentleşme sürecini hızlandırmıştır. Bu süreçle birlikte, nüfusun çoğalması yeni yerleşim ve tarım alanlarına olan ihtiyacı artırmış, bu alanların zorunlu ve bilinçsiz bir şekilde genişlemesi ormanların tahribatına yol açmıştır. Doğal alanların bu şekilde yok edilmesi, meydana gelen doğal afetlerin yayılım alanlarını genişletmiş ve yıkıcı etkilerini güçlendirmiştir.

1.2. Heyelan Kavramı

Heyelanlar, kütle hareketleri olarak bilinen olgular, jeolojik, jeomorfolojik, klimatolojik ve meteorolojik faktörlerin yanı sıra insan faaliyetlerine bağlı olarak yamaç stabilitesinin bozulmasıyla meydana gelmektedir. Hem doğal süreçler hem de insan etkileri, kütlenin hareketini tetikleyen ve bu hareketin türünü belirleyen unsurlar arasında yer alır. Bunun yanı sıra, yamaç üzerindeki hareketin hızını etkileyen, kütlenin kayma derecesini artıran ya da azaltan birçok faktör ve ardışık olaylar zinciri de devreye girmektedir. Yamaç dengesinin bozulması sonucunda, yerçekiminin etkisiyle kayalar, ufalanmış taşlar, toprak ve tabaka gibi arazinin bir kısmı eğim doğrultusunda hareket ederek konumunu ve şeklini değiştirebilir (Öztürk, 2002).

Heyelanların dağılımını kontrol eden faktörler olarak iklim koşulları, orman yangınları, akarsu drenaj ağı, doğal veya bitki örtüsünün kaldırılması, yamaçların düzenlenmesi ve diğer kırsal ve kentsel uygulamalar gibi insan etkisi ile yapılan müdahaleler sayılabilir. Her bir durumda yerel ve bölgesel koşullara bağlı olarak heyelan tiplerinin de değiştiğini bilmek önemlidir (Highland, 2008).

Avrupa Birliği Mekânsal Bilgi Altyapısını (INSPIRE) oluşturmayı amaçlayan direktifte (Varnes, 1978) heyelan sınıflamaları kullanmıştır (Şekil 1). Yamaçlarda meydana gelebilecek değişiklikleri çeşitli şekillerde kategorize edildiğini ve bu sınıflandırmaların teşhisi, kontrol edilmesi ve iyileştirilmesi gibi farklı amaçlarla öne çıkarılabileceği belirtilmektedir. Sahayı analiz etme ve sınıflama; hareketin nevi, ana materyalin strüktürü, hareketin hızı, oluşan malzemenin ve ortaya çıkan sahanın yeni geometrisi, nedenler, hareket eden kütlenin kopma derecesi, jeolojik yapı ile kayma geometrisi arasındaki bağlantı, yeniden oluşum derecesi, tip örneğinin coğrafik mevkii, aktivite ve etkinlik durumu kriterlerine göre gruplandırmıştır (Anaçalı & Şirin, 2015).

Düşme				
Devrilme				
Kayma	Dönel			
	Ötelenmeli (Düzlemsel)			
Yanal Yayılma				
Akma				
Karmaşık				

Şekil 1. Heyelan sınıflamalarında kullanılan heyelan çeşitlerinin genelleştirilmiş şematik gösterimi (AFAD, 2015)

1.3. Amaç ve Kapsam

İklim değişikliğinden kaynaklı aşırı yağışlar, yoğun yol ağı, yanlış arazi kullanımı ve tarımsal (tarla, bahçe, sulu-kuru tarım vb.) faaliyetler heyelanların aktif hale getirilmesine neden olmaktadır. Türkiye'nin kuzey bölgeleri ve özellikle Karadeniz'in kuzeye bakan

yönleri, bulunduğu fizyografik, jeolojik ve iklimatik yapısı nedeniyle heyelanlara karşı yüksek oranda hassas bir coğrafyadır.

Doğu Karadeniz Bölgesi'nin Ordu-Giresun alt havzasında bulunan Bolaman Nehri Havzası, heyelanlar, su taşkınları ve doğal kaynakların bozulması gibi çevresel sorunlardan ciddi şekilde etkilenen alanlar arasındadır. Bu havzada, toprak erozyonu, orman ekosistemlerinin tahribatı, yüzey sularının kirlenmesi, heyelanlar, kuraklık ve sel gibi Doğu Karadeniz Havzası'na özgü pek çok sorun bir arada yaşanmaktadır (OGM, 2024).

Orman Genel Müdürlüğü 2021-2027 yıllarını kapsayan Ordu ilinin 12 ilçesi ile Tokat ilinin 3 ilçesinin bulunduğu Bolaman Çayı Havzasında Dünya Bankası destekli Türkiye Dayanıklı Peyzaj Entegrasyonu Projesini (TULİP) başlatmıştır. Projenin Bolaman Havzası'nda başta seller, heyelanlar ve taşkınlar gibi küresel iklim değişikliğinden dolayı ortaya çıkan felaketler, arazi kullanımından verimin ve elde edilen ürünlerin gerek miktar gerekse kalitesinin azalmasına neden olmaktadır. Yağışlı bir bölge olmasına rağmen gerekli bilimsel önlemlerin alınamaması, altyapıya önem verilememesi, su kaynaklarının doğru değerlendirilememesi, bölgenin özellikle iklimsel nedenlerden kaynaklanan sorunlara karşı duyarlı olması çok çeşitli doğa olaylarıyla karşı karşıya kalmayı gerektirmektedir. Bu sorunlar da yerel halkın mevcut doğal kaynaklardan yeterli seviyelerde yararlanamamasına, dolayısıyla yaşaması ya da gelir düzeyinin belirli seviyelere taşıyabilmesi için başta ormanlık alanlar olmak üzere doğal kaynakların sömürülmesine neden olmaktadır. Buradan sonuç alınamaması durumunda da kırsaldan kentlere göç etmek durumunda kalmaktadır. Bu durum bir yandan sosyo-ekonomik diğer yandan da doğal kaynakların verimli kullanılamamasından kaynaklanmaktadır. Bu kapsamda, çeşitli proje çalışmaları ile entegre havza yönetimi esaslarına göre ıslah edilmiş tabii kaynakları, verimli, ekosisteme uygun kontrollü arazi değerlendirme yöntemleri ile daha verimli hale getirmek amaçlanır. Bu çalışmalar esnasında öncelikle heyelan, sel ve taşkınlar gibi afetlere neden olabilecek alt yapı başta olmak üzere çeşitli önleyici tedbirlerle de bir yandan doğal kaynaklardan maksimum verim alınarak hem gelir kaynağı sağlanır hem de göçün önüne geçilebilir.

Bu amaçlarla tez çalışmasında Ordu İli Medrese mikro havzasının heyelan duyarlılık haritası Rastgele Orman (RO) yöntemi ile CBS tabanlı olarak oluşturulmuştur. Çalışma alanının heyelan envanter haritasının tesisi edilmesinde hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri gibi uzaktan algılama teknikleri ile direk arazi çalışmalarından yararlanılarak toplam 126 adet heyelan haritalandırılmıştır. Bu doğrultuda duyarlılık haritasında 126 heyelana sebep olduğu düşünülen parametreler (yüksekti, yamaç eğimi, bakı, eğrisellik, arazi kullanımı,

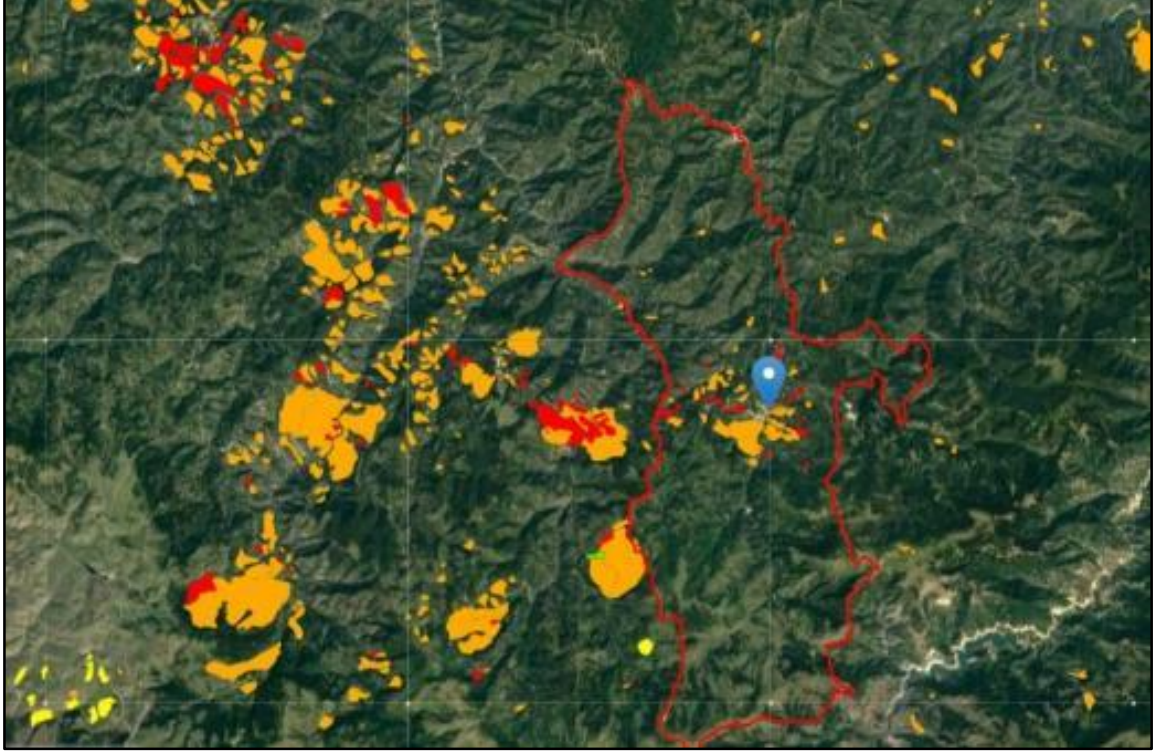
jeoloji, yağış miktarı, erozyon durumu, LS, yola yakınlık, yol yoğunluğu, drenaja olan mesafe, drenaj yoğunluğu, SPI, TWI) kullanılmıştır.

Doğu Karadeniz Bölgesi, sınırlı toprak alanları ve eğimli arazilerden oluşan bir topografyaya sahip olup, bol yağış alan ve bu sayede sürekli yeşil kalan bitki örtüsüne ev sahipliği yapan bir bölgedir. Ancak, arazi kullanımına uygun sınıflandırmalara dikkat edilmeden yapılan tarımsal faaliyetler, toprak verimliliğinin azalmasına ve şiddetli erozyonlarla birlikte sel ve heyelanlar nedeniyle can ve mal kayıplarına yol açmaktadır. Aynı şekilde, yüksek dağlık bölgelerde gerçekleştirilen yaylacılık ve bilinçsiz otlatmalar da arazi tahribatlarına neden olmakta, bu tahribatlar yukarıdan aşağıya doğru yayılmaktadır (Turna, 2023).

Netice olarak, araştırma sonucu oluşturulan heyelan duyarlılık haritası; çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıflarına ayrılmıştır. Üretilen heyelan duyarlılık haritasında duyarlılığın orta yüksek ve çok yüksek olduğu sahalarda yapılması gereken ormancılık faaliyetleri (silvikültürel müdahaleler, ağaçlandırma vb.) açısından sonuçlar değerlendirilmiştir.

Ayrıca tez çalışma alanı olarak Ordu İli Medrese mikrohavzasının seçilmesinin nedenleri;

- Havzanın heyelana karşı oldukça hassas olması (Şekil 2),
 - Havzanın geçmişinde ortaya çıkan çok sayıda heyelan olayının var olması,
 - Tarım ve orman alanları ile yerleşim yerlerinin heyelan tehdidi altında bulunmasıdır.
- Çalışmanın ana gayesine ulaşabilmesi için aşağıda verilen hedefler dikkate alınmıştır:
- Araştırma alanında yapılan arazi gözlemlerine ve daha önceden yapılmış araştırmalara dayanarak heyelan oluşumuna neden olan faktörlerin belirlenmesi,
 - Çalışma alanının heyelan envanter haritasının oluşturulması,
 - Mikrohavza bazında araştırma alanının heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması,
 - Duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek heyelana duyarlı alanların olarak sınıflandırılması
 - Çalışma alanındaki orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılığa sahip alanların tespit edilmesi,
 - Çalışma alanındaki heyelana duyarlı alanlarda özellikle ormanlık alanlarda yapılacak olan silvikültürel faaliyetleri ve etkileri değerlendirilmiştir.



Şekil 2. Havzanın 1/1.500.000 ölçekli heyelan envanteri haritasında yer alan aktif (kırmızı) ve eski (sarı) heyelanlar (Duman, Çan, & Emre, 2011)

1.4. Literatür Özeti

Bu bölümde, tez çalışmasına altlık oluşturabilecek, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması ile orman ve arazi kullanımının etkileri ile ilgili çalışmalar ele alınacaktır. Daha önce yapılan çalışmalarda heyelan duyarlılık üzerine birçok farklı yöntem kullanılarak araştırma yapılmış ancak heyelana duyarlı alanlarda ormanların koruyucu fonksiyonu üzerine kapsamlı değerlendirme yapılmamıştır. Bu kapsamda yapılan çalışma ile literatürde bu eksikliğin giderilmesi hedeflenmektedir.

Kamış (2024), "Heyelan Duyarlılık Haritası Tabanlı Heyelan Kontrol Yapıları Önerisi: Nallıhan İlçesi Örneği" başlıklı yüksek lisans tezinde, Ankara'nın Nallıhan ilçesi heyelan duyarlılığı açısından incelenmiş ve bu incelemeler sonucunda oluşturulan duyarlılık haritaları dikkate alınarak, yüksek duyarlılık gösteren bölgelere heyelan kontrol yapılarının önerilmesi amaçlanmıştır. Araştırma kapsamında toplam 13 heyelan belirlenmiş ve bu heyelanların özellikleri kaydedilmiştir. Heyelan duyarlılık haritası oluşturulurken yükseklik, yamaç eğimi, bakı, plan eğriliği, profil eğriliği, arazi örtüsü ve jeolojik parametreler kullanılmış ve Lojistik Regresyon yöntemiyle analiz yapılmıştır. Harita, çok düşükten çok

yükseğe kadar beş duyarlılık sınıfına ayrılmıştır. Çalışma sonuçları, bölgede miks eşik, gabion eşik ve harçlı ıslah sekisi yapılarının gerekli olduğunu ortaya koymuş, böylece potansiyel heyelanlardan kaynaklanacak zararların en aza indirilebileceği öngörülmüştür.

Horzum (2024), “Makine Öğrenme Algoritmaları Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalaması” adlı yüksek lisans tezinde farklı veri setinden oluşturulan topografik, morfometrik ve spektral parametreler kullanılmıştır. Bu parametreler eğim, bakı, kanallara olan uzaklık, plan eğriliği, profil eğriliği, topografik ıslaklık indeksi, LS faktör verileri ile mevcut fay hatlarına olan uzaklık ve heyelan envanter verilerinden oluşturulmuştur. Çalışmada analiz ve işlem sonuçları ile elde edilen girdi parametreleri, makine öğrenme algoritmalarından Destek Vektör Makinesi (SVM) kullanılarak heyelan duyarlılık haritalaması yapılmıştır.

Eker (2013), “Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü’nde Heyelan Duyarlılık Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımı ile Üretilmesi ve Orman Yolları Açısından Değerlendirilmesi” adlı lisansüstü tez çalışmasında ilk olarak alanın heyelan envanter çalışması yapılmış ve 288 adet heyelan belirlenmiştir. Daha sonra heyelan duyarlılık haritası Lojistik Regresyon (LR) yöntemi ile oluşturulmuştur. Elde edilen harita, çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş duyarlılık kademesi oluşturulmuştur. Sonuç olarak, yolların heyelanlar açısından değerlendirilmesinde yolların 84,1 km kadarı çok düşük hassasiyet sınıfında, yolların 3,5 km’si düşük duyarlılık sınıfı üzerinde, 232,1 km kadarı orta duyarlılık sınıfı üzerinde, 174,6 km’si yüksek duyarlılık sınıfı üzerinde ve 22,7 km’si çok yüksek duyarlılık sınıfında olduğu belirtilmiştir.

Akıncı vd. (2020) “Random Forest-Based Landslide Susceptibility Mapping in Coastal Regions of Artvin, Turkey” adlı makalede Artvin ilinin Karadeniz kıyısında yer alan Arhavi, Hopa ve Kemalpaşa ilçelerinde hemen hemen her yıl heyelan olayları meydana geldiği belirtilerek literatürde yaygın olarak kullanılan ve diğer makine öğrenmesi tekniklerine göre daha doğru sonuçlar veren rastgele orman (RF) modeli ile heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Duyarlılık analizi için litoloji, arazi örtüsü, eğim, bakı, yükseklik, eğrilik, topoğrafik ıslaklık indeksi ve faylardan, drenaj ağlarından ve yollardan uzaklıklar olmak üzere toplam 10 heyelan faktörü dikkate alınmıştır. Ayrıca, heyelan envanter haritasındaki heyelanların %70’i eğitim için, kalan %30’u ise doğrulama için kullanılmıştır. RF tabanlı model, ROC eğrisi altındaki alan kullanılarak doğrulanmış ve değerlendirme sonuçları, modelin başarı ve tahmin oranlarının sırasıyla %98,3 ve %97,7 olduğunu gösterdi. Ayrıca, orman alanlarının çay ve fındık yetiştirme alanlarına

dönüştürülmesi gibi yanlış arazi kullanım kararlarının heyelan oluşumuna neden olduğu belirlenmiştir.

Shirvani (2020), “A Holistic Analysis for Landslide Susceptibility Mapping Applying Geographic Object-Based Random Forest: A Comparison between Protected and Non-Protected Forests” adlı makalesinde İran'ın kuzeydoğusundaki korunan ve korunmayan ormanların heyelanlara karşı duyarlılığını modellemede coğrafi nesne tabanlı rastgele orman (RO) kullanılmıştır. Bu iki orman alanının heyelanlara karşı duyarlılığını etkileyen parametreler ve tetikleme faktörlerini araştırılmıştır. Sonuç olarak; koruma altındaki ormanda heyelan duyarlılığının haritalanmasında en etkili faktörler topografik ve hidrolojik özellikler olmuştur. Ancak, koruma altında olmayan ormanda puanlar topografik, hidrolojik, doğal ve antropojenik tetikleyiciler arasında eşit oranda etkili olduğu görülmüştür. Koruma altındaki ormanda topografik özellikler, topografik engebelilik indeksi ve eğimin baskınlığı önem değerlerinin yaklaşık %60'ını etkilemektedir. Koruma altında olmayan ormanda topografik özelliklerin önemi %36'ya düşmüş olsa da, antropojenik ve doğal tetikleyici faktörler bu alanda önem değerlerinin %33,4'ünü etkilediği görülmüştür. Parçalı orman yapısı ve ağaç kesimi gibi bazı antropojenik faaliyetlerin, koruma altında olmayan ormanların heyelanlara karşı duyarlılığını önemli ölçüde artırdığını doğrulamaktadır.

Çellek (2013), “Sinop-Gerze Yöresinin Heyelan Duyarlılık Analizi” konulu doktora çalışmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) yöntemleri ile değişik kaynaklardan elde edilen veriler değerlendirilmiş, Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP) kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

Topaçlı (2023), “Havza Ölçeğinde Heyelandan Kaynaklanan Zararların Azaltılmasına Yönelik Metodoloji ve Yöntemlerin Geliştirilmesi (Bolaman Mikro Havzası, Ordu)” başlıklı doktora çalışmasında, havzanın heyelan envanter haritası çıkarılmıştır. Bu haritalar, heyelanların oluşum süreçleri, etki eden faktörler ve tetikleyici mekanizmalar incelenerek hazırlanmış, Lojistik Regresyon ve Rastgele Orman yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Heyelan alan-hacim ve hacim-yayıma alanı ilişkileri hesaplanmış, bu sayede risk altında bulunan elemanlar tespit edilmiştir. Farklı büyüklüklerdeki ve yıllardaki heyelanlara ait 15 ayrı risk haritası oluşturularak, havzadaki yüksek riskli bölgeler için çevreyle uyumlu, basit, uygulanabilir ve ekonomik stabilizasyon teknikleri önerilmiştir.”

Kalafat (2021), “Ortahisar (Trabzon) İlçesinin Olasılıksal Yöntem Tabanlı Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi” konulu yüksek lisans tezinde Ortahisar (Trabzon) ilçesinin

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve olasılıksal yöntem tabanlı heyelan duyarlılık değerlendirmesinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Sahada tespit edilene heyelanların alansal istatistiklerinin değerlendirilmesi için maksimum olasılık tahmini (MLE) yöntemi kullanılmıştır.

Taşkanat (2020), “Evrimsel algoritmalar kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi” adlı çalışma kapsamında heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan faktörlere ilişkin bir parametrik analiz gerçekleştirilmiştir. 2019 yılına kadar yapılmış çalışmalardan 100 ve üzeri atıf alan yayınlar incelenmiş olup etki değeri yüksek çalışmalarda hangi faktörlerin araştırmacılar tarafından tercih edildiği araştırılmıştır. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde bazı algoritmaların etkileri araştırılmıştır.

Taş (2021), “Bolaman Çayı Yukarı Çığırında (Ordu) Havza Yönetimine Yönelik Riskler Ve Planlama Önerileri” başlıklı çalışmada, bölgedeki fiziki ve beşerî çevre unsurları ile bu unsurların karşılıklı etkileşimleri coğrafi bir perspektifle incelenmiş, elde edilen bulgular doğrultusunda sürdürülebilir bir havza yönetimi için öneriler geliştirilmiştir. Çalışmada, bölgenin jeoloji, jeomorfoloji, iklim, su kaynakları, toprak ve bitki örtüsü gibi doğal özellikleri ile birlikte nüfus, yerleşim, tarım, ticaret, sanayi ve turizm gibi insan faaliyetleri arasındaki ilişkiler ele alınmıştır. Bu coğrafi unsurların risk analizleri yapılarak, bölgenin potansiyelleri belirlenmiş ve coğrafi risklere göre kırsal kalkınmayı esas alan sürdürülebilir havza yönetimi önerileri sunulmuştur.

Akar (2021), “Heyelan Alanlarında Üst Yüzey Bitki ve Ağaçlarına Bağlı Olarak Kütle Hareketlerinin Belirlenmesi” başlıklı lisansüstü araştırma çalışmasında heyelan alanlarında üst yüzey bitki ve ağaçlarına bağlı olarak kütle hareketlerinin tespit edilmesi, yüzey analizi, jeolojik tetkikler (gerek mühendislik gerekse yapısal jeoloji hakkında) jeofizik metotlardan yararlanarak yerel (lokal) olarak yapılacak olan tez çalışması parametrelerin analiz edilmesinde takip edilecek metotlarda, ortaya konacak olan bilimsel çalışma ve uygulamalarla heyelanlara karşı nasıl önlemler alınması gerektiği anlatılmıştır.

Şahin (2019), “Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Heyelan Risk Analizi: Fındıklı (Rize) Örneği” adlı lisansüstü tez çalışmasında Rize’nin Fındıklı İlçesi mülkü hudutları içerisindeki heyelan duyarlılık (tehlike) haritası tesis edilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve bulanık mantık yöntemleri yardımıyla Rize İl Özel İdaresi sorumluluk sahasında kalan yerlerde tespit edilen öğelere göre hasar görülebilirlik ve risk analizleri yapılmıştır.

Baltacı (2010), “Doğu Karadeniz Bölgesinde (Rize, Trabzon, Giresun) Heyelan Yağış İlişkisinin İncelenmesi ve Minimum Eşik Değerlerinin Belirlenmesi” adlı yüksek lisans

tezinde heyelanların çok yoğun olarak görüldüğü Rize, Trabzon, Giresun ve çevresinde bulunan ilçelerdeki yüksek miktarlarda yağışlardan dolayı oluşan heyelanlar ile yağışlar arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu çalışmada minimum eşik değerlere sahip istatistiksel model oluşturulmuştur.

Dölek (2008), “Bolaman Çayı Havzasının (Ordu) Uygulamalı Jeomorfoloji Etüdü” adlı yüksek lisans tezi uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri teknolojileri kullanılarak Bolaman çayı havzasında ortaya çıkan su kaynaklı (hidrografik kökenli) tabii felaketler ve bu felaketlerin oluşumuna neden olan diğer afet çeşitlerine ilişkin sebepler coğrafi bakış açısıyla araştırılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

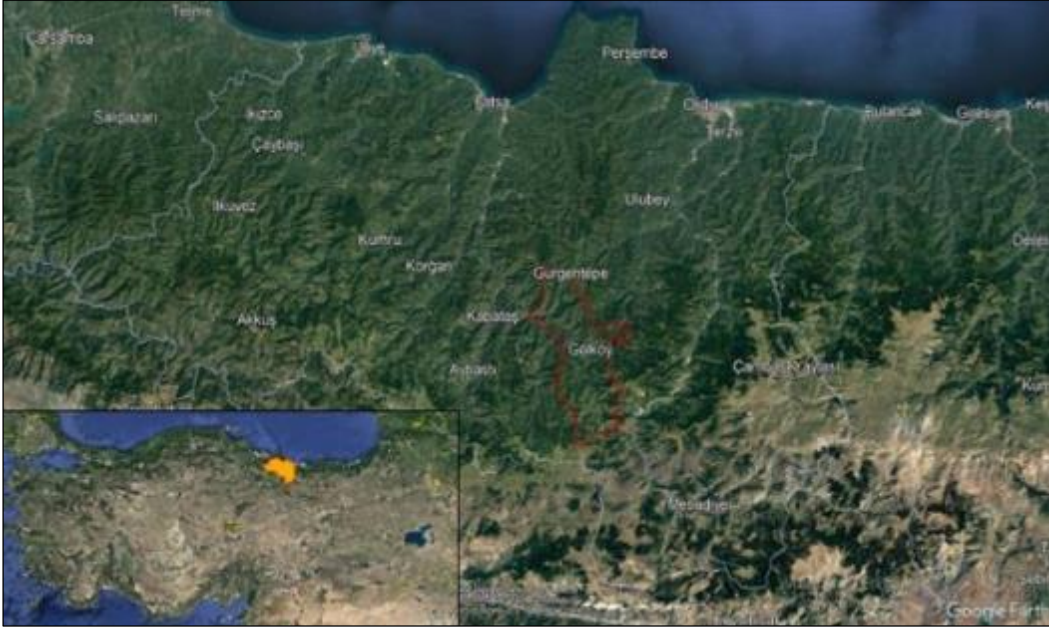
Araştırma Ordu ili Bolaman havzası içerisindeki Medrese Mikrohavzasında gerçekleştirileceğinden havzanın genel özellikleri materyal olarak ele alınacaktır. Bu amaçla havzanın konumu, hidrolojik durumu, rakım, bakı, eğim, bitki örtüsü, arazi kullanım durumu gibi özellikler materyal kısmında değerlendirilecektir.

2.1.1. Konumu

Çalışmaya konu alan, Karadeniz Bölgesi'nin Orta Karadeniz Bölümü'nde, Ordu ili Gölköy ve Gürgentepe ilçelerinin içinde bulunduğu, Bolaman Çayı Havzasında yer almaktadır. Alanın rakımı ortalama 1100 m'dir. Çalışma sahasının genel alanı 18 629,1 hektar alandır. Alana ait güncel uydu görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir..

Havzada 17 adet mahalle bulunmakta ve bunlar Akçalı, Çatak, Çetilli, Cihadiye, Emirler, Gölköy, Güzelyayla, Hamzalı, Hürriyet, İçyaka, Kale, Karagöz, Kozören, Kuşluvan, Mahmudiye, Paşapınar, Sarıca'dır (OGM, 2024).

Bölgenin jeolojik, topografik yapısı hem de iklim karakteristiklerinden dolayı taşkın, heyelan, çığ ve sel gibi tabii afetlere karşı hassastır. Ordu İl Afet Risk Azaltma Planı'nda (İRAP), başta heyelan olmak üzere, taşkın ve kaya düşmesi gibi çeşitli afet türlerine dikkat çekilmiştir. Heyelanların oluşumunu tetikleyen doğal faktörler arasında yoğun yağış, ani kar erimeleri ve dere-topuk aşındırması öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, beşeri kaynaklı tetikleyici faktörler arasında, altyapı veya yapılaşma amacıyla yüksek eğimli yamaçların açılması, bu yamaçların desteksiz bırakılması ve dağınık yerleşim düzeninin olumsuz etkileri de vurgulanmaktadır.



Şekil 3. Çalışma alanının güncel uydu görüntüsü

2.1.2. Hidrolojik Özellikler

Havza, hidrolojik sistemi denetleyen, kolay kolay değişmeyecek ve sırt ve dere gibi tabii hatlarla sınırlanmış bir bölgedir. Sahadaki drenaj ağı yoğundur ve çok sayıda küçük, geçici derelerden beslenir. Kuru ve sulu olmak üzere su kaynaklarının kontrolü mekanizmanın havza bazında analiz edilmesi, bilinmesi, sistemin entegre bir şekilde analizine imkan vererek, hidrolojik sistemi etkileyen, süreçler arasındaki bağlantının sıhhatli bir şekilde tespit edilmesine yardımcı olmaktadır (Nişancı vd. 2007). Havzanın hidrolojik özellikleri, yüksek yağış miktarı, eğimli topografya ve yoğun akarsu ağı nedeniyle heyelan riski açısından kritik öneme sahiptir. Havzanın drenaj ağı haritasının güncel uydu görüntüsüne uygulaması Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Havzanın drenaj ağı haritasının güncel uydu görüntüsüne aplikasyonu

2.1.3. İklim Durumu

Çalışma alanının iklim özellikleri, genel olarak Karadeniz ikliminden etkilenen Ordu ilinin özelliklerinden yararlanılarak açıklanmaktadır. Havzaya yakın uzun yıllar iklim verilerinin bulunduğu Ordu meteoroloji istasyonu verileri Tablo 1’de verilmiştir. Ordu ılıman iklim etkisi gösterirken sahil ve iç kısımlarda birbirinden farklı karakterler gösterir. Kıyı şeridinde yer alan merkez ilçe Altınordu, Gülyalı, Fatsa, Ünye, Perşembe gibi alanlarda tipik Karadeniz ikliminin etkileri görülür. Bu nedenle de kıyı şeridinde iklim genellikle yazlar sıcak, kışlar ise ılık ve yağışlıdır. Gököy, Gurgentepe, Akkuş, Mesudiye, Aybastı, Korgan gibi iç bölgeler ile rakımı ortalama 2.000 m. aşan Çambaşı ve ortalama 1.500 metrelerdeki Canik Dağlarının etkisi görülür (AFAD, 2024). Ordu ili ve yakın çevresi düzenli yağış rejimine sahip olup denizden kaynaklan iklim genel olarak yazın sıcak ve

nemli, kışları ise ılıman geçmektedir. Denizden iç kesimlere doğru gidildikçe yükseltinin artması ile birlikte karasal iklim etkisi görülmektedir.

Tablo 1. Ordu İline ait uzun yıllar (1959-2023) meteorolojik veriler (MGM, 2024)

ORDU	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	7	7	8,2	11,5	15,7	20,4	23,2	23,5	20,3	16,2	12,3	9,1	14,5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	11	11,1	12,2	15,3	19,3	24,1	26,8	27,4	24,4	20,3	16,6	13,2	18,5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	4	4	5,2	8,4	12,5	16,8	19,6	20,1	17	13,1	8,9	6	11,3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2,5	3,1	3,3	4,4	5,6	6,8	6,3	6,1	5,2	4,2	3,4	2,5	4,5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14,27	13,81	15,47	14,25	13,55	11,34	9,77	9,78	11,86	14,23	12,95	14,34	155,6
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	102,8	84,6	83,7	67,1	56,8	71,4	66,6	69,7	83,8	131,7	120,4	113,1	1051,7
En Yüksek Sıcaklık (°C)	25,8	28,3	32,8	36,8	35,6	37,3	37,1	36,3	36,4	34,2	32,4	29,7	37,3
En Düşük Sıcaklık (°C)	-7,2	-6,7	-4,7	-1,4	3,4	8,4	12,6	13	8,2	2,5	-1,5	-3,2	-7,2
Günlük Toplam En Yüksek Yağış Miktarı				Günlük En Hızlı Rüzgar				En Yüksek Kar					
13.06.1975				171,3 mm				12.03.1968				38,0 m/sn	
								1.02.1967				62 cm	

MGM temin edilen iklim verilerine göre, en soğuk ay, ocak-şubat aylarıdır. Bu aylarda en düşük sıcaklık sıfırın altına inmekte, 6 -7 derece dolaylarında gerçekleşmektedir. İç bölgelerde en soğuk ay ocak ayıdır. Bu ayda en düşük sıcaklık -7 dereceye kadar inmektedir. Çalışma alanının bulunduğu iç kesimlerde kar yağışı hem yoğundur, hem de kış mevsimi daha uzun sürer. En sıcak aylar haziran – temmuz aylarıdır. En fazla aylık ortalama yağış miktarının olduğu ay 131,7 ile ekim ayıdır.

2.1.4. Bitki Örtüsü ve Arazi Kullanımı

Karadeniz Bölgesi'ni diğer bölgelerden ayıran en belirgin özellik, bol yağış alması nedeniyle Avrupa Sibiry kökenli, nemli ılıman ve nemli soğuk iklimlere uyum sağlamış zengin bitki örtüsüne sahip olmasıdır. Kıyı kesimlerinin yaklaşık 1000 metreye kadar olan alt bölümlerinde Nemli Ilıman Geniş Yapraklı Orman Kuşağı, üst kısımlarında ise Karadeniz Kıyı Dağları'na özgü Nemli-Soğuk İğne Yapraklı Orman Kuşağı yer alır (Atalay, 2002).

Karadeniz ormanlarının alt bitki örtüsü, genellikle nemli ortamlarda yetişen türlerden meydana gelir. Bu bitkiler arasında eğrelti otları, orman gülleri, defne ve sarmaşık türleri öne çıkar. Özellikle ormangülleri, yüksek nem oranına sahip, organik maddelerce zengin, asitli ve iyi drenajlı topraklarda en iyi gelişimi gösterir. Ormangüllerinin bulunduğu alanlarda yıllık yağış miktarı da oldukça yüksektir (Avcı, 2004).

Havzanın yükseltisinin artmasıyla birlikte kıyıda iç bölgelere doğru değişen sıcaklık ve yağış koşulları, bitki örtüsünde olduğu gibi tarımsal faaliyetlerde de belirgin etkiler yaratmıştır. Kıyı kesimlerinde fındık yetiştiriciliğine elverişli iklim koşulları, ormanlık alanların tahrip edilerek fındık bahçelerine dönüştürülmesine yol açmıştır. Havzanın iç bölgelerinde, özellikle 1000 metre üzerindeki yüksek rakımlarda ise hayvancılık ve tahıl tarımı daha baskın hale gelmiştir (Özdemir, 2002).

2.1.5. Ormancılık Faaliyetleri

Ormancılık, sürdürülebilirlik ve çok yönlü kullanım ilkelerine dayanan, toplumun taleplerini karşılamak amacıyla biyolojik, teknik, ekonomik ve sosyal çalışmalar içeren yönetsel bir faaliyet olarak tanımlanmaktadır.

Orman kurma, tohum ve fidan yetiştirme, ağaçlandırma, bakım ve koruma çalışmaları, üretim, planlama, pazarlama, orman yolları yapımı, erozyon kontrolü, mera ıslahı, orman kadastro, halkla ilişkiler, su üretimi, rekreasyon, avlanma, milli park yönetimi, personel yönetimi, eğitim, araştırma ve danışmanlık gibi birçok biyolojik, teknik ve sosyal faaliyet ormancılık kapsamında yer alır (Daşdemir & Çakmak, 2018). Silvikültürel uygulamalar, orman tesisinin başlangıcından itibaren meşcere bakımlarıyla (gençlik bakımı, sıklık bakımı, aralamalar) devam eder ve gençleştirme çalışmaları ile sona erer. Bu müdahaleler, ormanların ağaç türlerine, yapılarına ve işletme amaçlarına göre şekillenir ve ülkemizin sahip olduğu iklim, jeolojik yapı, topografya ve toprak özelliklerine bağlı olarak önem taşır (OGM, 2024). Silvikültürün amacı, en düşük maliyetle ormanların ekolojik, ekonomik ve sosyokültürel fonksiyonlarını en yüksek verimle sağlamak, ekosistem ve toplumun ihtiyaçlarını karşılayabilecek dayanıklı ormanlar oluşturmaktır. Aynı zamanda bu fonksiyonların sürdürülebilir şekilde devamlılığını sağlamak hedeflenir (OGM, 2024). Bu doğrultuda, ekonomik, ekolojik ve sosyokültürel fonksiyonlara göre planlanan ormanlar ve bu alanlardaki silvikültürel müdahaleler büyük önem taşımaktadır.

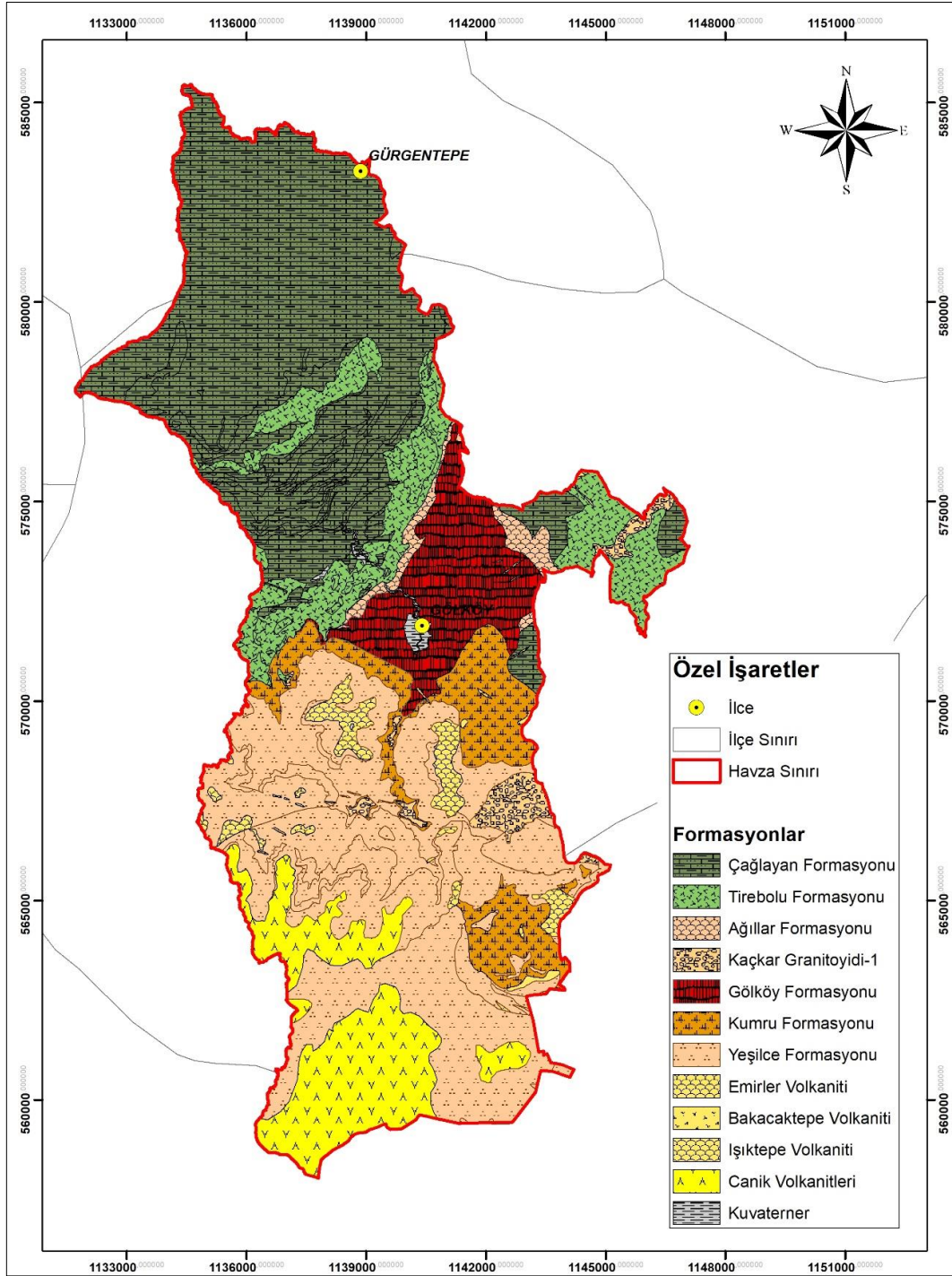
Orman yönetimi, silvikültürel uygulamalardan orman amenajman planlarının hazırlanmasına kadar geniş bir çalışma yelpazesi içerir ve yapılan uygulamalara bağlı olarak ağaç türlerinin, yaş dağılımlarının, meşcere yoğunluğunun ve sağlığının değişiklik göstermesi mümkündür (Eker & Aydın, 2014).

Literatürde genel olarak ormanların ekolojik işlevi, heyelan, sel, çığ gibi kütle hareketlerini önleyici veya bunların şiddetini azaltıcı olarak değerlendirilmektedir. Ancak bazı çalışmalarda, detaylı analizler yapılmadan gerçekleştirilen ormancılık faaliyetlerinin (silvikültürel müdahaleler, yol yapımı vb.) heyelanları tetikleyebileceği belirtilmiştir. Ormanların sahip olduğu yapısal özellikler, heyelan önleme ve yamaç stabilizasyonunda kritik rol oynarken, silvikültür ve orman yönetim yöntemleri de yamaç stabilizasyonu açısından önemli bir etken olarak öne çıkmaktadır (Eker & Aydın, 2014).

2.1.6. Sahanın Jeolojik Yapısı

Litoloji haritaları yer yüzeyindeki kayaçların özelliklerinin belirtildiği tematik haritalardır. Litolojik parametrelerin heyelana sebep olan en önemli parametrelerden biri olması nedeniyle heyelan duyarlılık analizinde kullanılan temel faktörlerden biridir. Çalışma sahasının jeoloji haritası, Maden Tetkik Arama (MTA)'nın 1/100.000 ölçekli jeoloji paftalarından yararlanılarak oluşturulmuştur. Çalışma alanında yer alan formasyonlar aşağıda açıklanmış ve Şekil 5'deki harita üzerinde gösterilmiştir. Çalışma alanında 11 adet formasyon bulunmaktadır. Alandaki heyelanların % 54'ü Çağlayan, % 18'i Gölköy, % 11'i Yeşilce formasyonlarında bulunmaktadır.

Çağlayan Formasyonu; Bazalt, andezit ve piroklastikleri ile kumtaşı, siltaşı ve tuf ara seviyelerinin ardalanmasından oluşan volkanosedimenter istif ilk olarak Güven (1993; 1998) tarafından Çağlayan formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Genellikle koyu renkli olan birimler yerel olarak kırıklı ve çatlaklı bir yapı sunmaktadır. Birim içinde iyi tabakalı kırmızı kireçtaşı ve killi kireçtaşları izlenir. Birimin içerdiği fosillere göre yaşı Santoniyen-Kampaniyen olarak belirlenmiştir.



Şekil 5. Araştırma alanına ait jeoloji haritası

Tirebolu Formasyonu; Doğu Pontidler’de, Giresun-Artvin arasında kalan bölgede riyoit, riyoasit ve dasitlerle temsil edilen, Çağlayan formasyonu üzerine Tirebolu-Espiye arasında uyumlu olarak gelen bu birim Güven (1993) tarafından Tirebolu formasyonu olarak

isimlendirilmiştir. Birimin taban ve tavanındaki birimler ile yapılan korelasyonlar sonucu yaşının Kampaniyen Maastrichtiyen olarak nitelendirilmiştir.

Ağıllar Formasyonu; İnceleme alanında gözlenen masif yapılı resifal kireçtaşları, Güven (1993) tarafından Artvin civarında Ağıllar formasyonu olarak tanımlanmıştır. Ağıllar formasyonu, genellikle gri ve beyaz renkli, masif veya kalın tabakalanmış, rudist kavkısı ve kırıntılı resifal kireçtaşlarından meydana gelir. Formasyonun tabanında ve Bakırköy formasyonu ile geçiş bölgelerinde kumlu kireçtaşları görülmektedir. Üst Kretase-Paleosen döneminde sık bir çökme ortamında oluşan bu formasyon, batıya doğru Bakırköy formasyonu ile yanal geçişli olup, üzerine uyumsuz şekilde Kabaköy formasyonu oturur. Ağıllar formasyonundan elde edilen fosil örnekleri ve Bakırköy formasyonu ile ilişkisi dikkate alındığında, bu formasyona Maastrichtiyen-Paleosen yaş aralığı verilmiştir.

Kaçkar Granitoyidi, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin doğusunda yer alan Kaçkar Dağları'nda en belirgin olarak yüzeylenen granitoyid kütesidir. Gülibrahimoğlu (1986) tarafından Türk-Japon proje çalışmaları kapsamında, bu granitoyidler Torul Granodiyoriti ve Hasandere Granodiyoriti olarak sınıflandırılmıştır. Güven (1990), Üst Kretase birimlerini kesen ve Eosen yaşlı birimlerle aşınım uyumsuzluğu gösteren bu kayalar Kaçkar Granitoyidi olarak adlandırmıştır. Açık pembe, açık gri ve yer yer koyu gri renklerde gözlemlenen bu granitoyidler, granit, granodiyorit, mikro kuvarslı diyorit ve mikro granit bileşimlerinden oluşur. Kuvars, alkali feldispat, biyotit ve yer yer hornblend içeren taneli yapıda olan bu granitoyidlerde eklem düzlemleri oldukça iyi gelişmiştir. Üst Kretase birimlerini kesen ve Eosen yaşlı birimler tarafından uyumsuz bir şekilde örtülen bu granitoyidlere Üst Kretase-Paleosen yaşı verilmiştir.

Gölköy Formasyonu (Tg); Kireçtaşı, killi ve tüflü kireçtaşı, tüfit ve kumtaşı aralanması ile kömür ve yer yer aglomera ara katkılarında oluşan Gölköy Formasyonu, çeşitli kayaç türleriyle dikkat çeker. Kireçtaşları genellikle koyu gri ve sarı renkte olup, orta ile kalın tabakalı, ince taneli ve yer yer kaba kum taneli veya kaba kristalli özellikler sergiler. Bazı seviyelerinde çakıltası özellikleri de gözlemlenir. Aralarında zaman zaman ince tabakalı killi kireçtaşı ve tüfit katkıları da görülmektedir. Gölköy Formasyonu'nun yüzeydeki görünür kalınlığı kuzeyde, özellikle Gölköy çevresinde, daha fazla olmasına rağmen, aslında güneyde daha kalın ve iyi gelişmiştir; ancak genç bazalt örtüsü nedeniyle küçük yüzeylemeler şeklinde ortaya çıkar. Gölköy Formasyonu'ndan alınan örneklerle dayanarak birimin Paleosen yaşlı olduğu belirlenmiştir (Terlemez & Yılmaz, 1980).

Formasyon, dönem dönem ilerleyen ve çekilen kıyı çizgisiyle birlikte, sığ denizel bir ortamda çökelmiş ve bu süreçte yer yer volkanik faaliyetler de devam etmiştir.

Kumru Formasyonu; tabanda konglomera kumtaşı, karbonatlı kumtaşı, kumlu kireçtaşı, marn, silttaşı, kiltaşından meydana gelmektedir. Formasyonda gözlenen fosilleri sığ ortam açık self çökelme ortamını göstermektedir. Formasyon Eosen yaşlıdır.

Yeşilce Formasyonu (Ty), Selecik Üyesi, Hasanşeyh Bazaltı ve Asarcık Üyesi gibi çeşitli alt birimlerden oluşur. Selecik Kireçtaşı Üyesi (Tys) genellikle gri ve kirli sarı renkte olup, orta kalın tabakalı ve bol fosillidir. Kireçtaşı, kaba kristalli ve çatlaklıdır; ancak kalınlığı büyük değerlere ulaşmaz. Yeşilce civarında kalınlığı 145 metre iken, Gököy-Aybastı arasında bu kalınlık 40-50 metreye düşmektedir. Selecik Kireçtaşı Üyesi, Alt-Orta Eosen dönemine (Lütesiyen) tarihlenmiştir (Terlemez & Yılmaz, 1980) ve sığ bir denizel ortamda çökelmiştir. Hasanşeyh Bazaltı (Thys) ise genellikle siyah renkli, tabakasız ve yer yer kalın tabakalıdır. Bazaltların ayrılmış bölümleri kırmızı renkte olup, alt dokanağında Bereketli Üyesi ve İğdir Kireçtaşı Üyesi ile açılı uyumsuzluk göstermektedir. Bazaltların kalınlığı genel olarak 50-100 metre arasında değişiklik göstermektedir. Hasanşeyh Bazaltı'nın yaşını belirleyici doğrudan bir iz bulunamamış olsa da, arazi gözlemlerine dayanarak Selecik Kireçtaşı Üyesi ile aynı yaşta olduğu, yani Eosen döneme ait olduğu düşünülmektedir (Terlemez & Yılmaz, 1980).

Asarcık Üyesi (Tya) ise aglomera, kumtaşı, tuf ve bazik akıntı ara katkılarından meydana gelmektedir. Aglomera genellikle gri, bazen mor renkte olup, tabakasız ve yer yer kalın tabakalıdır. Aglomeranın içinde ufak çakıl ve bazalt blokları yer almakta, bu taneler sıkı veya gevşek tuf ve bazalt çimentosu ile bir arada bulunmaktadır. Taneler boylanmamış ve köşelidir. Kalınlık genellikle 200-600 metre arasında değişmektedir. Bu üyenin kumlu kireçtaşları yaş tayini için yeterli veri sunmamıştır; ancak altındaki Eosen yaşlı Selecik Kireçtaşı Üyesi ile dereceli bir geçiş göstermesi, Asarcık Üyesi'nin de Eosen yaşında olduğunu doğrulamaktadır (Terlemez & Yılmaz, 1980).

Emirler Formasyonu; siyah renkli, sık çatlaklı, eklemli, sütunsal yapıda ve oldukça sert bazaltik dayklar, Erik ve Madül Gölü çevresinde parçalar halinde Ordu iline yayılmıştır (Ateş vd., 2004).

Bakacaktepe Formasyonu; koyu yeşil renkte, sert, sağlam ve dayanıklı yapıda olan bu formasyon, sık eklemli ve çatlaklı olup, yer yer sütunsal eklemler içeren andezitik dayklardan oluşur. İkizce ilçesi ve Akpınar, Kadınakı, Düzmeşe bölgelerinde yayılım gösterir (Ateş vd. 2004).

Işıktepe Formasyonu; yeşil ve gri renkte, sert ve dayanıklı dasitik dayklardan meydana gelir. Sık çatlaklı ve eklemli olan bu formasyon, Çamaş ile Kabadüz çevresinde ufak parçalar halinde yaygın olarak görülmektedir (Ateş vd. 2004).

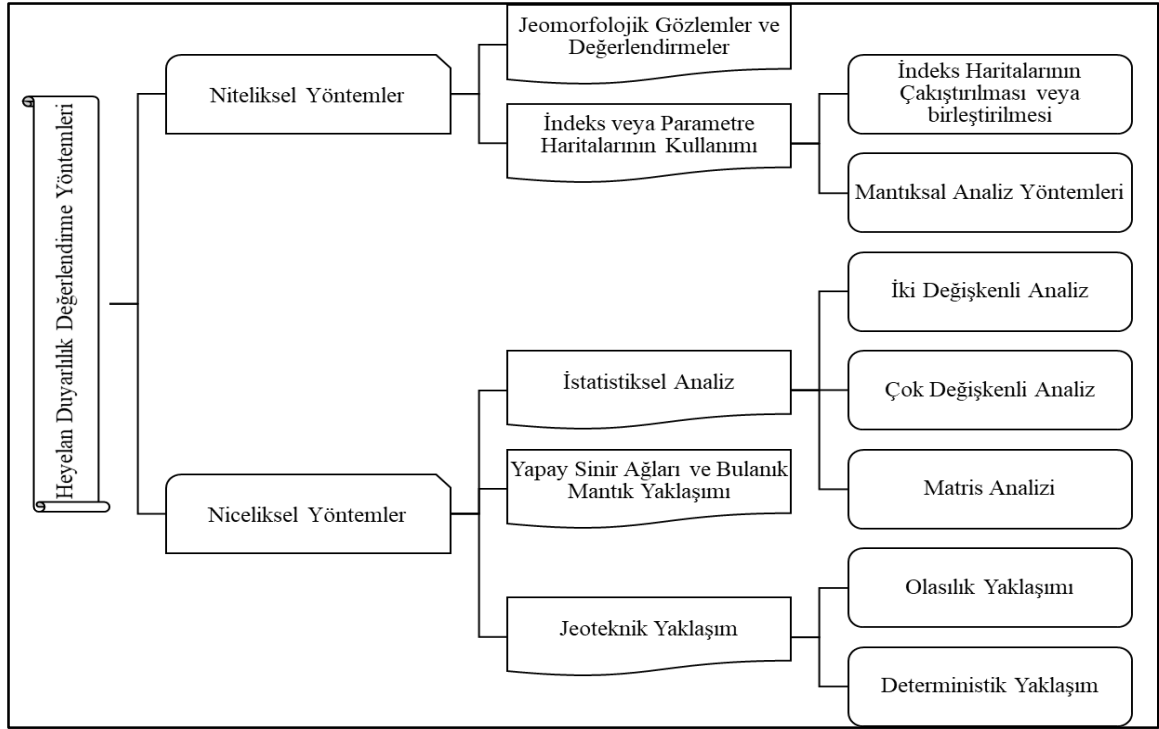
Canik Formasyonu; genellikle bazalttan oluşan bir litolojiye sahiptir. Bu bazaltlar, siyah, koyu yeşil, koyu gri ve koyu mor renklerde olup, tabakasız veya yer yer kalın tabakalıdır ve yataya yakın tabaka eğimleri gösterir. Çatlak yüzeylerinde siyahımsı sarı renkleri ve yer yer kalsit erime boşlukları bulunur. Ayrışmış kısımlarda aglomeralı yapılar görülmekte ve bu alanlar andezit benzeri özellikler sergilemektedir. Bölgedeki verilerin incelenmesi ve önceki araştırmalar ışığında bu formasyonun Eosen'in en üst seviyelerine ya da daha genç bir döneme ait olduğu düşünülmektedir (Terlemez & Yılmaz, 1980).

Alüvyon (Qal); çakıl, kum, silt ve kil boyutunda çevre havzalarında bulunan kayaç parçalarının bozuşması, ufalanması ve taşınması ile oluşmuş, tutturulmamış birimdir. Birim yaşı kuvaternerdir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Heyelan Duyarlılık Değerlendirme Yöntemi

Heyelanların değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler, Aleotti (1999) tarafından niteliksel ve niceliksel yöntemler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Niteliksel yöntemler, araştırmacının bilgi ve deneyimine dayalı olarak, saha özelliklerine göre yapılan değerlendirmelerdir. Niceliksel yöntemler ise, istatistiksel veya matematiksel modelleme teknikleri kullanılarak ve heyelan envanterinin temel alındığı bir yaklaşımla gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler, daha sistematik bir şekilde heyelan risklerini değerlendirmeye olanak sağlar (Eker, 2013). Bu çalışmada da Aleotti (1999) tarafından geliştirilen yöntem kullanılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Heyelan duyarlılık değerlendirme yöntemleri (Aleotti, 1999)

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte heyelan envanter haritaları; uydu görüntüleri, hava fotoğrafları, tarihsel kayıtlar, arazi çalışmaları gibi birçok kaynakla oluşturulabilir. Çalışma alanındaki aktif durumda bulunan heyelanların belirlenmesi, yöreye ait heyelan risk haritalarının çıkarılması ve heyelanların meydana gelmesine neden olan parametreleri ortaya koymak amacıyla öncelikle arazi incelemeleri ve elde edilen verilere göre analizler yapılmıştır. Çalışma alanındaki yerleşim alanları, tarım alanları, ormanlık alanlar, yol ve drenaj ağları boyunca gözlem yapılmış heyelan alanlarının konumu belirlenmiş ve yerinde incelenmiştir. Ayrıca uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları da tetkik edilerek heyelan envanter haritasına eklemelerle çalışma alanına ait heyelan envanter çalışması yapılmış ve haritalandırılmıştır.

2.2.2. Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması

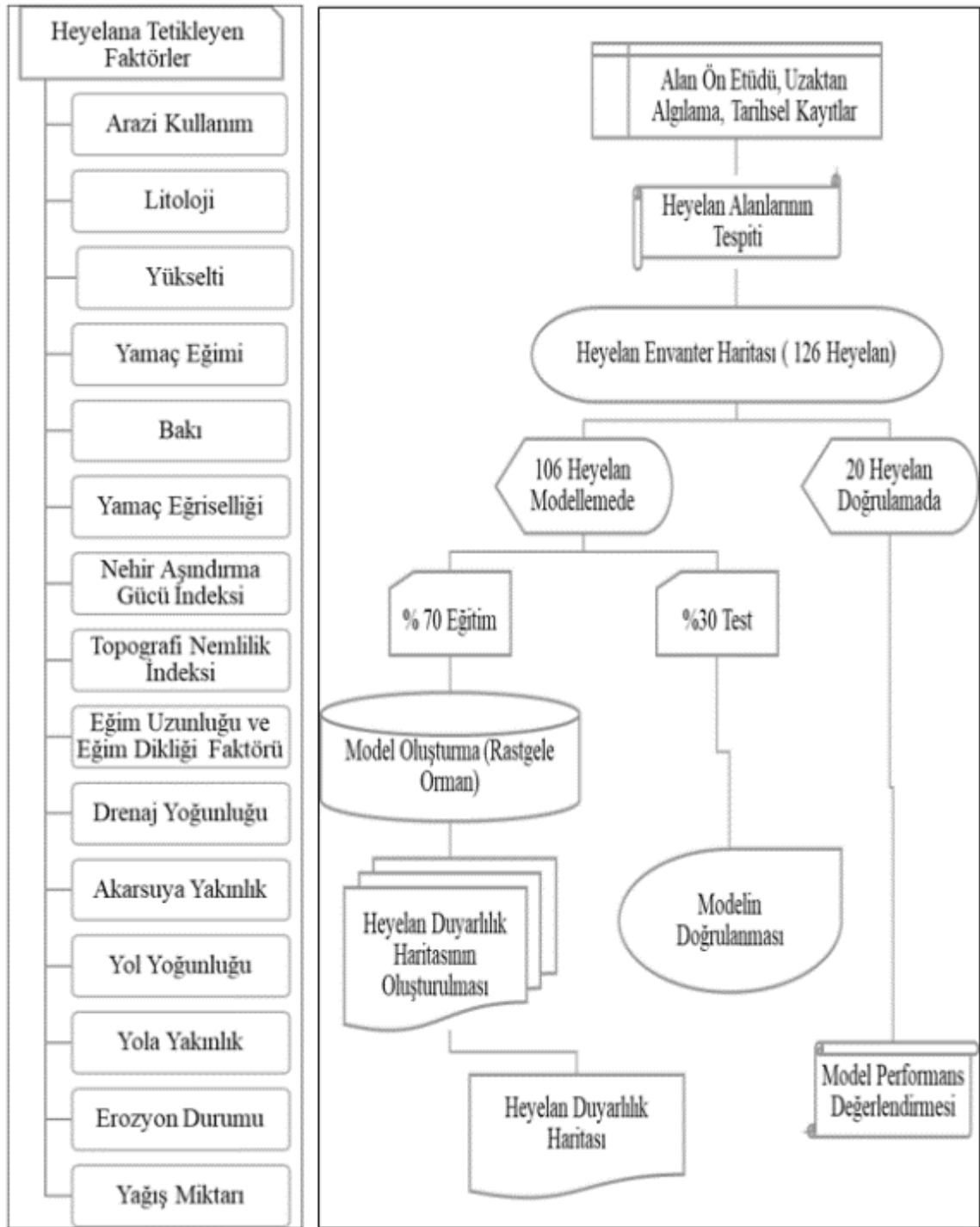
Makine öğrenmesi yöntemlerinden rastgele orman (RO) yöntemi kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması için kullanılan veri seti Tablo 2’de, aşamalarına ilişkin iş akış şeması ise Şekil 7’de yer almaktadır.

Tablo 2. Çalışma için kullanılan veri seti

Veri Özelliği	Veri	Veri Kaynağı	Veri Türü
Yüzey Jeolojisi	Heyelan Envanter Verisi	Arazi Çalışması	Poligon
	Litoloji	MTA-Jeoloji	Poligon
Topoğrafya	Yükseklik	SYM	Raster
	Bakı	SYM	Raster
	Eğim	SYM	Raster
	Eğrisellik	SYM	Raster
	Eğim Dikliği ve Uzunluğu	SYM	Raster
	Nehir Aşındırma Gücü İndeksi	SYM	Raster
Su İlişkisi	Topografik Nemlilik İndeksi	SYM	Raster
	Yağış Miktarı	Yağış verileri	Raster
	Drenaj Yoğunluğu	SYM	Raster
	Akarsuya Yakınlık	SYM	Raster
	Erozyon Durumu	Erozyon Veritabanı	Raster
Yüzey Kullanım Bilgisi	Arazi Kullanım	Meşcere ve	Poligon
	Yol Yoğunluğu	CORİNE	Çizgisel
	Yola Yakınlık	OGM yol verisi	Çizgisel
		OGM yol verisi	Çizgisel

Heyelan duyarlılık analizi

- Arazi etüdü ve uzaktan algılama çalışmalarıyla heyelan envanterinin oluşturulması,
- Büro çalışmaları ve çalışma alanına uygun parametrelerin analize uygun şekilde hazırlanması,
- Makine öğrenmesi ile istatistiksel yöntemler ve CBS tabanlı yazılım kullanılarak heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması şeklinde üç aşamada yapılmıştır.



Şekil 7. Heyelan duyarlılık haritası iş akış planı

2.2.3. Arazi Kullanım Durumu Haritası

Orman Genel Müdürlüğünden (OGM) temin edilen meşcere haritalarından yararlanılarak ArcGIS10.4.1 programı yardımıyla oluşturmuştur. Bu haritanın oluşturulması

için, yükselti haritası, eğim ve bakı haritaları da 1:25.000 ölçekli, Harita Genel Müdürlüğünden temin edilen sayısal topoğrafik haritalardan CBS ortamında ArcGIS10.4.1 yazılımı ile 10x10 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak üretilmiştir.

2.2.4. Yamaç Eğrisellik Haritası

ArcGIS10.4.1 programı yardımıyla SYM kullanılarak üretilmiştir. Genel eğrisellik, profil eğriselliği, plan eğriselliği olmak üzere 3 sınıfta incelenmiştir. Üretilen plan eğriselliği haritasındaki negatif olan değerler içbükey alanları belirtirken pozitif değerler dışbükey alanları belirtir. Profil eğriseliğinde ise negatif değerler dışbükey iken pozitif değerler içbükey alanları gösterir. “0” ve “0” a yakın değerler ise düz alanları ifade eder.

2.2.5. Havzanın Nehir Aşındırma Gücü İndeksi

Havzanın nehir aşındırma gücü indeksi (SPI) için denklem (1) kullanılarak ArcGIS 10.4.1 programı yardımıyla SYM’ den üretilmiştir. Özgül havza alanının yamaç eğimi ile çarpımı ile elde edilmiştir. Denklemde A_s , özgül havza alanını, β derece cinsinden eğimi ifade eder. Havzanın nehir aşındırma gücü indeksi değerleri -9,2 ile 8,1 arasında değişim göstermektedir.

$$SPI = A_s \times \tan \beta \quad (1)$$

2.2.6. Topoğrafik Nemlilik Endeksi

Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TWI), topoğrafik olarak suya doymuş alanları mekânsal ve boyutsal olarak tanımlamak amacıyla heyelan duyarlılık çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır (Moore, Grayson, & Ladson, 1991). Bu indeks, akış yönü parametresi kullanılarak hesaplanan akış toplanma değerlerinin, yamaç eğimine oranlanmasıyla elde edilmektedir. Topoğrafik nemlilik indeksi, genellikle yüzey akışı veya hidrolojik süreçlerde topoğrafyanın etkilerini değerlendirmek amacıyla kullanılır (Alkevi, 2015). Çalışma alanına ait TWI denklem (2) gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$TWI = \ln(As | \tan \beta) \quad (2)$$

Çalışma alanının topoğrafik nemlilik indeksi haritası ArcGIS 10.4.1 programı yardımıyla ve SYM kullanılarak elde edilmiştir.

2.2.7. Eğim Uzunluğu (L) ve Eğim Dikliği (S) Faktörü

Bu çerçevede uluslararası literatürde kabul görmüş RUSLE yönteminin alt parametrelerinden olan L (eğim uzunluğu) ve S (eğim dikliği) faktörleri heyelan duyarlılık çalışmalarında son yıllarda yapılan araştırma çalışmalarında kullanılmaktadır. RUSLE yönteminde eğim uzunluğu ve eğim dikliği faktörünü gösteren L ve S faktörleri LS faktörü olarak adlandırılmaktadır. L faktörü, yüzeysel akışın oluşmaya başladığı noktadan başlayarak, eğimin azaldığı ve birikmenin başladığı alana kadar olan mesafesidir. S faktörü ise eğimin toprak aşınımındaki etkisini gösterir. LS faktörünün hesaplanması, hidrolojik akım birikimi (Arctoolbox - Hydrology tool) hesaplama yeteneği aracılığıyla denklem (3) kullanılarak SYM'den üretilmiştir.

$$LS = \left(\frac{\chi n}{22,13} \right)^{0,4} * \left(\frac{\sin \theta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (3)$$

Burada; χ : yüzey akış yoğunlaşma sayısını; η : hesaplama yapılan hücrelerin büyüklüğünü ve θ : eğim dikliğini ifade etmektedir. Oluşturulan haritaya göre LS değerleri eğim değerinin fazla olduğu yamaçlarda yüksek iken vadi tabanı, ova ve düzlüklerde eğim değerleri düşüktür.

Çalışma alanının drenaj yoğunluğu haritası Arcgis 10.4.1 yardımıyla denklem (4) kullanılarak üretilmiştir.

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \quad (4)$$

Ayrıca havzaya ait Drenaj Ağı SYM'den Arcgis 10.4.1 programı yardımıyla, Yol Yoğunluğu OGM'de temin edilen yol ağı verisinin Arcmap10.4.1 Density araç çubuğu kullanılarak üretilmiştir. Yola olan mesafe haritası ArcGIS 10.4.1 programındaki Spatial

Analyst - Distance kullanılarak, Su Erozyonu Haritası ise ölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (EMGM) tarafından RUSLE metodolojisi kullanılarak oluşturulmuştur.

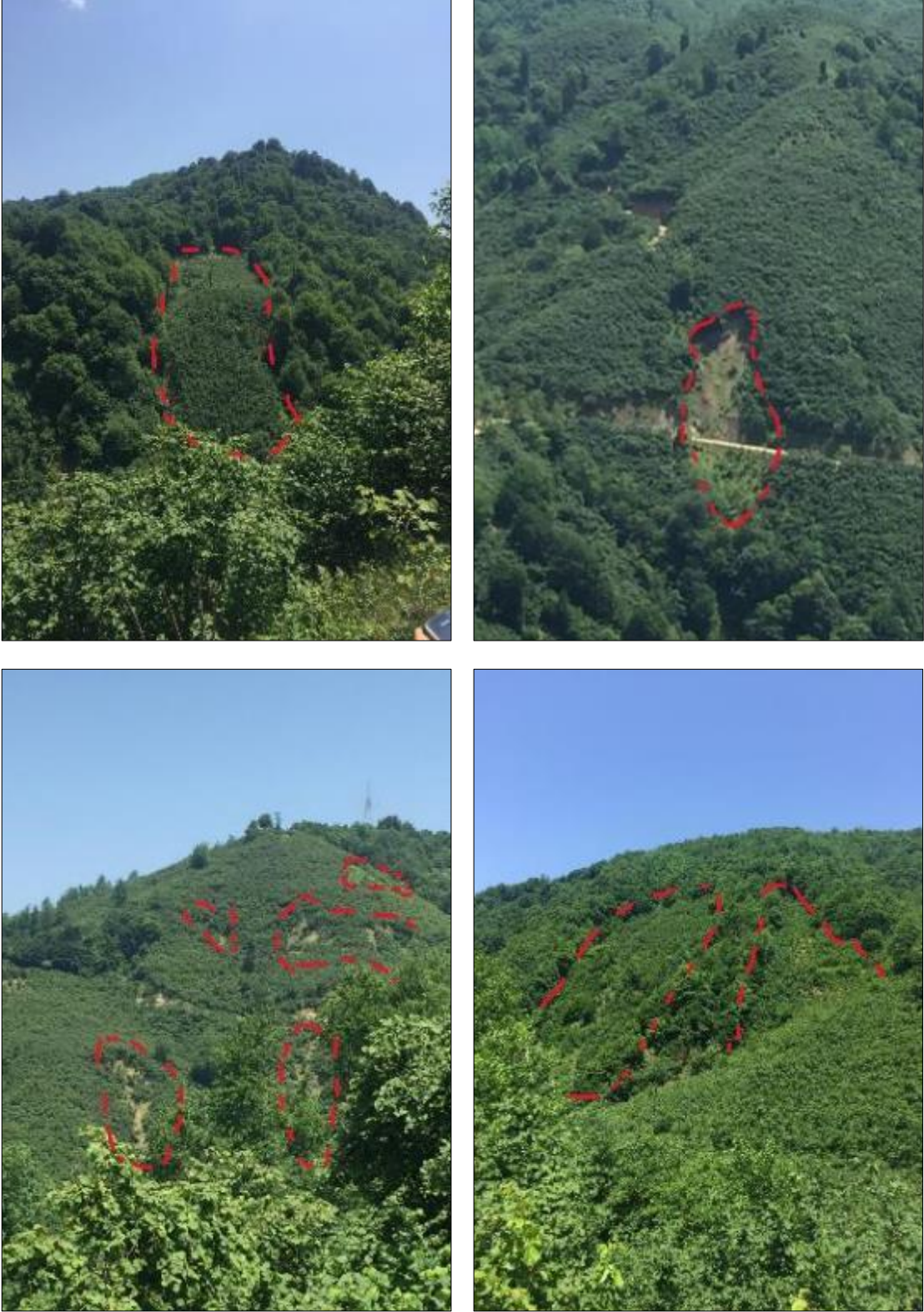
Heyelan duyarlılığını belirlemede kullanılan parametrelerden biri de yağış miktarıdır. Yağış miktarı haritası için Meteoroloji Genel Müdürlüğü 'den (MGM) temin edilen yağış verilerine göre 2004 - 2019 yılları arasında çalışma alanında bulunan ve yakın istasyonların yağış verileriyle enterpolasyon yöntemi kullanılarak yağış miktarı haritası oluşturulmuştur.

3. BULGULAR

3.1. Ekolojik Özelliklere İlişkin Bulgular

Araştırma alanı, hem jeolojik ve topografik yapısı hem de iklim özellikleri nedeniyle taşkın, heyelan ve sel gibi doğal afetlere karşı hassas bir bölgede yer almaktadır. Bunun ana tetikleyici sebepleri arasında, bölgenin topoğrafik yapısına bağlı olarak şiddetli yağışlara maruz kalması, ani kar erimesi ve dere-topuk aşındırması gelmekte, beşeri kaynaklardan da arazi kullanımında yapılan hatalar, altyapı veya yapılaşma amaçlı yüksek eğimli şevler oluşturulması, açılan şevlerin koyucu önlemler alınmadan desteksiz bırakılması gelmektedir. Tüm bu özelliklere bölgedeki yerleşim şeklinin dağınık olması ve her yerleşim yerine yol inşa edilmesi hassasiyeti artırmaktadır.

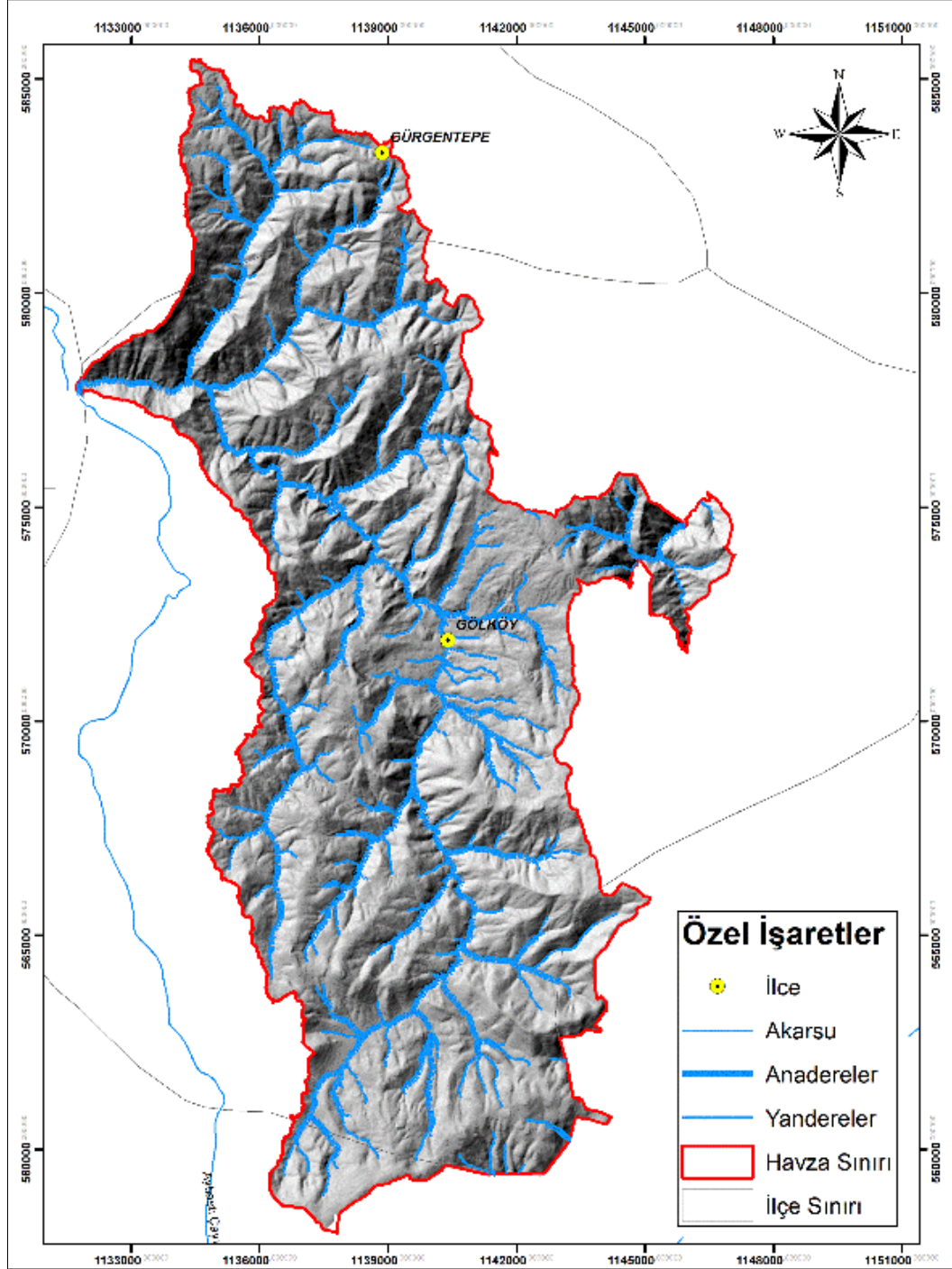
Çalışma alanında en son 2023 yılında şiddetli yağışların ardından taşkın felaketi meydana gelmiştir. Yine araştırma alanı içerisinde kalan Gölköy ilçesinde 2018 yılında yaşanan şiddetli yağışların ardından taşkın ve heyelanlar meydana gelmiştir. Bu felaketler bazı yolların kapanmasına, fındık bahçeleri başta olmak üzere tarım alanlarının hasar görmesine sebep olmuştur. Son dönemlerde bölgede görülen heyelanlara ait bazı görseller Şekil 8’de (Foto: Z. KAYA TOPAÇLI) verilmiştir. Şekillerde görüldüğü üzere, arazi örtüsünün tamamen yeşil bitki örtüsü ile kaplanmış olması, heyelanları önlemede tek başına yeterli olmamaktadır. Özellikle eğimin çok yüksek olduğu alanlarda, kazık köklü orman ağaçlarının kesilerek yerlerine fındık tarımı yapılması ve yol kazı şevlerinin herhangi bir önlem alınmadan açılması gibi faktörler parçalı heyelanların oluşmasına yol açmaktadır. Heyelanların meydana gelmesine etki eden pek çok faktörün detaylı bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Bu sebeplerle, heyelanların sık yaşandığı Medrese mikro havzası, tez kapsamında çalışma alanı olarak seçilmiştir.



Şekil 8. Havzadaki tarım ve orman alanlarında meydana gelen heyelanlar

3.1.1. Hidrolojik Özellikler

Bolaman Çayı Havzasının alt kollarından biri olan Medrese kolu çalışma alanıdır. Sahadaki drenaj ağı yoğundur ve çok sayıda küçük, geçici derelerden beslenir (Şekil 9).



Şekil 9. Havzanın drenaj ağı haritası

Havzanın drenaj ağı haritasından da görüleceği üzere, havza genelinde birçok küçük ve büyük akarsular tarafından beslenir. Düzenli yağış rejimi bulunan alanda su kaynakları (kuru ve sulu dereler) ve bunları besleyen dereler oldukça fazla debilere sahip olup hemen hemen her mevsim aktiftir. Havzanın yağışı yıl içine düzenli dağılışı göstermektedir. Ancak nehirlerin sağanak yağışlardan sonra meydana gelen debideki artışı sel taşkın ve heyelanların oluşmasına neden olur.

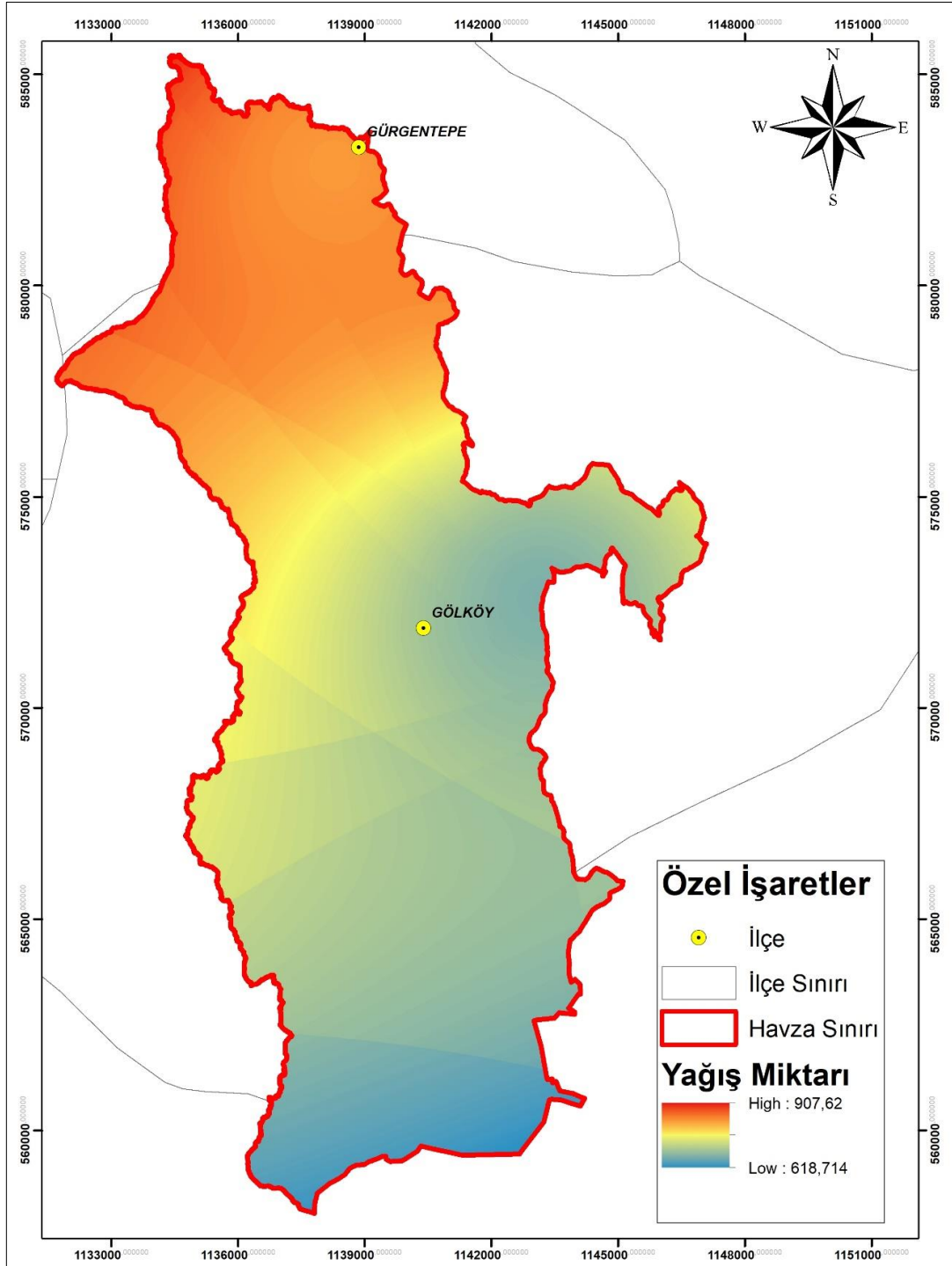
Yüksek eğimli ve engebeli bir topografyaya sahip olan havza, yağışların hızla yüzey akışına dönüşmesine neden olur. Yoğun yağışlar, eğimli arazi ve akarsu aktiviteleri gibi faktörler, heyelan riskini artıran temel etkenler olup havza içerisindeki heyelan risklerinin doğru yönetimi, hidrolojik verilerin detaylı analizi ve değerlendirilmesi ile mümkündür.

3.1.2. İklim Durumu

Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre, araştırma alanında en soğuk aylar ocak ve şubat aylarıdır. Bu dönemde sıcaklıklar sıfırın altına düşmekte ve yaklaşık -6 ila -7 derece civarında seyretmektedir. İç bölgelerde ise en soğuk ay ocak olup, bu ayda sıcaklıklar -7 dereceye kadar gerilemektedir. Çalışma alanının bulunduğu iç kesimlerde kar yağışı hem yoğundur, hem de kış mevsimi daha uzun sürer. En sıcak aylar haziran – temmuz aylarıdır. En fazla aylık ortalama yağış miktarının olduğu ay 131,7 ile ekim ayıdır.

İklim verileri içerisinde heyelan duyarlılığını belirlemede kullanılan parametrelerden biri de yağış miktarıdır. Çalışma alanına ait 2004-2019 yılları arası yıllık ortalama yağış miktarı haritası Şekil 10'da verilmiştir. Buna göre çalışma alanının yıllık ortalama yağış miktarı 618,7 ile 907,6 mm arasında değişmektedir.

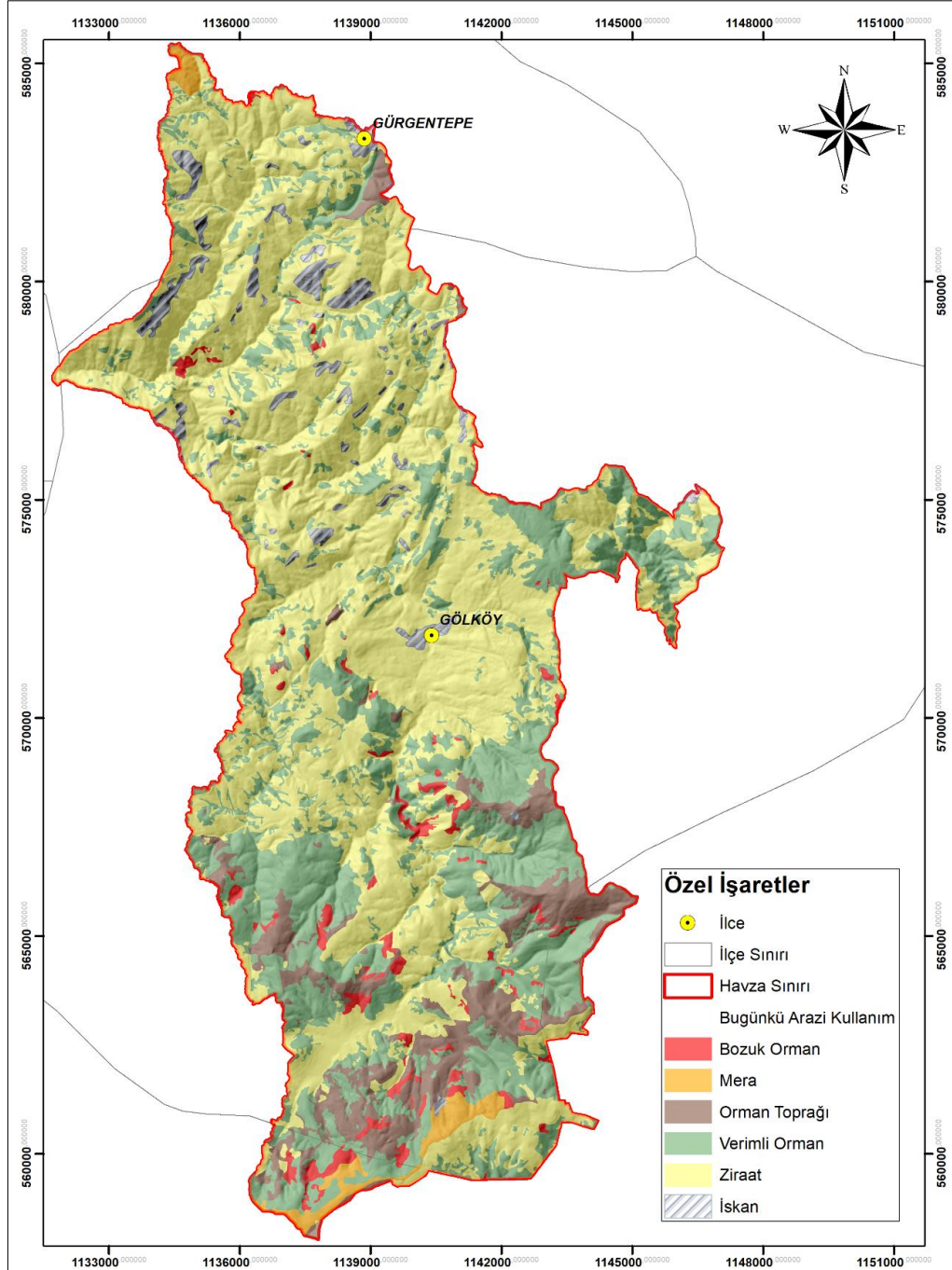
Şiddetli yağış veya kar erimesi ile birlikte yamaç yüzeyindeki su miktarının artmasına ve yamaçta meydana gelen yük ile stabilitenin bozulmasına neden olur. Bu da kütle hareketlerini tetikler. Genellikle heyelanlar şiddetli yağışların ardından meydana gelir. Çalışma alanı yıl boyunca düzenli yağış alan bir iklime sahip olması nedeniyle heyelanların tetiklenme olasılığı yüksektir. Özellikle küresel iklim değişikliği senaryoları düşünüldüğünde araştırma alanı özelinde heyelana duyarlı alanlarda çok daha dikkatli davranılması gerekir.



Şekil 10. Çalışma alanının yağış miktarı haritası

3.1.3. Bitki Örtüsü ve Arazi Kullanımı

Çalışma alanı, engebeli bir araziye sahip olup 414 m ile 1928 m arasında değişen yükseltiye sahiptir. Orman amenajman planındaki meşçere haritasının sayısallaştırılması ile oluşturulan arazi kullanım haritası Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Çalışma alanının arazi kullanım haritası

Bitki örtüsü; iklim ve edafik özelliklerine göre değişiklik göstermekte olup nemli ormanlardan oluşmaktadır. Havzada genel olarak iğne yapraklı türlerden oluşan ormanlar yok denecek kadar azdır. Daha çok yapraklı türlerin hakim olduğu kısmen saf kısmense karışı ormanlar bulunmaktadır.

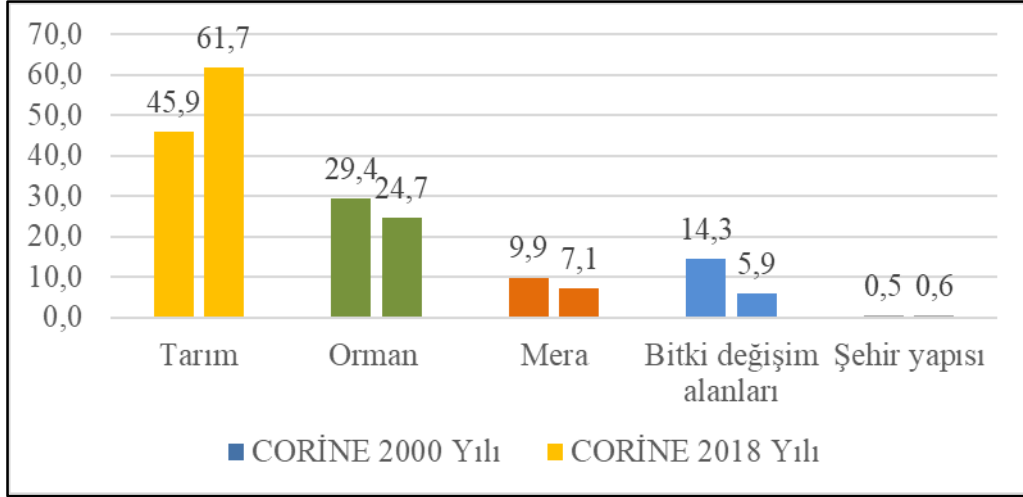
Harita verileri ve arazi incelemelerine göre hakim ağaç türleri arasında; kayın (*Fagus orientalis*), göknar (*Abies nordmanniana*), meşe türleri (*Quercus* sp.), kestane (*Castanea sativa*), gürgen türleri (*Carpinus* sp), sarıçam (*Pinus silvestris*) sayılabilir. Bununla birlikte alanda çok sayıda ara ve alt tabakada yer olan otsu ve odunsu taksonlar bulunmaktadır.

Havzanın aktüel arazi kullanım durumu genel olarak fındık bahçelerinin egemen olduğu tek kültürlü alanlara çevrilmiştir. Fındık bahçeleri başlangıçta sahil kesiminde geniş alanlarda değerlendirilmiş, daha sonradan ise süratli bir şekilde yukarı ve iç bölgelere doğru yayılmıştır. Böylece arazi kullanımı değişikliği (orman/tarla) ve yanlış arazi kullanımı heyelanların artmasına sebep olmaktadır. Harita üzerinde sarı renkle ve ziraat olarak gösterilen alanların tamamına yakını fındık bahçelerinden oluşmaktadır. Bunların bir kısmı eskide mısır vb. tarla bitkileri ile ekili alanlardan bir kısmı da oranlık alanlardan açma yapılarak kazanılmış yerlerdir.

Çalışma alanının arazi örtüsü ve arazi kullanımı değişimlerinin belirlenmesinde, Avrupa Çevre Ajansı'nın oluşturduğu sınıflandırma sistemini esas alan CORINE (Coordination of Information on the Environment) kullanılması ile 2000 ve 2018 yıllarına ait verilerin ArcMap 10.4.1 yazılımı ortamında işlenerek, arazi örtüsünde meydana gelen değişimler ortaya koyulmuştur. CORİNE, arazi örtülerini üç farklı düzeyde sınıflandırmakta olup birinci düzey beş ana sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar; suni bölgeler, tarımsal sahalar, orman ve yarı-doğal alanlar, sulak alanlar ile su yüzeyleri şeklinde ayrılmıştır. Çalışma alanının arazi örtüsü değerlendirmesinde ikinci düzey sınıflardan tarım, orman, mera ve şehir yapısı kullanılırken üçüncü düzeyde yer alan bitki değişim alanları sınıfı arazi örtüsü değişimindeki yüksek kaybindan dolayı analize özellikle katılmıştır. Bitki değişim alanları ikinci düzey sınıflandırmada maki ve otsu bitkilerin altında yer almaktadır. Bitkisel taksonlardaki farklılaşmalar, doğal yapıdaki değişiklikler, çalılık ve otsu bitkilerin yer yer ağaçlarla beraber dağıldığı alanları ve doğal orman gelişim alanları ile birlikte orman gençleştirme veya kesim alanlarını da içerir (URL, 2024).

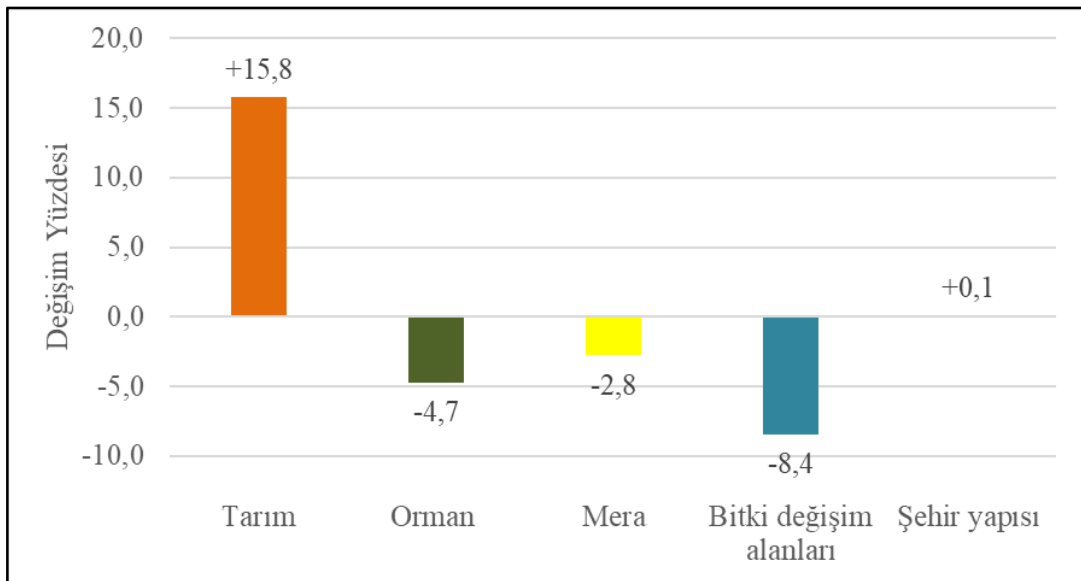
Çalışma alanının CORİNE sınıflandırmasına göre; 2000 yılındaki arazi örtüsünün % 45,9'u tarım, % 29,4'ü orman, %9,9'u mera, % 14,3'ü bitki değişim alanları, %0,5'i şehir yapısındadır. CORİNE 2018 verilerine göre ise arazi örtüsünün % 61,7'si tarım, % 24,7'si

orman, % 7,1'i mera, % 5,9'u bitki değişim alanları, %0,6'sı yerleşim alanı şeklinde dağılım göstermektedir (Şekil 12).



Şekil 12. Çalışma alanının CORİNE 2000-2018 yılları arazi örtüsü

Bu süreçte tarım alanları % 15,8 ve yerleşim alanları %0,1 artarken orman alanları % 4,7, mera alanları 2,8, bitki değişim alanları %8,4 oranında azalmıştır (Şekil 13). Çalışmada kullanılan CORİNE verileri Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü veri tabanından temin edilmiştir.



Şekil 13. Çalışma alanının 2000- 2018 yılları arasında arazi örtüsü değişimi

3.2. Heyelan Duyarlılık Analizine İlişkin Bulgular

Çalışma alanı boyunca iskan yerleri, tarım alanları, ormanlık alanlar, yol ve drenaj ağları boyunca gözlem yapılmış heyelan alanlarının konumu belirlenmiş ve yerinde incelenmiştir. Ayrıca uydu görüntüleri ve hava fotoğrafları da analiz edilerek heyelan envanter haritasına eklemelerle araştırma sahasında toplam 126 adet heyelan tespit edilmiş ve haritalandırılmıştır (Şekil 14).

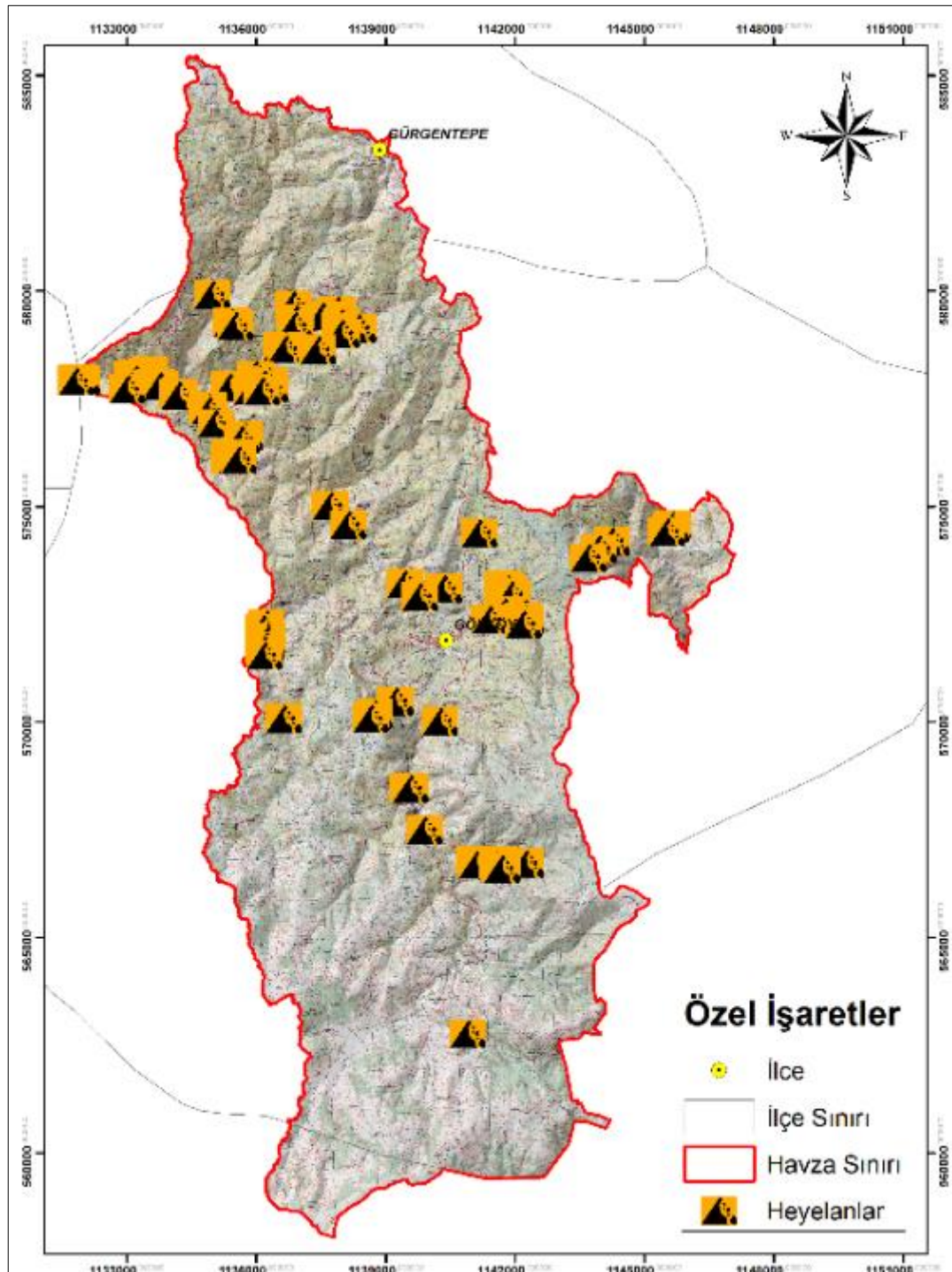
Heyelanların nerelerde meydana gelebileceği ile ilgili yaklaşımlara katkı sağlayan heyelan duyarlılık değerlendirmeleri, alanın mevcut heyelan envanter haritaları ve heyelanları etkileyen çevresel faktörleri göz önünde bulundurularak hazırlanır. Böylece heyelan envanter haritasının oluşturulması yoğun güç ve zamanı gerektirse de, bu tür haritaların araştırma alanında aktüel şartlar dikkate alınarak emeğin kalitesi ve sıhhati ve doğrulanması bakımından önem taşır.

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte heyelan envanter haritaları; uydu görüntüleri, hava fotoğrafları, tarihsel kayıtlar, arazi çalışmaları gibi birçok kaynakla oluşturulabilir. Çalışma alanındaki mevcut heyelanların belirlenip analiz edilmesi, yöreye ait heyelan duyarlılık haritalarının ortaya çıkarılması ve heyelana neden olan etkili parametreleri tespit edilmek için öncelikle arazi etütleri, incelemeleri ve değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir.

Heyelan envanter haritaları, heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmelerinde en önemli temel veri kaynağıdır. Bu haritalar, arazide bulunan heyelanların konumu, türü, tetikleyici unsurları ve aktif hale gelme durumları hakkında kapsamlı bilgi sağlar. Heyelan envanterlerinin oluşturulması ve heyelanları tetikleyen faktörlere ilişkin bir veri tabanının hazırlanması, geçmişte meydana gelen hareketlerin gelecekteki olası heyelanlar için ipuçları sunmasına olanak tanır. Bu şekilde, mevcut heyelan haritalarıyla potansiyel tehlike altındaki bölgeler tahmin edilmeye çalışılmaktadır (Carrara vd. 2003).

Heyelanların tekrarlanması sonucunda oluşabilecek zararlara karşı, bu olayların zamansal ve mekânsal dağılımlarının detaylı bir şekilde kaydedilip haritalanması büyük önem taşımaktadır. Aynı özelliklere sahip bölgelerin ayırt edilebilmesi ve bu bilgiler kullanılarak ileriye dönük modellerin oluşturulması açısından da kritik bir rol oynar. Ayrıca, arazi kullanımındaki değişiklikler, sel, taşkın, yol yapımı gibi faktörlerden kaynaklanan etkilerin belirlenebilmesi için mevcut heyelan veri tabanlarının düzenli olarak güncellenmesi veya uzaktan algılama yöntemleriyle kontrol edilmesi gerekmektedir. Heyelanların

büyüklüğü, dağılımı ve hasar verdiği üst ve altyapı elemanları da ayrıntılı bir şekilde tespit edilmelidir.



Şekil 14. Heyelan envanter haritası

Jeoteknik modellerle oluşturulan heyelan duyarlılık haritaları, genellikle sınırlı alanlarda etkili olabilmektedir, çünkü geniş bölgelerde uygun çözünürlükte jeoteknik veri toplamak oldukça zordur. Ayrıca, bu modelleri çalıştırmak için gerekli olan fiziksel değişkenlerin çoğu genellikle mevcut değildir ve bu verilerin elde edilmesi maliyetli bir süreçtir. Bunun aksine, geniş alanlarda heyelan tehlikesini değerlendirmek için istatistiksel yaklaşımlar tercih edilmektedir (Yeşilnacar & Topal, 2005).

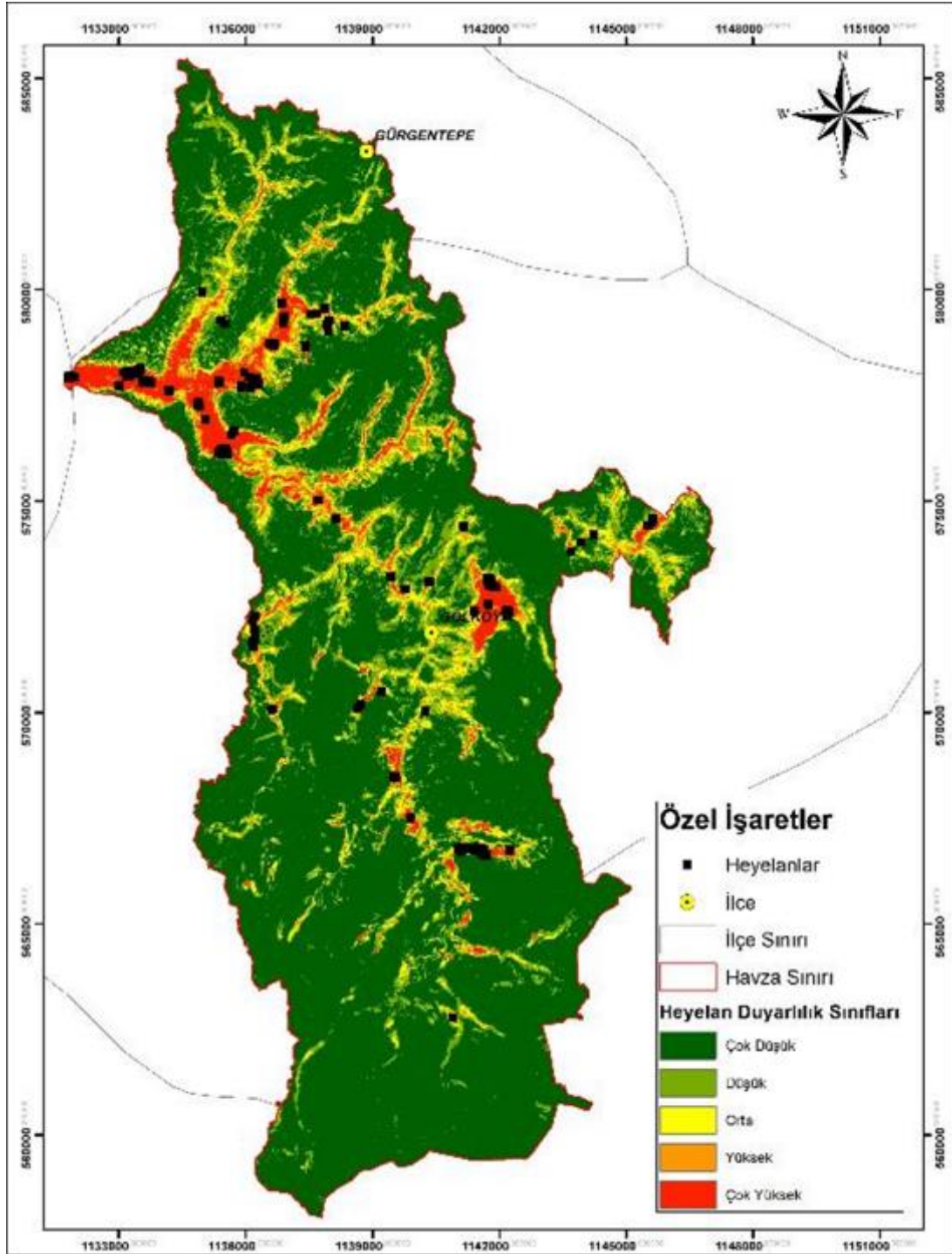
Heyelan değerlendirme çalışmaları, heyelan envanteri, duyarlılık, tehlike ve risk modelleme başlıkları altında gruplandırılmaktadır. İlk aşamada, heyelan envanter haritaları, heyelanların tiplerini, yerlerini ve oluşum zamanlarını belirten haritalardır. Bu haritalar, tarihsel dokümanların derlenmesi, hava fotoğraflarının incelenmesi ve arazi çalışmalarının birlikte yapılmasıyla hazırlanabilir (Çan vd. 2013).

Heyelan duyarlılık haritaları, belirli bir bölgede heyelanı tetikleyen parametreler kullanılarak potansiyel heyelan alanlarının belirlenmesine olanak tanır. Bu çalışmalar, olası heyelanların nerede meydana geleceğini, hangi faktörlerin etkili olacağını ve bu olayların nasıl gerçekleşeceğini öngörmeye yönelik bilgiler sunar. Heyelan tehlikesi ise, hasar verici etkisi olabilecek bir heyelan olayının, belirli bir alan ve zaman diliminde meydana gelme olasılığıdır (Varnes, 1984). Heyelan riski ise, belirli bir zamanda ve alanda gerçekleşebilecek bir heyelan sonucunda meydana gelebilecek en yüksek potansiyel kaybı ifade eder (Liu & Miao, 2018). Bu kavram, heyelan nedeniyle oluşabilecek can ve mal kayıplarının yanı sıra, ekonomik ve çevresel zararların da dikkate alınarak değerlendirilmesini kapsar (Ercanoğlu, 2005).

3.3. Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulmasına Ait Bulgular

Bu çalışmada rastgele Orman Yöntemi (RO) kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Bu haritasının oluşturulmasında muhtemel parametreler olarak aktüel arazi kullanım durumu, jeolojik yapı (formasyonlar), yükselti, yamaç eğimi, bakı, yamaç eğriselliği, nehir aşındırma gücü indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, eğim uzunluğu ve eğim dikliği faktörü, drenaj yoğunluğu, akarsuya yakınlık, yol yoğunluğu, yola yakınlık, erozyon durumu ve yağış miktarı gibi özellikler dikkate alınmıştır.

Heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere sınıflandırılmıştır (Şekil 15). RO metoduyla üretilmiş olan heyelan duyarlılık haritasının duyarlılık sınıflarına göre alan yüzdesi dağılımı Tablo 3'te yer almaktadır.



Şekil 15. RO yöntemiyle oluşturulan heyelan duyarlılık haritası

Tablo 3. Heyelan Duyarlılık Sınıflarının Alan Yüzdesi Dağılımı

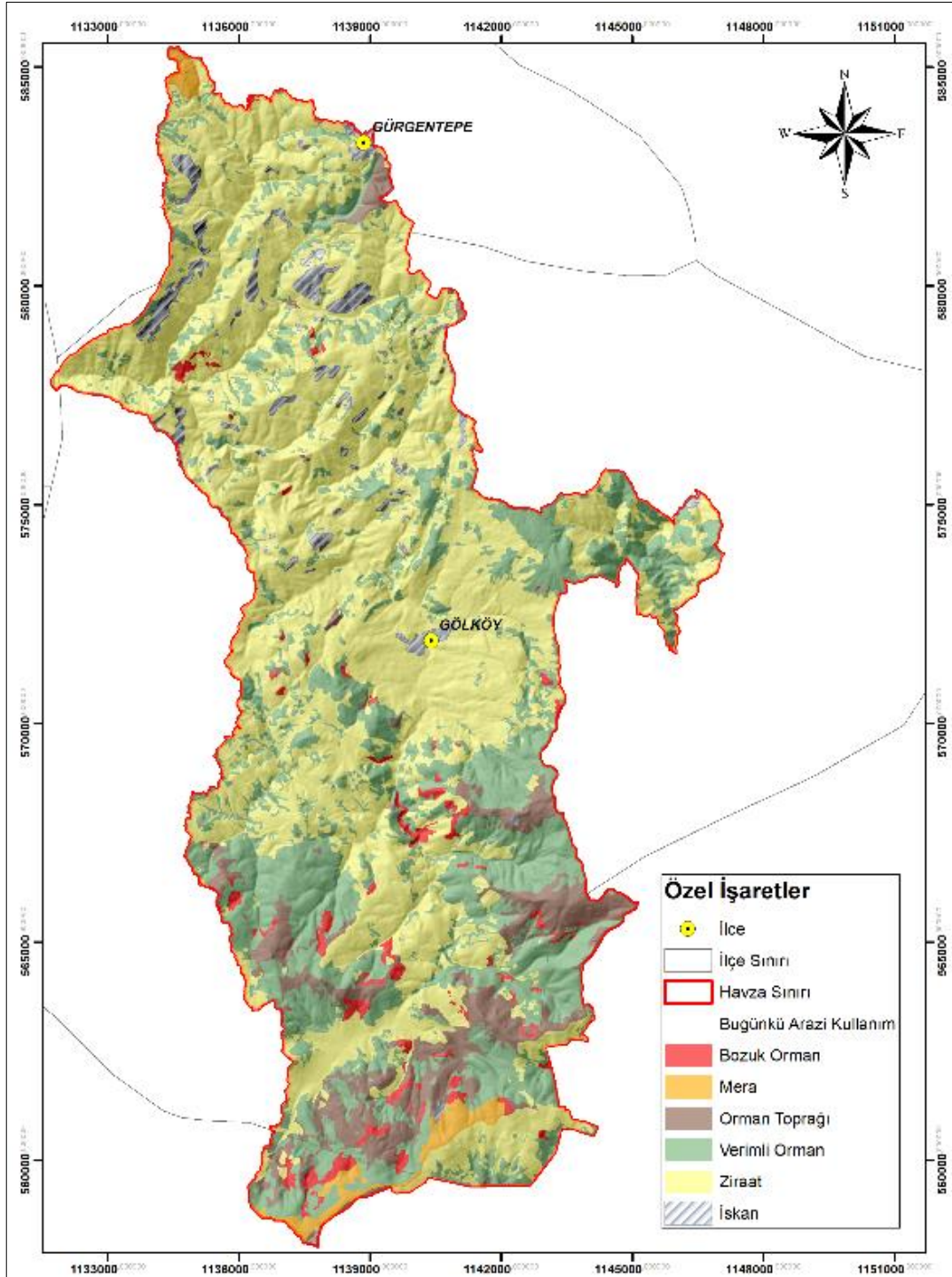
Heyelan Duyarlılık Sınıfları	Piksel Sayısı	Alan Yüzdesi
Çok Düşük	1325478	71,2
Düşük	267515	14,4
Orta	124648	6,7
Yüksek	61466	3,3
Çok Yüksek	83807	4,5
Toplam	1 862 914	100

3.3.1. Arazi Kullanım Durumu

Çalışma bölgesine ait arazi kullanım durumu haritası meşcere haritalarından faydalanılarak oluşturmuş ve altı sınıfa (Verimli orman, Bozuk orman, Orman toprağı, Ziraat, İskân, Mera) ayrılmıştır. Buna göre elde edilen arazi kullanım durumu haritası Şekil 16’da verilmiştir. Oluşturulan haritaya göre; toplam alanı 18 629 ha olan araştırma sahasının aktüel durum itibarıyla % 56,25’inde başta fındık tarımı olmak üzere ziraat, % 29,74’ünde verimli orman, % 2,26’ında ise bozuk orman niteliğindedir. Aynı arazinin, %7,74’ünde orman toprağı, % 1,38’inde mera, % 2,67’sinde iskân alanları bulunmaktadır (Tablo 4). Ayrıca araştırma sahasında görülen heyelanların %73,8’inin tarım alanlarında, %24,7’sinin ağaçlık yerlerde, %1,6’sı ise diğer (mera, iskân vb.) alanlarda ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Tablo 4. Arazi kullanım durumunun yüzdesel dağılımı

Arazi Kullanım	Alan (ha)	Yüzde
Ziraat	10478,1	56,25
Verimli Orman	5539	29,74
Bozuk Orman	420	2,26
Orman Toprağı	1440,4	7,74
Mera	255,6	1,38
İskân	496	2,67
Toplam	18629,1	100



Şekil 16. Arazi kullanım durumu haritası

Arazi kullanım verilerine dayanarak oluşturulan haritaya göre, mikro havzada farklı arazi kullanım durumları mevcuttur. Çalışma alanındaki heyelanların %82'si tarım arazilerinde, %10'u bozuk ormanlık alanlarda, %4'ü verimli ormanlık alanlarda, %3'ü mera

alanlarında ve %1'i diğer alanlarda meydana gelmiştir. Bu verilere göre, bitki örtüsünün yoğun olduğu ormanlık alanlar, daha seyrek bitki örtüsüne sahip tarım alanlarına kıyasla heyelanlardan daha az etkilenmektedir. Ancak bitki kökleri ve gövdeleri, heyelan duyarlılığını azaltıcı etkilerinin yanı sıra bazı olumsuz etkiler de gösterebilir. Nagarajan vd. (2000) araştırmasına göre, bitkilerin kök ve gövdeleri zeminin geçirgenliğini ve pürüzlülüğünü artırarak, yüzey sularının zemine sızmasını kolaylaştırmakta ve bu durum boşluk suyu basıncını yükselterek zeminde süreksizliklerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu süreç, kayacın dayanımını azaltarak heyelana karşı duyarlılığı artırıcı bir etki yaratmaktadır.

Açık alanlar ormanlık alanlara kıyasla daha yüksek sığ heyelan yoğunluğuna sahiptir. Yerleşim ve tarım alanlarındaki arazi kullanımına bağlı olarak, ormanlık alanları heyelana duyarlı dik arazilerde bulunur. Bu da ağaçların ağırlıkları ve uygun olmayan rüzgârın etkisiyle stabiliteyi azaltıcı yönde negatif etkilere neden olsalar da, ormanlık alanlar, çıplak ya da ormansız alanlara kıyasla çok daha stabil ve güvenli alanlardır.

Arazi kullanım durumu, heyelan duyarlılığı analizlerinde yaygın olarak kullanılan önemli parametrelerdendir. Bitki örtüsünün, bir yamacın heyelana karşı duyarlılığı üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkilerinin olduğu kabul edilmektedir (Dağ, 2007). Ormanların, hem toprak altı hem de toprak üstü süreçlere etkisiyle koruyucu fonksiyonları vardır. Vejetasyon, yamaç ve şevlerde yüzeysel erozyona karşı uzun vadede en iyi korumayı sağlarken, sığ kütle hareketlerine karşı ise belirli bir dereceye kadar engelleyici ya da güçlendirici rol üstlenmektedir (Görcelioğlu, 2004). Ormanların yamaç stabilitesine fiziksel etkileri ise, çok sayıda parametreye bağlı olduğundan karmaşık bir yapıya sahiptir (Steinacher, 2009). Özellikle, ağaç köklerinin tutunma özelliği sayesinde sağladıkları gerilme direnci, toprağı güçlendirmekte ve yamaçların daha stabil olmasına yardımcı olmaktadır.

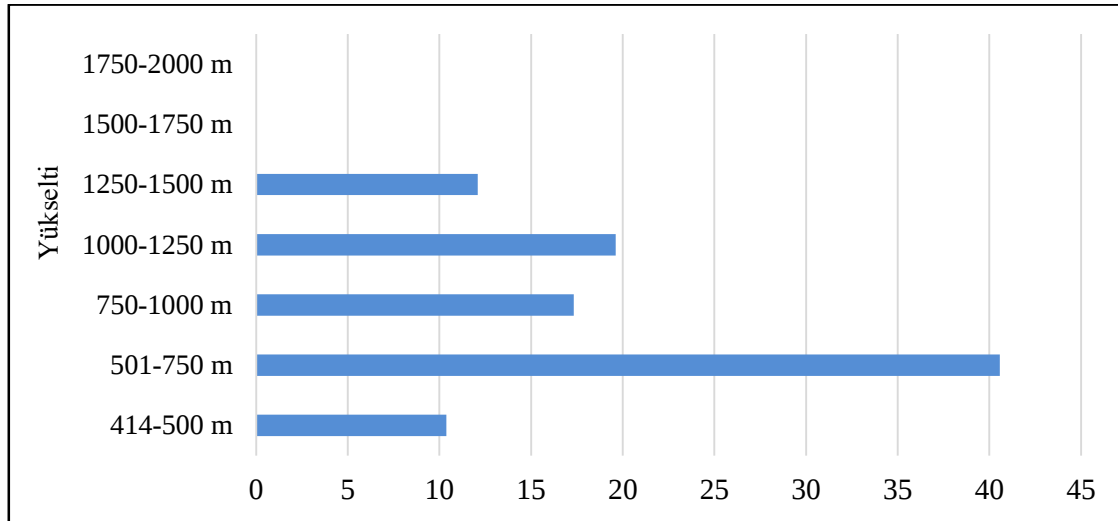
Bitkiler, kökleri aracılığıyla zemin boşluklarındaki suyu azaltıp terleme yoluyla buharlaştırırken, aynı zamanda kök ve gövdeler zemin yüzeyinin geçirgenliğini artırarak yüzey sularının toprağı girmesini kolaylaştırmaktadır. Ancak bu süreç, zemindeki nem oranının azalmasıyla gelişen kuruma çatlakları nedeniyle zemine giren yağış sularının ve boşluk suyu basıncının artmasına yol açabilir. Bu durum, yamaçların duraylılığını olumsuz yönde etkileyebilir (Gökçeoğlu & Ercanoğlu, 2001).

Çalışma alanında ormanlık alanların tahrip edilip yerine yerleşim yeri, sanayi alanları veya tarım arazileri olarak kullanılmasının heyelan oluşumunda önemli bir rol oynadığı gözlenmiştir.

3.3.2. Yükselti

Yükselti heyelanların meydana gelmesine neden olan diğer parametreler üzerindeki etkisi nedeniyle en yaygın kullanılan faktörler arasında bulunmaktadır. Her yükselti aralığındaki heyelanın duyarlılığı farklıdır. Farklı yükseltilerdeki karın donma ve çözünme döngüsü, yağış miktarındaki değişimler vb. heyelanın duyarlılığını da etkilemektedir. Bu nedenlerle yükselti faktörü kullanılmıştır.

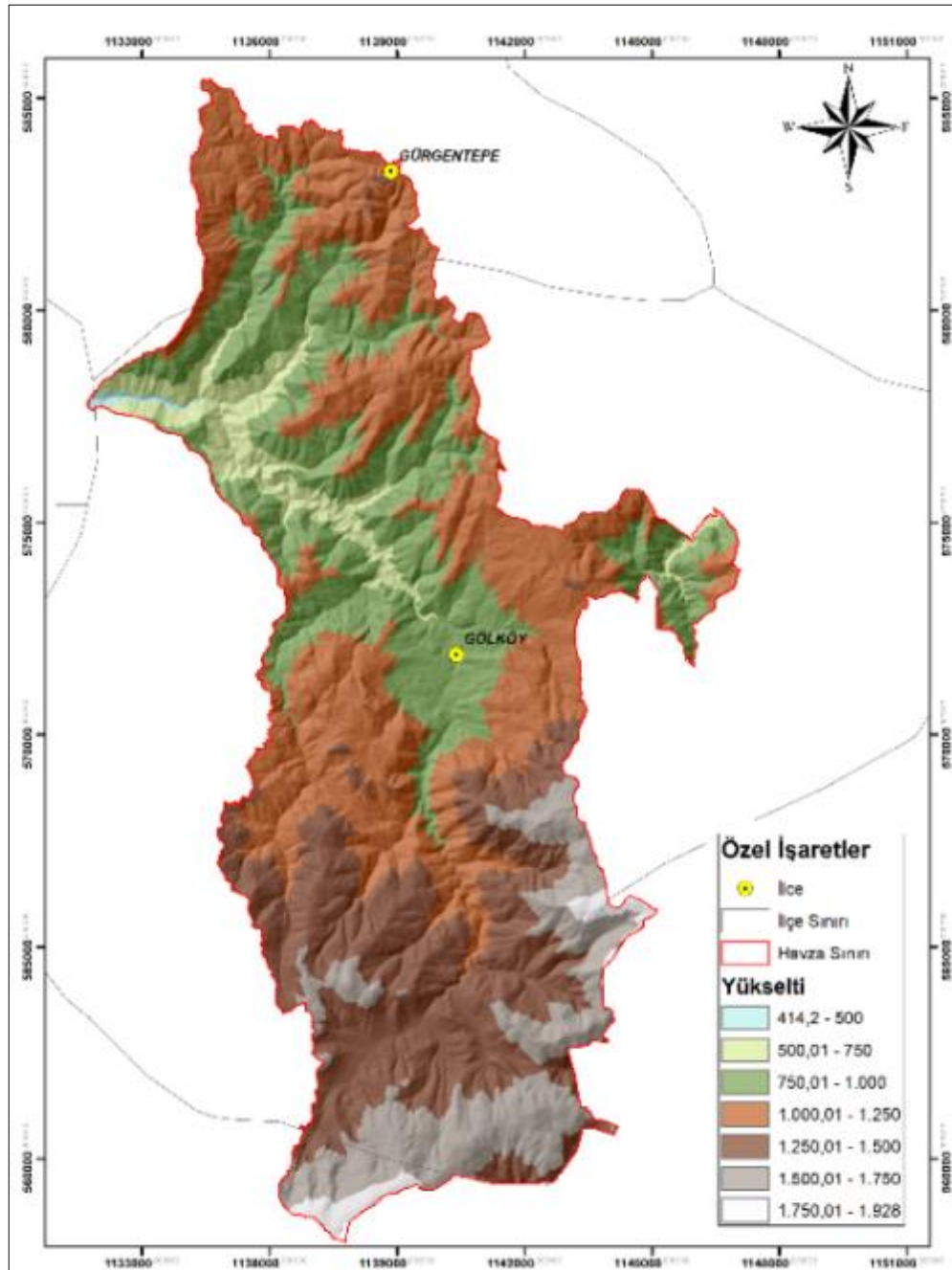
Çalışma alanına ait 1:25.000 ölçekli, Harita Genel Müdürlüğünden temin edilen sayısal topoğrafik haritalardan CBS ortamında ArcGIS 10.4.1 yazılımı ile 10x10 m çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli (SYM) kullanılarak yükselti haritası üretilmiştir. Haritaya göre; çalışma alanının yükseltisi 414-1928 m arasında değişmekte ve ortalama yükseltisi 1170 m'dir (Şekil 17).



Şekil 17. Heyelanların yükseltiye göre yüzdesel dağılımı

Yükselti faktörünün heyelan aktivitesine dolaylı bir etkisi olduğu göz önüne alındığında, bazı araştırmacılar, yüksek bölgelerin, alçak bölgelere kıyasla heyelanlara daha duyarlı olduğunu kabul etmektedir (Gökçeoğlu & Ercanoğlu, 2001). Alanın yükseltiye göre

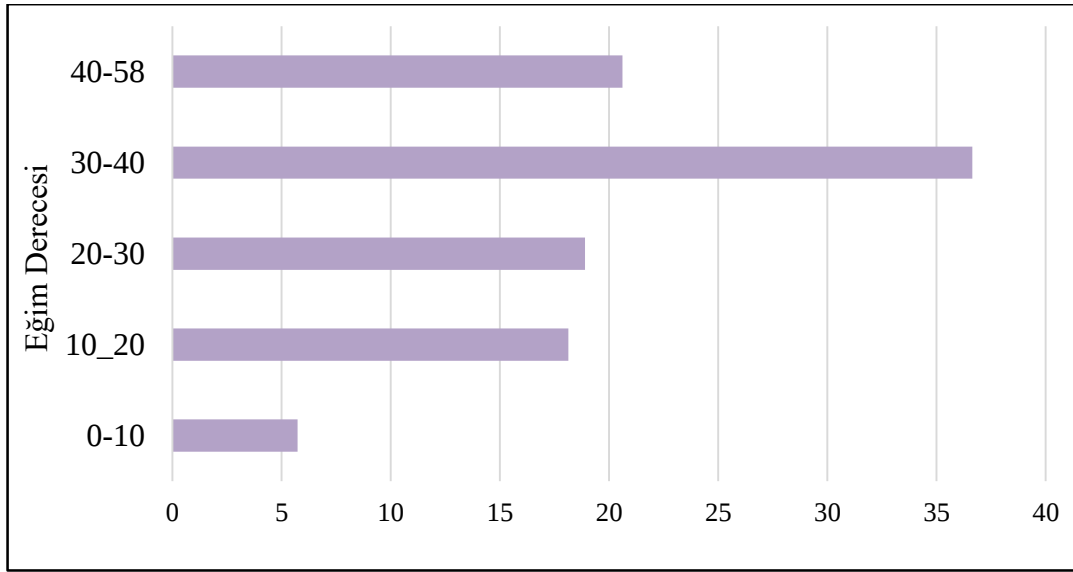
heyelan dağılımlarının değerlendirilmesi için beş ayrı yükselti sınıfına ayrılmıştır. Yükseltisi 1500 m üzerindeki alanlarda heyelan tespit edilememiştir. Buna göre alanın 500 m'den az yükselti sınıfında % 10,4'ü, 500-750 m arasındaki yükseltide % 40,6'sı, 750-1000 m arasındaki yükseltide % 17,3'ü, 1000-1250 m arasındaki yükseltide % 19,6'sı, 1250-1500 m arasındaki yükseltide %12'si bulunmaktadır. Heyelanların yükselti üzerinde dağılımı yüzdesel olarak Şekil 18'deki grafikte verilmiştir.



Şekil 18. Çalışma alanının yükselti haritası

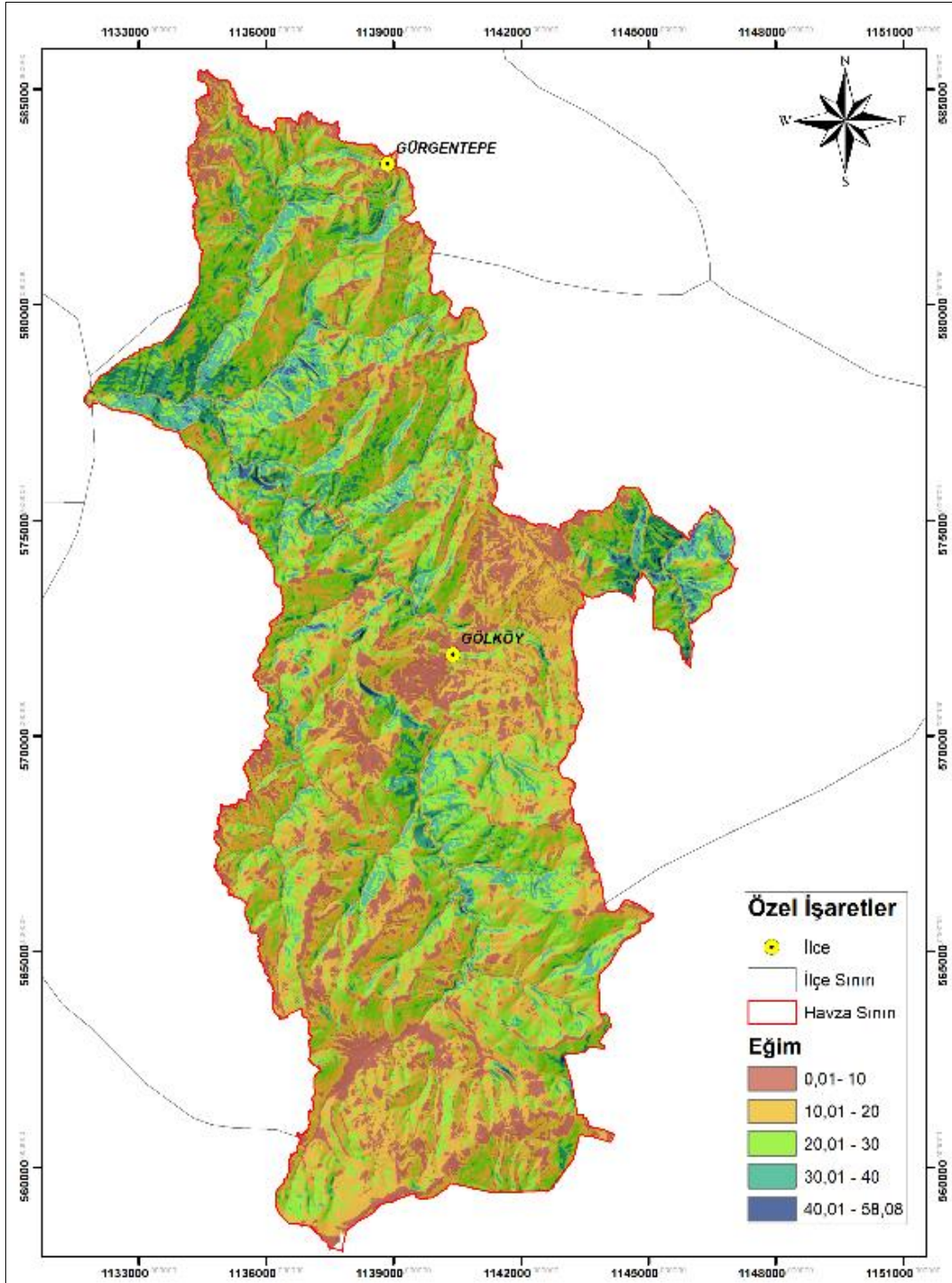
3.3.3. Yamaç Eğimi

Çalışma alanının eğim haritası SYM'den türetilmiştir. Yamaçların eğim miktarı derece cinsinden 0^0 ile 58^0 arasında değişmektedir. Çalışma alanındaki heyelanların $0-10^0$ arasında eğimde % 5,7'si, 10^0-20^0 arasındaki eğimde % 18,1'i, 20^0-30^0 arasındaki eğimde % 18,8'i, 30^0-40^0 arasındaki eğimde % 36,64'ü, 40^0-58^0 arasındaki eğimde %20,6'sı bulunmaktadır (Şekil 19).



Şekil 19. Heyelanların eğime göre yüzdesel dağılımı

Heyelan duyarlılık haritalamasında yamaç eğimi, önemli bir parametre olarak kullanılır ve bir alanın heyelan riskini belirleyen kritik faktörlerden biridir. Yamaç eğimi tek başına bir alanın heyelan riskini belirlemede yeterli değildir, ancak diğer faktörlerle birlikte değerlendirildiğinde (örneğin, toprak türü, jeoloji, yağış miktarı, bitki örtüsü vb.), oldukça etkili bir göstergedir. Dik yamaçlarda, yerçekimi kuvvetleri, malzemenin aşağı doğru hareket etmesine neden olacak şekilde artar. Dik eğimli alanlar genellikle daha az stabiliteye sahiptir. Bununla birlikte eğim arttıkça, yağmur suyu yüzey akışı da artar, bu da dolayısıyla heyelanları tetikler. Çalışma sonucunda elde edilen verilerden hareketle oluşturulan sahanın yamaç eğimi haritası Şekil 20'de verilmiş olup beş sınıfa ayrılmıştır.



Şekil 20. Çalışma alanı eğim haritası

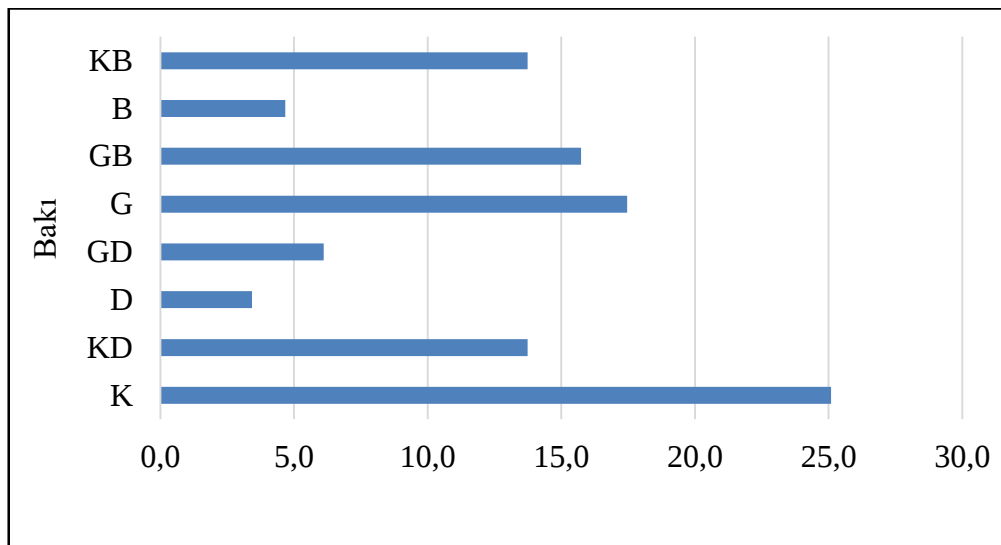
Eğimin; 0-10° arasında olduğu düşük eğimli yerlerde daha çok birikme ya da depolanma, 10° ile 30° arasındaki orta eğimli yerlerde sınırlı ancak derin oyuntular, toprak aşınımı ve kaymaları (heyelan) ile taş ve kaya yuvarlanmaları görülür. 30°'den daha fazla

eğimli alanlarda ise şiddetli erozyon, heyelan taş ve kaya düşmelerinin görüleceği arazi parçalarıdır (Milewski, Markoski, Jovanovski, & Gorin, 2009). Bazı araştırmacılar yamaç eğiminin artması ile heyelan duyarlılığının arttığını belirtse de düşük eğimlerde de heyelanlar görülebilmektedir. Heyelan- eğim ilişkisini üzerine yapılan araştırmalarda farklı sonuçlara ulaşılsa da genellikle heyelanların 30^0 ile 40^0 eğim sınıfında olduğunu belirtmişlerdir. Sonuçta, yamaç eğimi ile heyelan ilişkisi arasında alansal farklılıklardan oluşabileceği için istatistiksel olarak değerlendirilip yorumlanması gerekmektedir.

3.3.4. Bakı

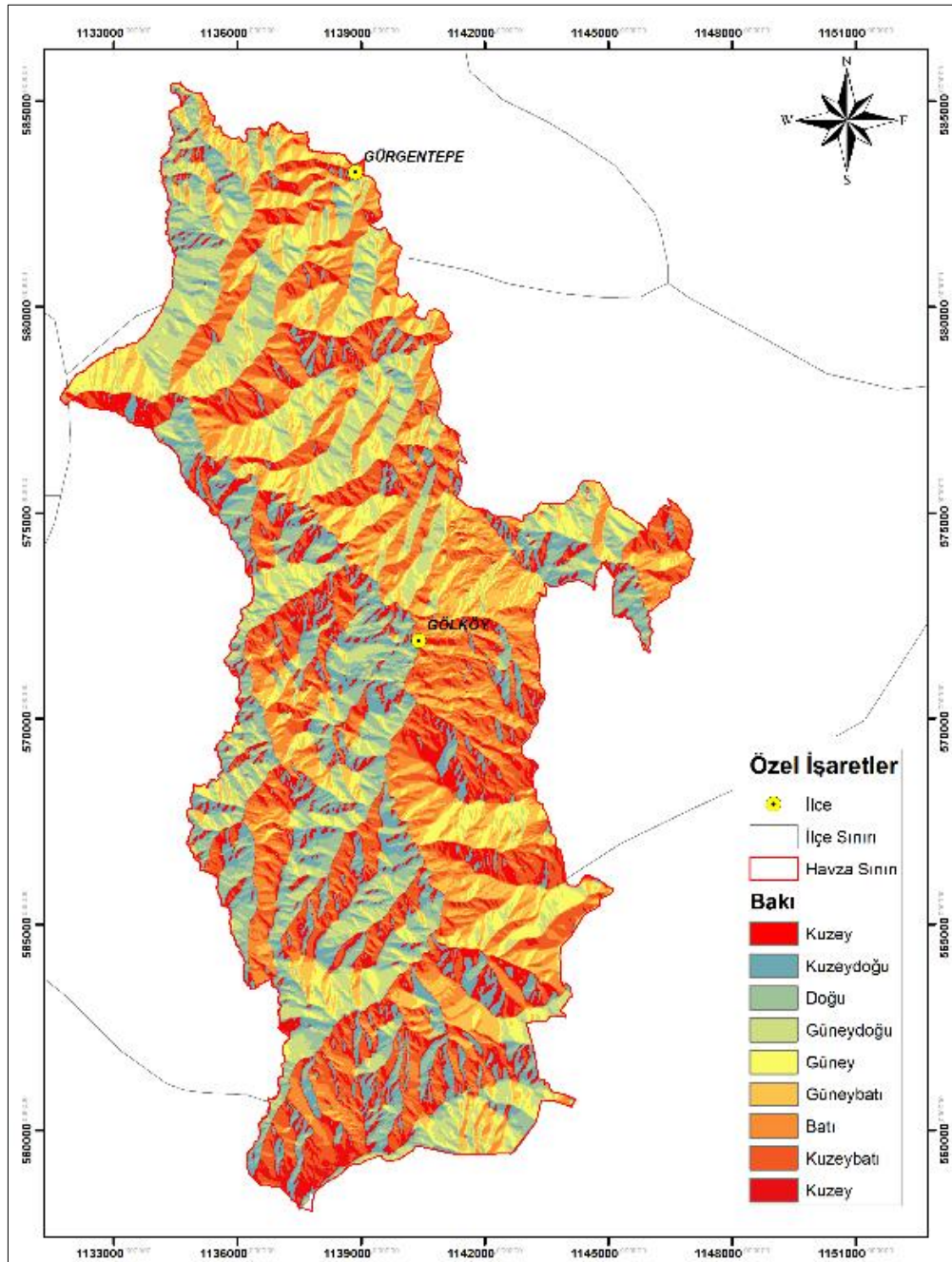
Heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan bakı, her çalışma alanında farklı etkisi olan bir parametredir. Aslında bakı doğrudan heyelan ile bağlantısı olmasa da yağışın etkisi nedeniyle ilişkilidir. Örneğin; Karadeniz’de dağların kuzey yamaçları denizsel etki ile daha fazla yağış alır. Burada yağış heyelanlar için tetikleyici olurken, bakı dolaylı bir şekilde hazırlayıcı bir faktör olur.

Çalışma alanının bakı haritası SYM’ den üretilmiş olup yamaçların hangi yöne eğimli olduğu kuzeyi 0^0 olarak saatin dönüş yönüne göre derecelendirilmiştir. Bakı haritasına göre, çalışma alanının yaklaşık %25,1’inin kuzey, %13,7’si kuzeydoğu, %3,4’ü doğu, %6,1’i güneydoğu, %17,5’i güney, %15,7’si güneybatı, %4,7’si batı ve %13,7’si kuzeybatı bakıya sahip olduğu Şekil 21’deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 21. Heyelanların bakılara göre yüzdesel dağılımı

Farklı bakılarda güneşlenme, yağış, bitki örtüsü, donma ve çözünme olayları birbirinden farklıdır. Yoğun yağış alan ve güneş ışınlarına daha az maruz kalan yamaçlarda heyelanlar daha fazla ve sık gözlemlenir. Araştırmacılar tarafından sadece bakının heyelanlar üzerinde baskın bir etkisinin olmadığı, iklimik faktörler ile çevresel etkilerin değişime uğramasından kaynaklı olduğu değerlendirilir. Araştırma alanına ait bakı haritası Şekil 22’de verilmiştir.



Şekil 22. Çalışma alanı bakı haritası

Literatürde, Karadeniz Bölgesi'nde yapılan çalışmalarda, kuzeye bakan yamaçlarda heyelanların yoğun olmasının temel nedeni, bölgenin kuzeyden gelen yağışların etkisi altında kalması ve bu yamaçların daha fazla yağış almasıdır. Güneye ve batıya bakan yamaçlar ise daha fazla güneş ışığına maruz kaldıkları için bu bölgelerde buharlaşma daha hızlı gerçekleşir. Buna karşılık, kuzey ve doğuya bakan yamaçlarda buharlaşma yavaş olduğundan, toprak daha uzun süre nemli kalır. Bu nedenle aşırı yağış alındığında bu bölgelerde sel, erozyon ve heyelan oluşma riski daha yüksektir. Ayrıca, kuzeye bakan yamaçlarda yağış sonrası toprağın nemli kalması bitki örtüsü açısından olumlu bir etki sağlar. Ancak infiltrasyonun artması, yüzeysel akışın azalması ve derin toprak oluşumunun desteklenmesi, kütle hareketlerine yol açabilir (Çellek, 2013).

3.3.5. Yamaç Eğriselliği

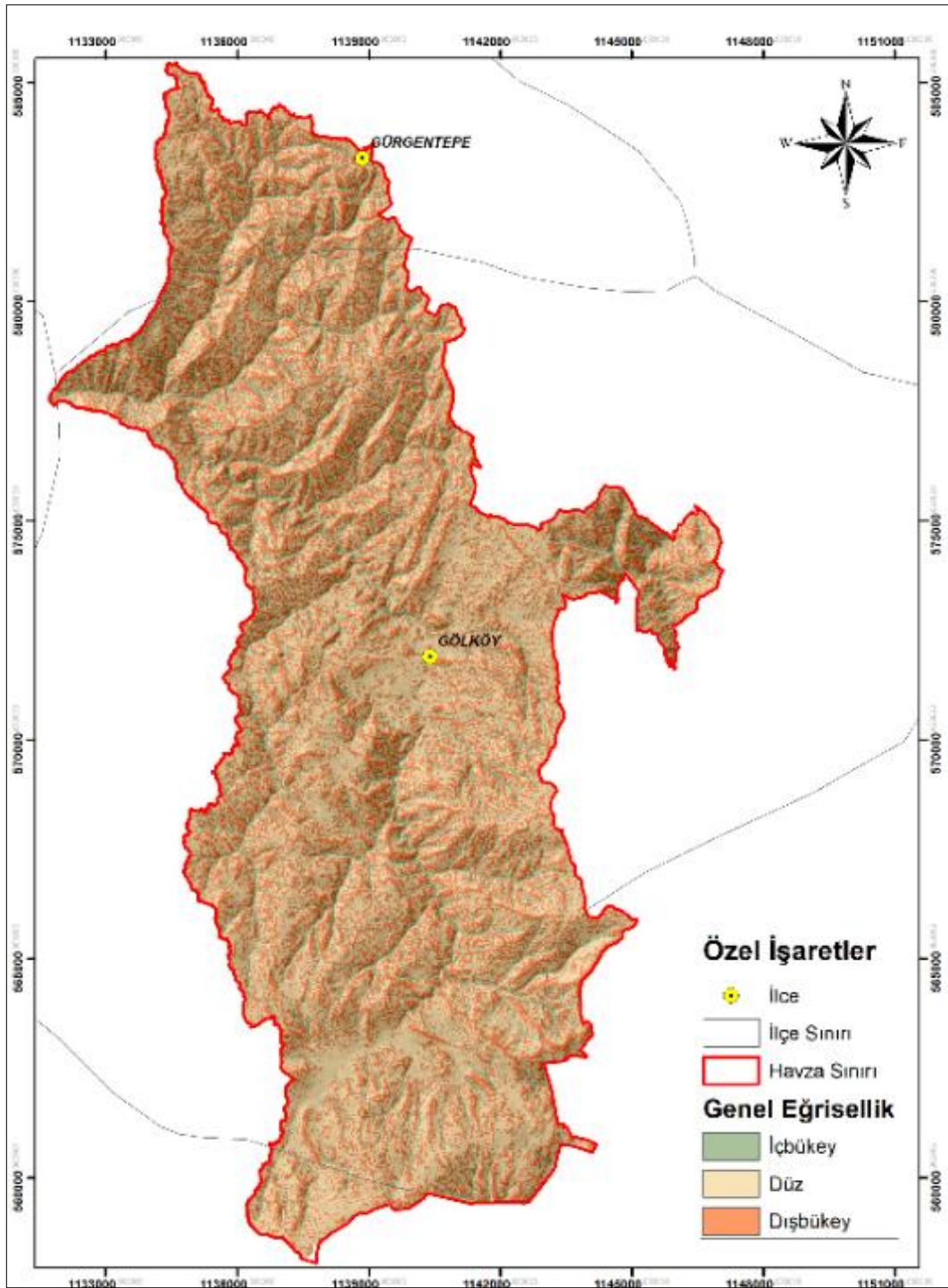
Yamaç eğrisellik haritası ArcGIS10.4.1 programı yardımıyla SYM kullanılarak üretilmiştir. Çalışma alanındaki genel eğrisellik değerleri dağılımı 11,86 ile -12,30 arasında değişmektedir. Profil eğriselliği değerleri 9,44 ile -9,85 arasında dağılım gösterirken plan eğriselliğinde ise 4,75 ile -5,75 arasındadır (Şekil 23).

Literatürde bazı araştırmacılar dış bükey yamaçların, iç bükey yamaçlara göre heyelana daha hassas olduğu belirtirken bunun aksi görüşü ifade edenlerde bulunmaktadır. (Guzzetti, vd. 1999) göre dış bükey yüzeylerde iç bükeye göre daha yüksek heyelan potansiyeli bulunduğunu ifade ederken, (Lee, 2004) göre iç bükey yüzeylerin, düz ve dış bükey yüzeylerden daha yüksek duyarlılığının olduğunu belirtmişlerdir. Bu durumu da yağışların intensitesi fazla ise iç bükey yüzeyler suyu daha uzun süre ve daha yoğun şekilde depolaması ile açıklamışlardır.

Eğrisellik, arazinin belirli bir yönde eğim açısı ya da yönünün değişim oranı olarak tanımlanır (Wilson & Gallant, 2000). Yamaçların iç bükey veya dış bükey şekillerde olması, heyelan oluşumu üzerinde etkili olabilmektedir. Yamaçlardaki topografik düzensizlikler, gerilim dağılımını olumsuz etkileyerek duraysızlıklara yol açabilir (Görçeoğlu & Ercanoğlu, 2001). Eğrisellik, plan eğriselliği ve profil eğriselliği olarak iki kategoriye ayrılır ve heyelan duyarlılığı çalışmalarında yaygın bir parametre olarak kullanılır.

Plan eğriselliği (kesitsel eğrisellik), arazi yüzeyinin yatay düzlemlle kesişmesi sonucu ortaya çıkar ve konturlar boyunca yönelimin değişim oranını ifade eder. Profil eğriselliği ise suyun yüzeydeki akış hızı, sediment taşınımı ve buna bağlı olarak gelişen erozyon süreçleri

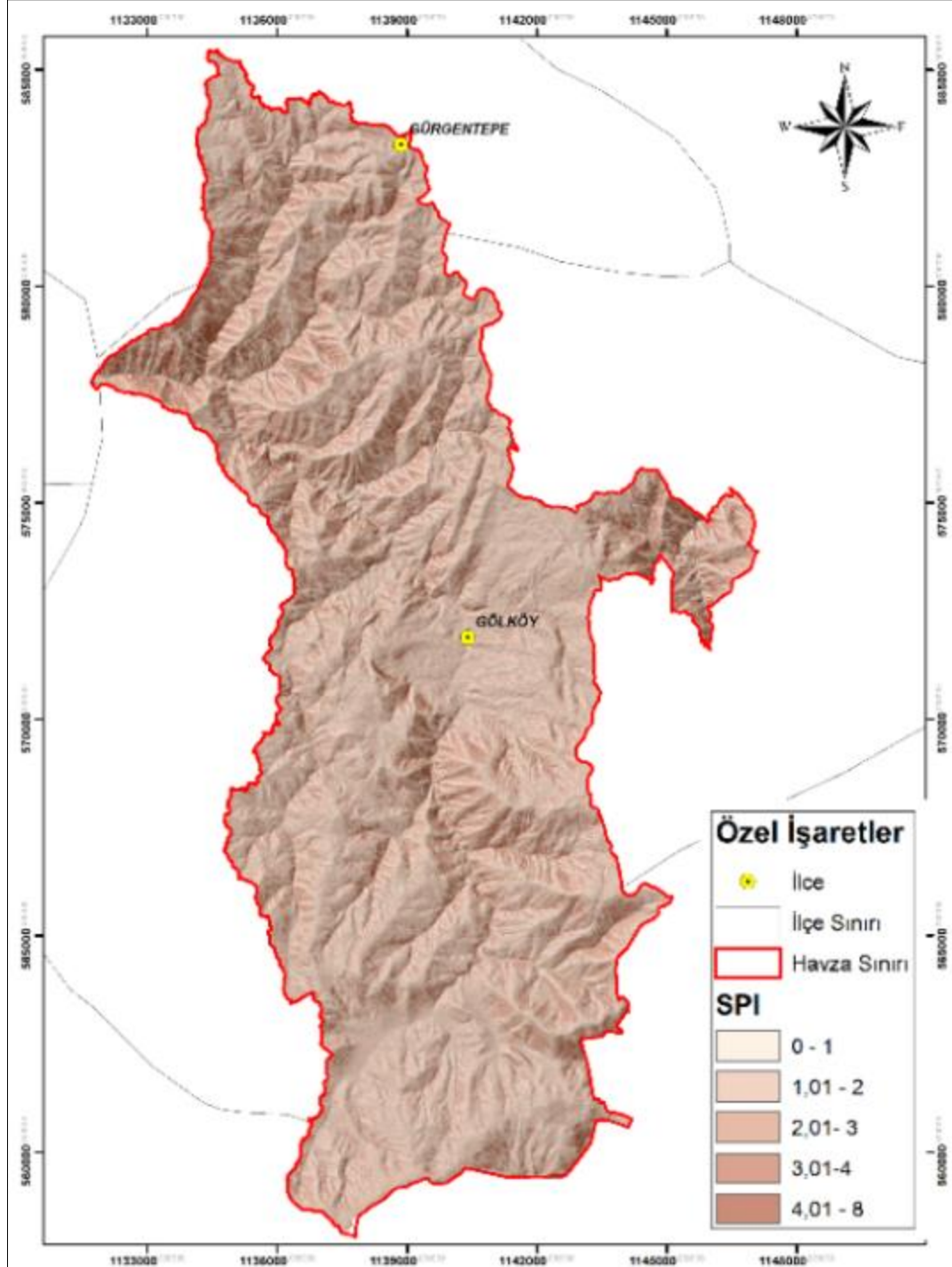
ile eğim değişim oranını tanımlar. Eğer profil bileşeni negatifse, konkav yani iç bükey bir yapı (çukur) oluşur; pozitif değerler ise konveks yani dış bükey bir yapı (tepe) anlamına gelir (Wilson & Gallant, 2000).



Şekil 23. Çalışma alanı eğrisellik haritası

3.3.6. Nehir Aşındırma Gücü İndeksi (SPI)

Çalışma alanına ait nehir aşındırma gücü indeksi denklem (1) kullanılarak ArcGIS 10.4.1 programı yardımıyla SYM' den üretilmiştir (Şekil 24).

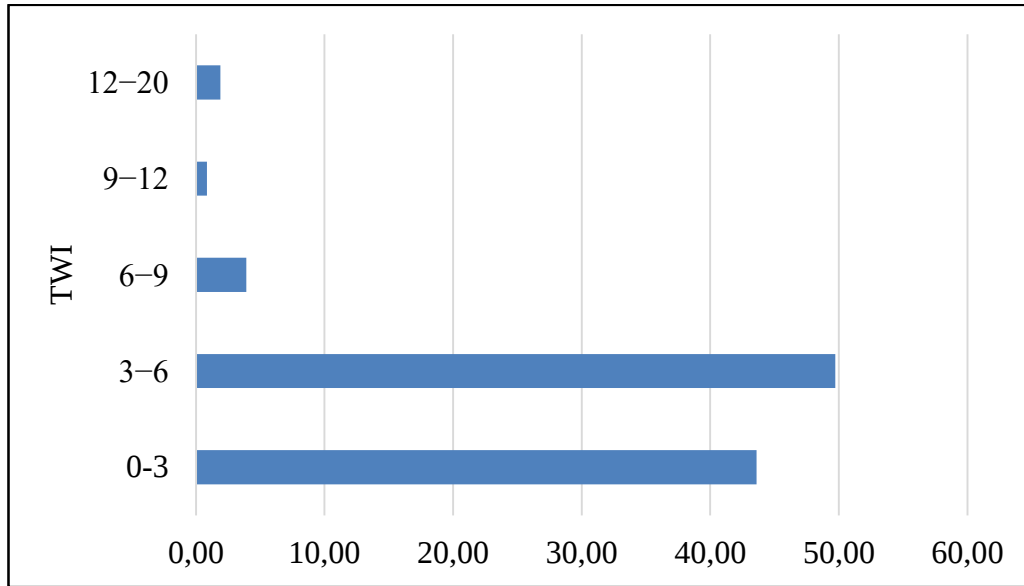


Şekil 24. Çalışma alanı nehir aşındırma gücü haritası

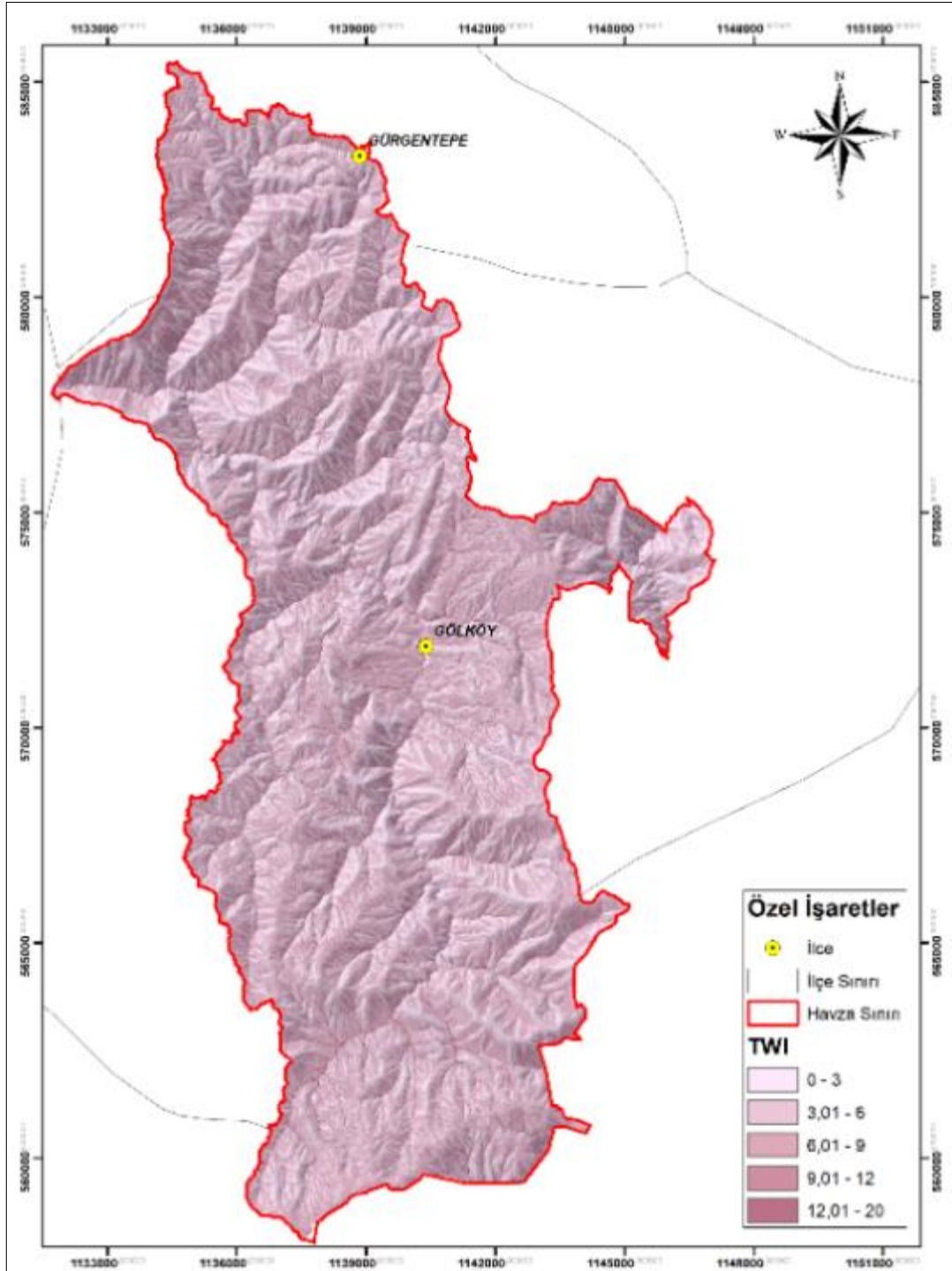
Nehir aşındırma gücü indeksi (SPI) erozyon, sel, taşkın ve heyelan duyarlılık çalışmalarında önemli bir parametredir. Ekseriyetle, yüksek SPI değerinin daha fazla heyelan potansiyeli taşıdığı manasına gelir (Gökçeoğlu, vd., 2006).

3.3.7. Topoğrafik Nemlilik İndeksi (TWI)

Topoğrafik nemlilik indeksi haritası ArcGIS 10.4.1 programı yardımıyla ve SYM kullanılarak elde edilmiştir. Buna göre topoğrafik nemlilik indeksi değerlerinin dağılımı - 0.289 ile 20,43 arasında değişmektedir. Bu değerlerin en düşük olduğu alanlar dışbükey yüzeyleri, yüksek değerler ise düzlükleri ifade eder. Çalışma sahasındaki heyelanların TWI değerlerinin dağılımına bakıldığında (Şekil 25) 0 ile 3 arasında % 43,61'i, 3 ile 6 arasında % 49,7'i bulunmaktadır. Orta derecede geçirimli olarak ifade edilen 0-6 arasındaki değerler toplam alandaki heyelanların % 93'ünü oluşturmaktadır. Bu alanlar yağışın yüzeyde daha uzun sürede yer altına sızmasına olanak tanır. Bu da boşluk suyu basıncını artırır ve heyelanlar oluşmasına sebep olur. Araştırma alanının topoğrafik nemlilik indeksi haritası Şekil 26'da verilmiştir.



Şekil 25. Heyelanların TWI'e göre yüzdesel dağılımı



Şekil 26. Çalışma alanı topoğrafik nemlilik indeksi haritası

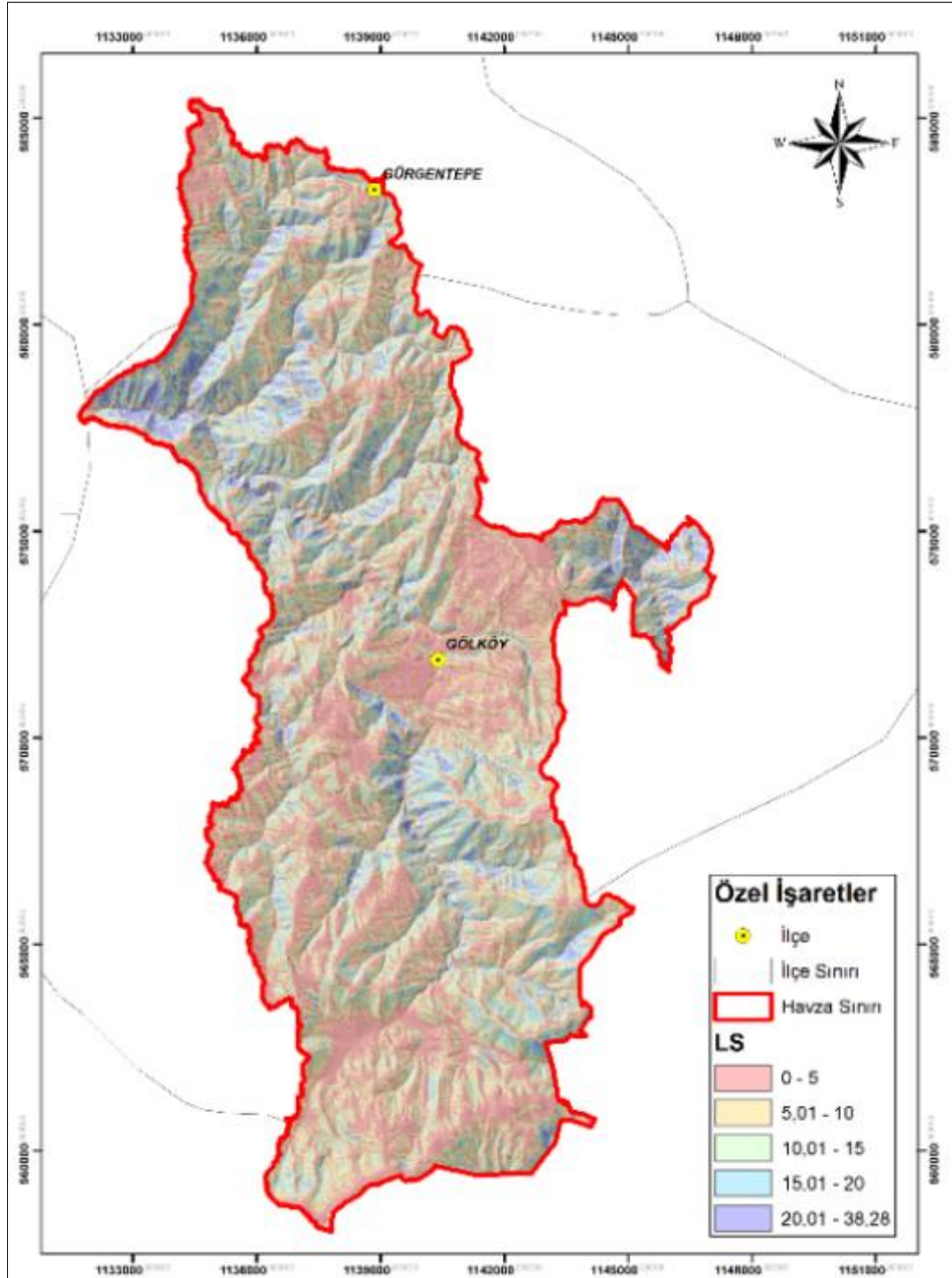
Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), topoğrafik anlamda suya doymun alanların mekânsal ve boyutsal olarak ifade edilmesi amacıyla heyelan duyarlılık çalışmalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Moore vd. 1991).

Topoğrafik nemlilik indeksi, akış yönü parametresinin kullanılmasıyla akış toplanma miktarının yamaç eğimine oranlanması sonucu hesaplanır. Genellikle topoğrafik indeks, yüzey akışı veya hidrolojik süreçler üzerindeki topoğrafik etkilerin analiz edilmesinde kullanılır (Alkeveli, 2015).

3.3.8. Eğim Uzunluğu (L) ve Eğim Dikliği (S) Faktörü

L (eğim uzunluğu) ve S (eğim dikliği) faktörleri heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılmaktadır. Hidrolojik akım birikimi hesaplama yeteneği aracılığıyla denklem (3) kullanılarak SYM'den üretilmiştir (Şekil 27).

Arazinin eğimi suyun akış yönünü ve hızını belirlediğinden topografyanın eğim derecesi, eğim uzunluğu ve rakım karakteristikleri toprak aşınım ve taşınım miktarı üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir (Günek, 2018). Heyelanlar, büyük miktarlardaki toprağın yer değiştirmesine neden olur. Bu süreç, o alanlarda daha hızlı ve yoğun erozyona yol açabilir ya da erozyon yüzeydeki toprağın taşınmasına, alt tabakaların açığa çıkmasına ve toprak stabilitesini azalmasına sebep olur bu da heyelan riskini artırabilir.

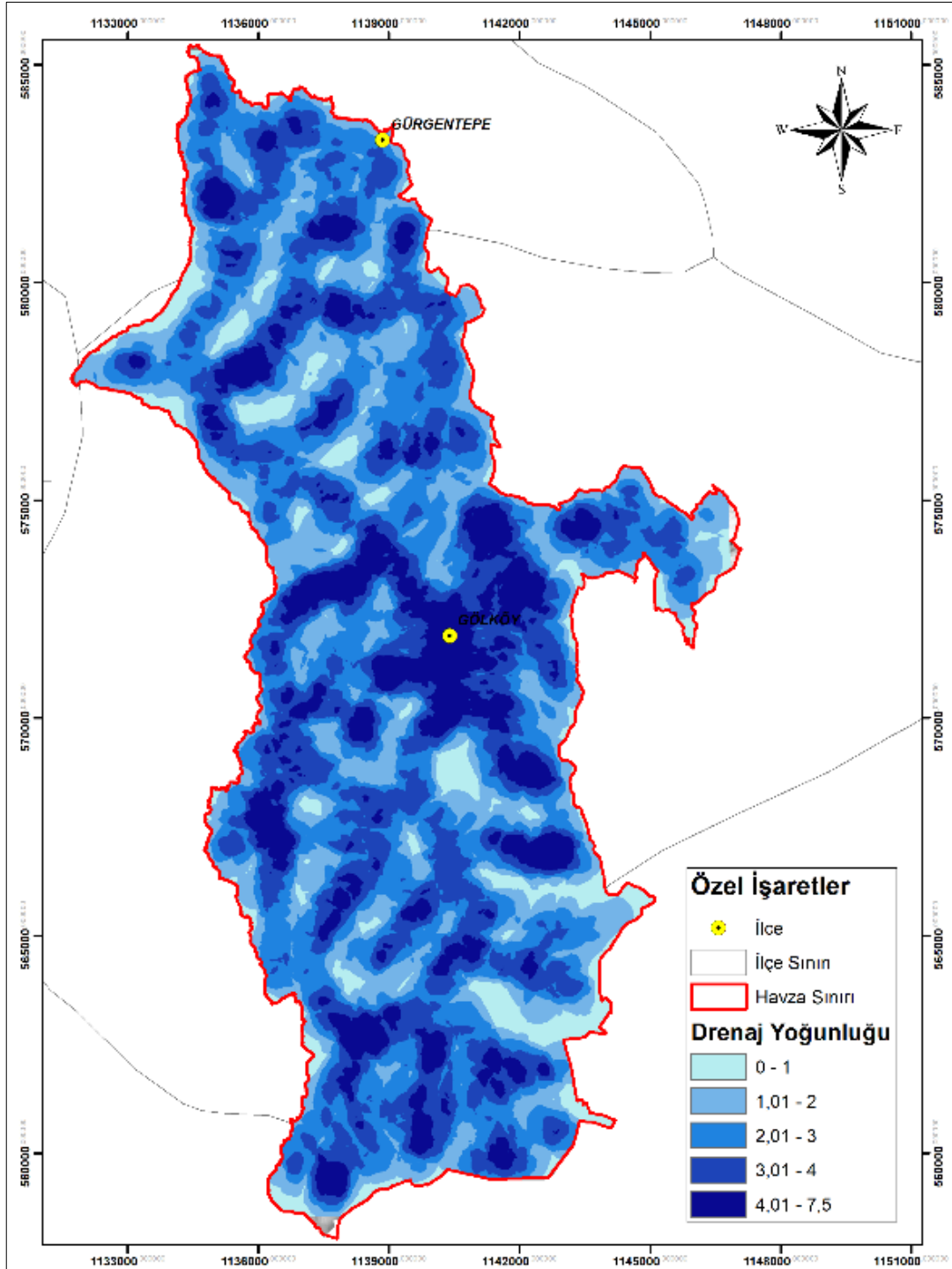


Şekil 27. Çalışma alanı LS haritası

3.3.9. Drenaj Yoğunluğu

Drenaj yoğunluğunun heyelan üzerindeki etkileri, drenaj sistemlerinin toprak ve su dengesi üzerinde yarattığı değişikliklerden kaynaklanmaktadır. İyi tasarlanmış ve yönetilen drenaj sistemleri, heyelan riskini azaltabilirken, yetersiz veya aşırı drenaj sistemleri heyelan riskini artırmaktadır. Drenaj yoğunluğu, havzanın birim alandaki dere yoğunluğu olarak ifade edilebilir. Başka bir ifadeyle, havzadaki tüm derelerin toplam uzunluğu, havzanın alanına bölünerek hesaplanmakta ve bu değer, havzanın birim alanındaki (km^2) dere uzunluğu (km) olarak ifade edilmektedir. Drenaj yoğunluğunun düşük olması, havzanın jeolojik yapısının dayanıklı kayalardan oluştuğunu ve derelerin genç oluşumlu olduğunu göstermektedir (Özşahin, 2008). Ayrıca havzaların akarsular tarafından bölünmesi, alandaki su ve sediment verimini doğrudan etkileyen önemli bir etmendir (Şekil 28).

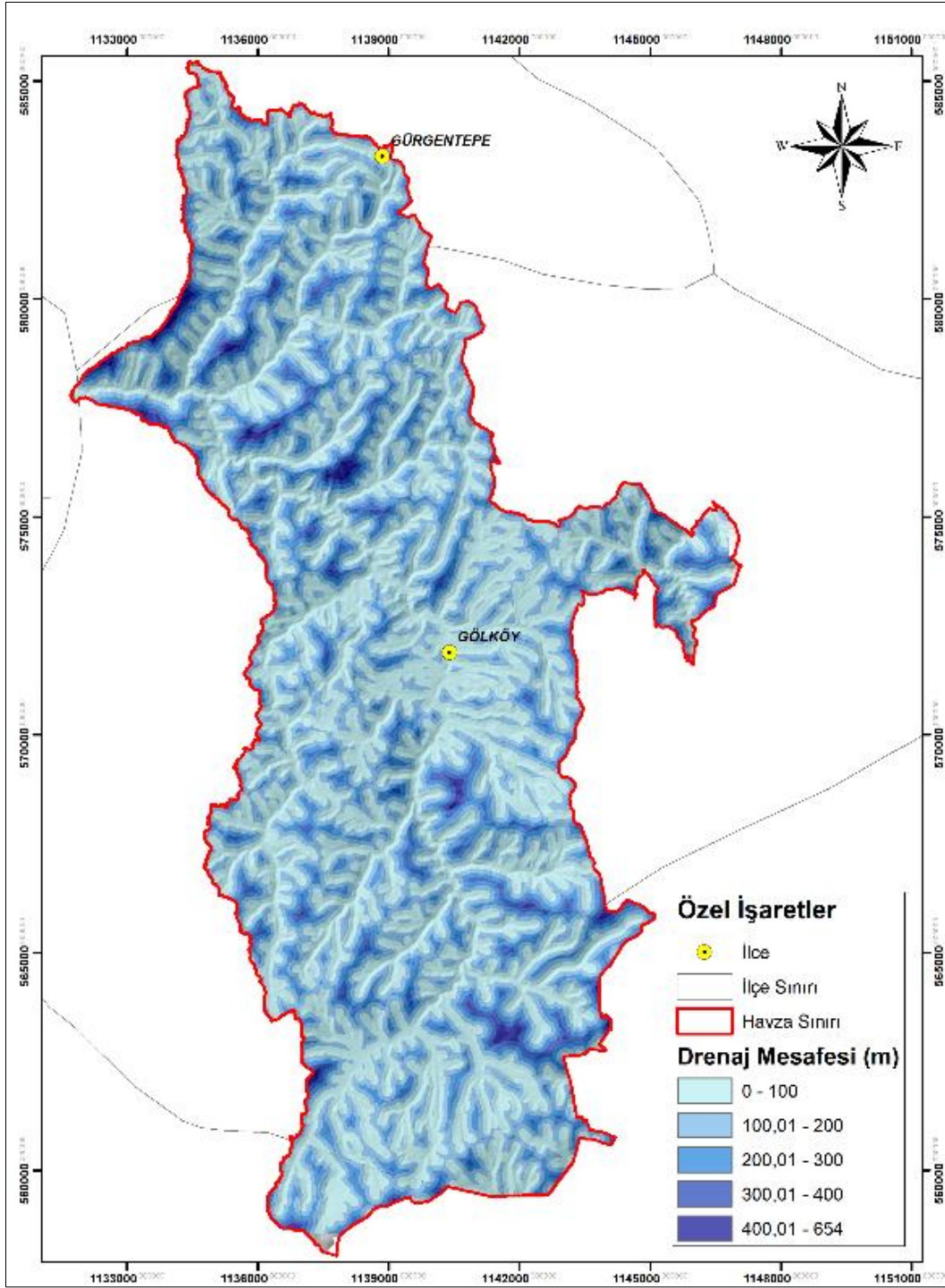
Çalışma alanına ilişkin drenaj yoğunluğu değerleri 0 ile 7,5 arasında değişmektedir. Drenaj yoğunluğu değerlerinin düşük olduğu alanlar, genellikle topoğrafyanın alçak olduğu, arazinin sık bir vejetasyonla kaplı bulunduğu ve alt toprağın çok dayanıklı veya geçirgen olduğu alanlarda görüldüğü belirtilmiştir. Yüksek drenaj yoğunluğu değerleri ise dağlık ve vejetasyonun seyrek olduğu ve alt toprağın da dayanıksız veya geçirgenliğinin az olduğu yerlerdir (Hızal, 1984).



Şekil 28. Çalışma alanı drenaj yoğunluğu haritası

3.3.10. Drenaja Olan Mesafe

Çalışma alanı SYM'den Arcgis 10.4.1 programı yardımıyla drenaj ağı oluşturulmuştur ve elde edilen haritaya göre akarsuya yakınlık 0-654 m arasında değişmektedir (Şekil 29).



Şekil 29. Çalışma alanı drenaja olan mesafe haritası

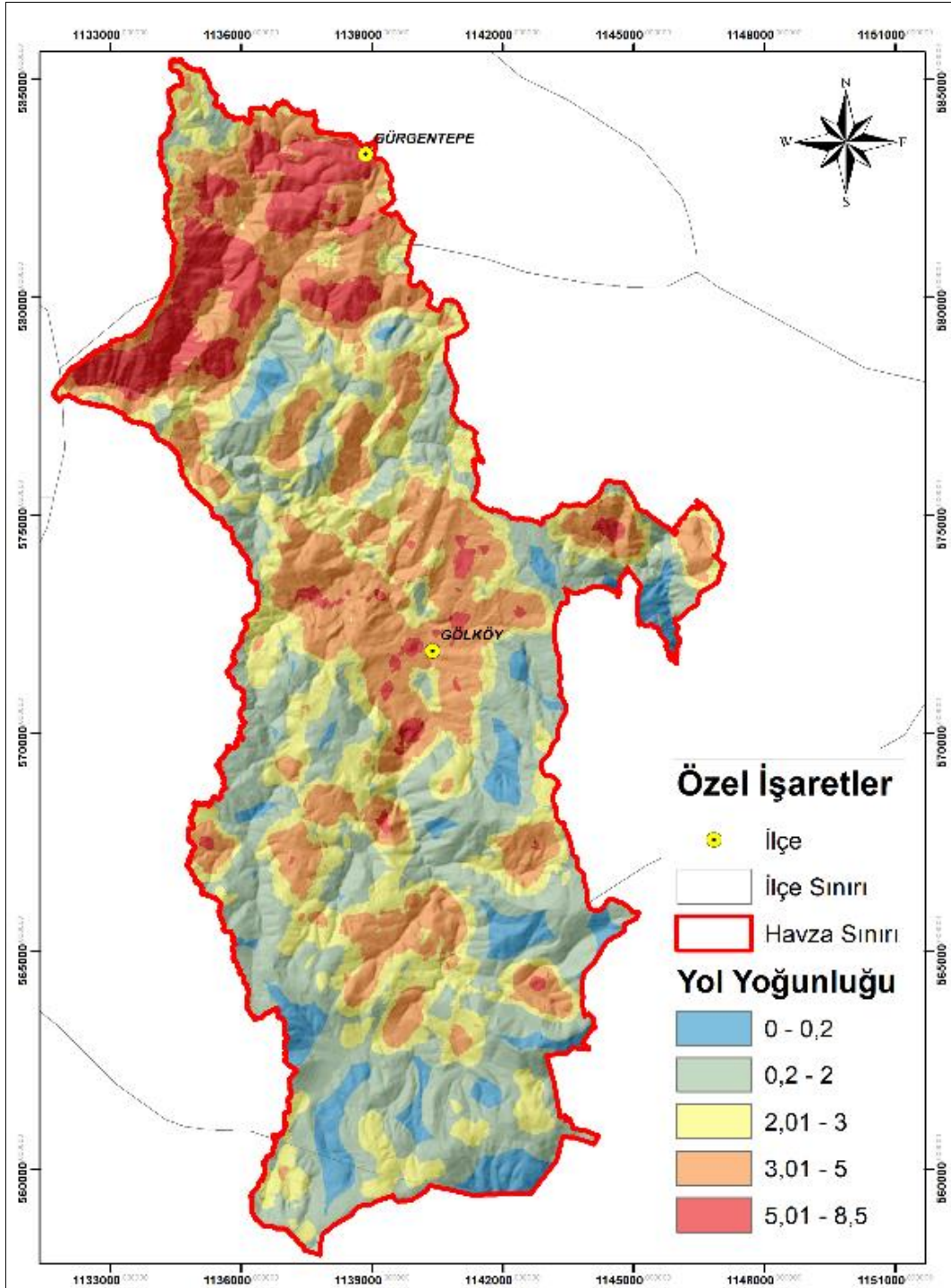
Akarsuya yakın olmanın heyelanların üzerindeki etkisi, akarsuların yamaç stabilitesi üzerinde çeşitli şekillerde etkili olmasından kaynaklanır. Yamaç yüzeylerinin drenaja olan yakınlığı stabilite açısından önemli bir parametredir. Yamaç yüzeyinin akarsuya yakın

olması, arazinin topuk kısmının dengesini olumsuz etkileyerek, bu bölgeyi erozyona uğratmakta ya da yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesinin altındaki kısmını suya doygun hale getirerek yamaç stabilitesini bozmasına neden olmaktadır (Dağ & Bulut, 2012). Heyelan duyarlılık haritalarında, bir drenaj ağına daha yakın olan alanların, daha uzakta olanlara göre daha yüksek heyelan potansiyeline sahiptir.

3.3.11. Yol Yoğunluğu

Yol ağları, doğal arazi yüzeyini tahrip ederek yamaç stabilitesini olumsuz etkileyen önemli faktörlerden biridir. Eğimli arazilerde inşa edilen yollar, mevcut topoğrafik dengeyi bozarak yük dağılımını değiştirir ve yük azalmasına yol açar. Yol yapımı öncesinde dengede olan yamaçlar, yol inşasından sonra gerilim artışıyla birlikte çatlakların oluşmasına neden olabilir. Bu çatlaklar, su girişi gibi dış etkenlere maruz kalarak heyelan olaylarını tetikleyebilir (Reis, vd. 2009). Yollar yamaç sürekliliğini keserek yer altı suyu seviyesinin yükselmesine neden olmakta ve yağışlarla birlikte bu sular drenaj ağları ile akarsularda toplanmaktadır. Yağış sularının yamaç boyunca süzülerek yetersiz drenaja sahip yollar da tahliye edilemeyen suların birikmesiyle de heyelanları tetikleyebilir. Bu kapsamda çalışma alanının heyelan duyarlılık analizinde yol yoğunluğu ve yola yakınlık parametreleri analizde değerlendirilmiştir.

Çalışma alanının yol yoğunluğu OGM’de temin edilen yol ağı verisinin Arcmap10.4.1 Density araç çubuğu kullanılarak üretilmiştir (Şekil 30). Çalışma alanında yol yoğunluğu değerleri (km-1) 0 -8,5 arasında değişim göstermektedir.



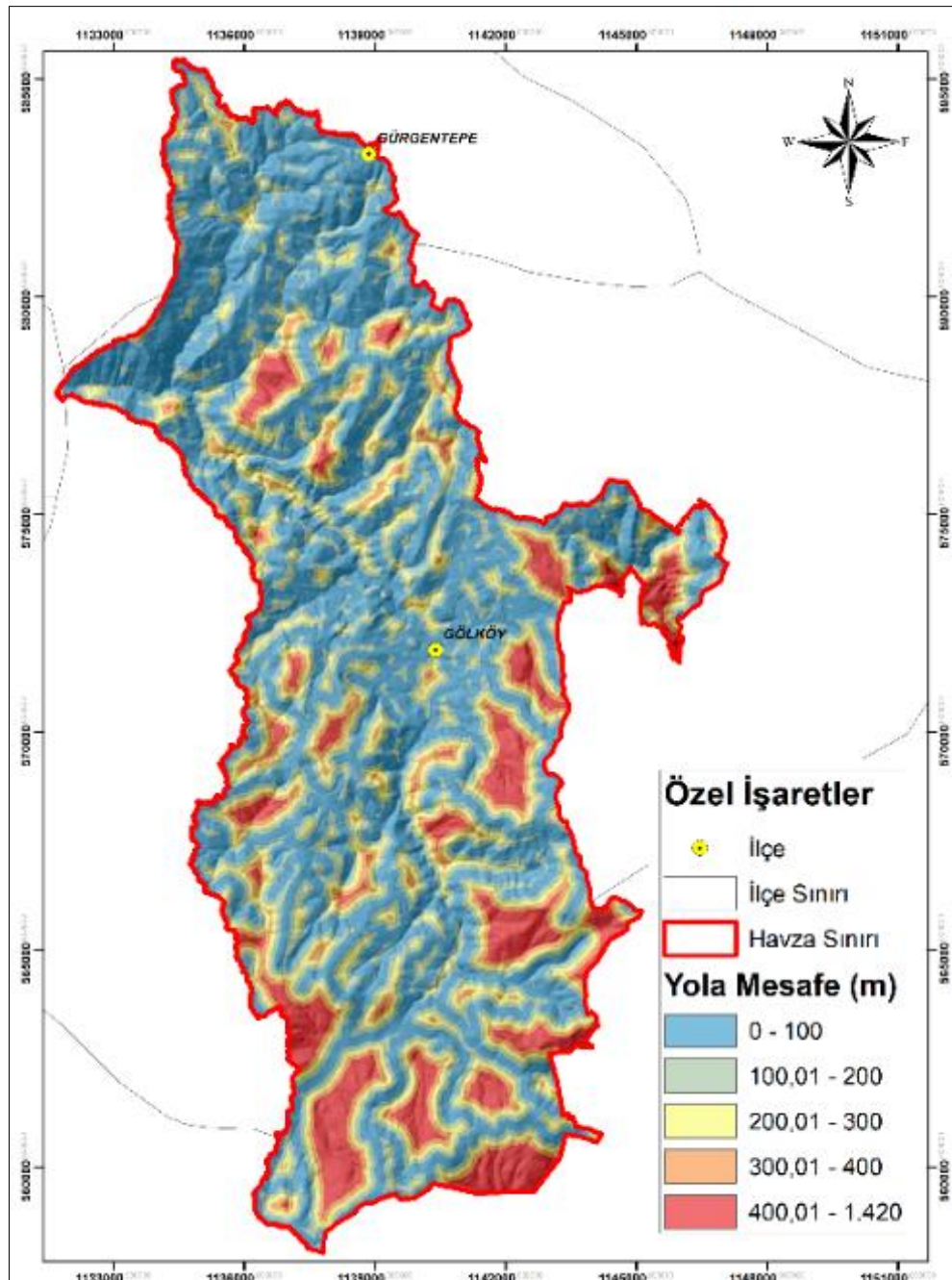
Şekil 30. Çalışma alanı yol yoğunluğu haritası

3.3.12. Yola Yakınlık

Çalışmada yola olan mesafe sınıfları (0-100 m, 100-200 m, 200-300 m, 300 400 m ve >400 m) şeklinde ayrılmıştır. Alandaki heyelanların % 68,5'i 0-100 m mesafede, % 20'si 100-200 m mesafede yer almaktadır. Çalışma alanının yola olan mesafe haritası ArcGIS 10.4.1 programındaki Spatial Analyst - Distance kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 31).

3.3.12. Yola Yakınlık

Çalışmada yola olan mesafe sınıfları (0-100 m, 100-200 m, 200-300 m, 300-400 m ve >400 m) şeklinde ayrılmıştır. Alandaki heyelanların % 68,5'i 0-100 m mesafede, % 20'si 100-200 m mesafede yer almaktadır. Çalışma alanının yola olan mesafe haritası ArcGIS 10.4.1 programındaki Spatial Analyst - Distance kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 31).

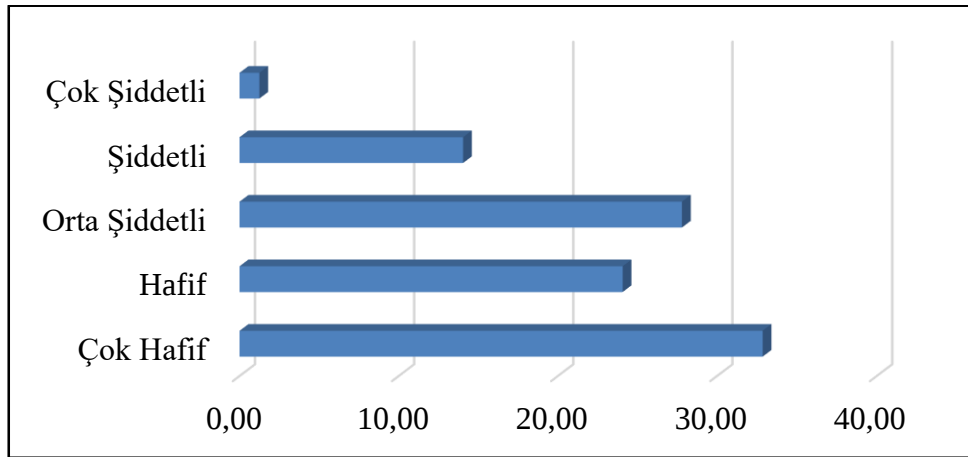


Şekil 31. Çalışma alanı yola olan mesafe haritası

Yol güzergâhları belirlenirken zemin koşullarının yanı sıra heyelan etütleri de yapılacak yol çalışmaları için önemlidir. Bu nedenle yol ağlarına yakınlık heyelan duyarlılık çalışmalarında sıklıkla kullanılan parametrelerden biridir. Yollar yamaç yüzeyinde stabiliteyi bozarak ya da topuk desteğini keserek heyelanların oluşumunu tetikleyebilir ve şiddetini arttırabilir. Yapılan bazı çalışmalarda yolların bulunduğu yamaçların bulunmayan yamaçlara göre 30 ile 340 kat daha fazla heyelan oluşma olasılığı bulunduğu belirtilmiştir. Ayrıca yol yapımından kaynaklı heyelanların bütün heyelanların % 72'sini oluşturduğunu ortaya koymuşlardır (Eker, 2013).

3.3.13. Erozyon Durumu

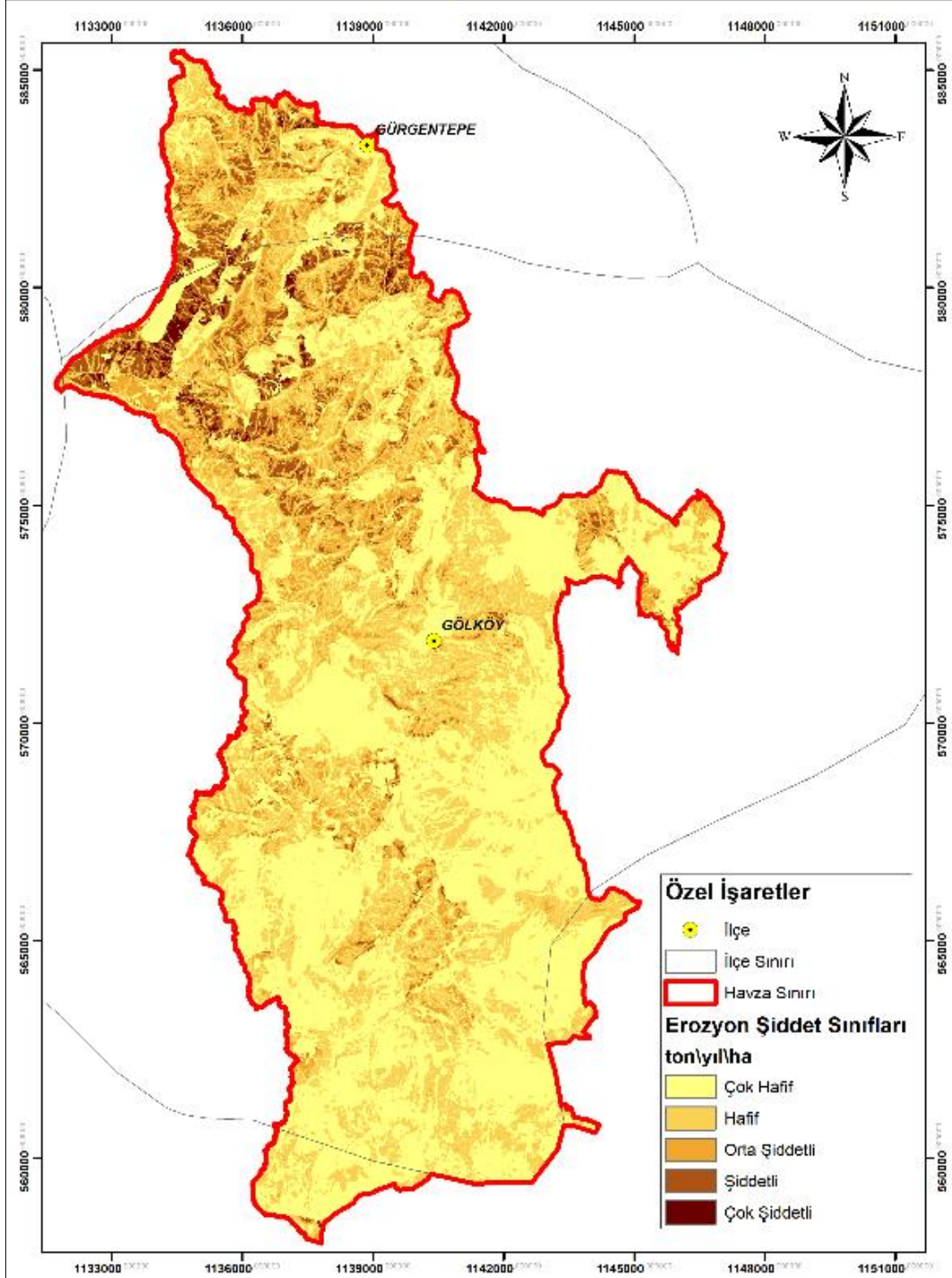
Çalışmada kullanılan su erozyonu haritası Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEMGM) tarafından RUSLE metodolojisi kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 32).



Şekil 32. Heyelanların şiddet sınıflarına göre yüzdesel dağılımı

Erozyon, toprağın rüzgâr, yağmur vb. faktörlerden kaynaklı olarak toprağın taşınıp taşınması iken, heyelan şiddetli yağışlar sebebiyle toprağın yamaçtan kütleli olarak kaymasıyla oluşmasıdır. Erozyon, toprak ve bitki örtüsünün kaybına neden olarak toprağın kütleli olarak hareketini kolaylaştırır. Ayrıca erozyon, toprağın su emme kapasitesini azaltır. Bu durum, yağışların yüzey akışını artırarak suyun toprağa nüfuz etmesini engeller. Yamaçlardaki yüzeysel akış, toprak tabakalarının doyma haline gelmesine ve kaymasına

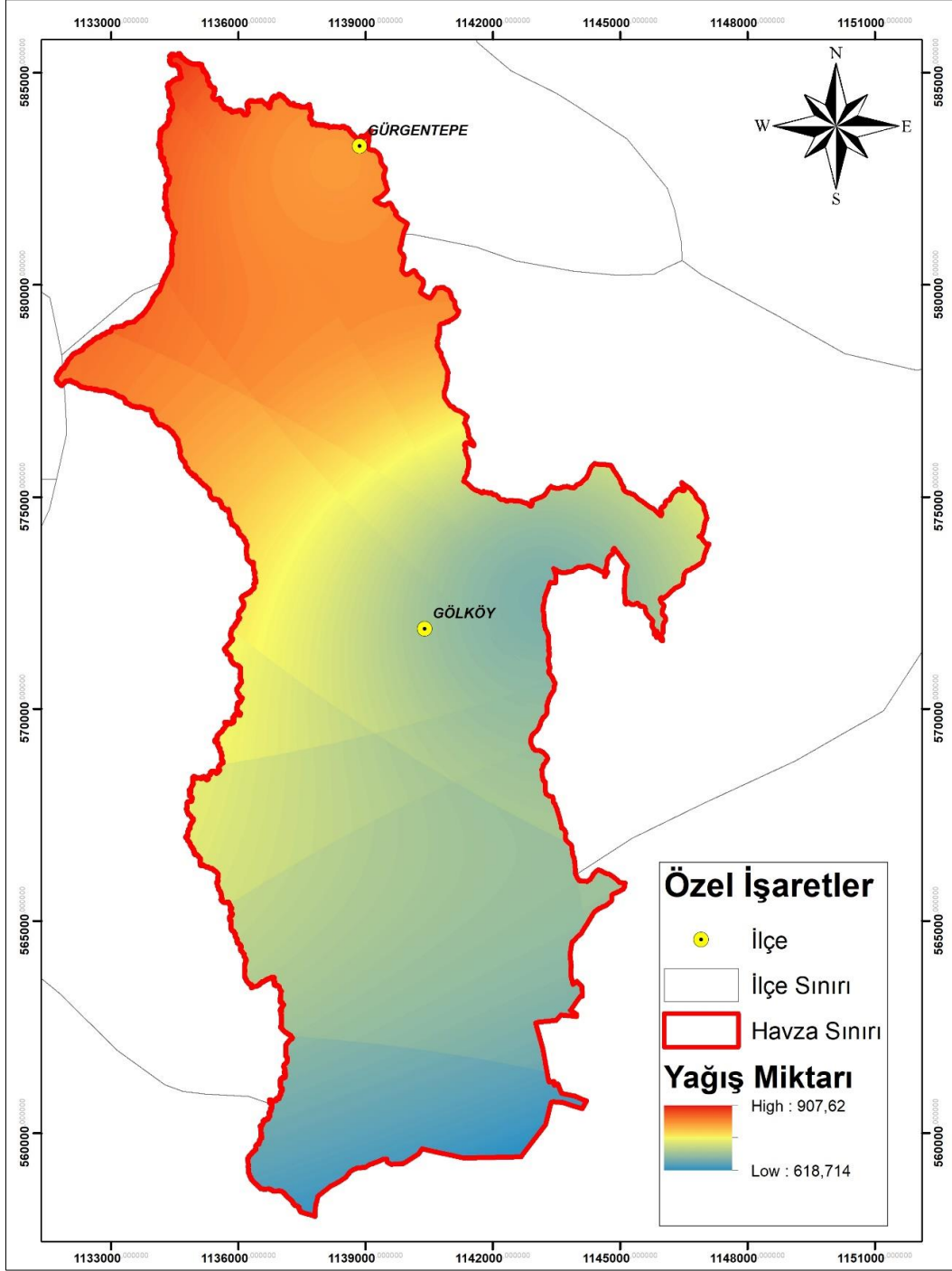
sebepler olur. Sonuç olarak, erozyon, toprağın yapısını ve topraktaki su hareketini etkileyerek heyelan riskini artırır. Bu nedenle, erozyona duyarlı alanların tespiti ve kontrolü, heyelan riskinin azaltılması için önemlidir. Erozyonun şiddet sınıflarına göre yüzdesel dağılımı Şekil 33’de gösterilmektedir.



Şekil 33. Çalışma alanı erozyon durumu haritası

3.3.14. Yağış Miktarı

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen yağış verileri kullanılarak yıllık yağış miktarı haritası oluşturulmuştur (Şekil 34).

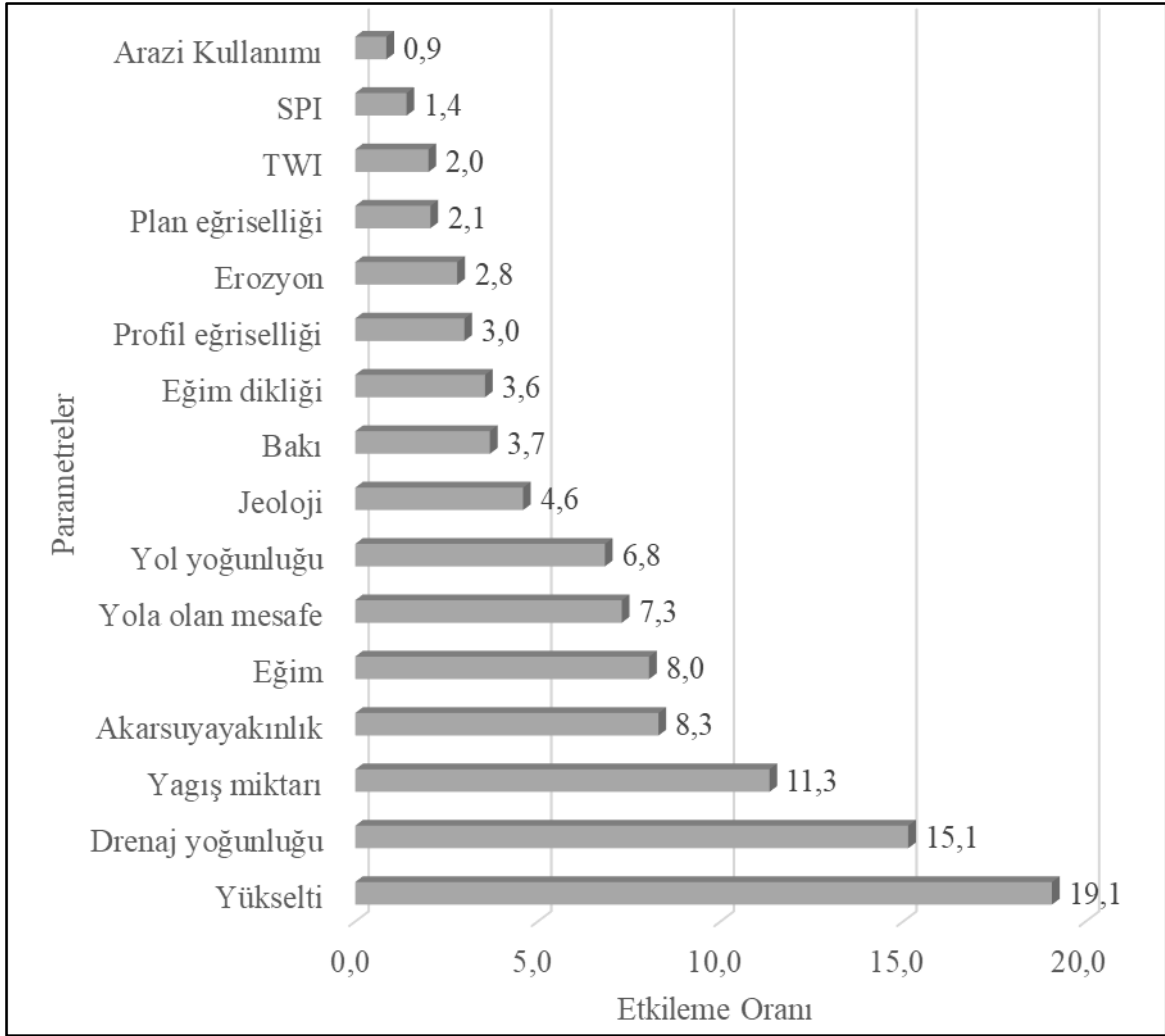


Şekil 34. Çalışma alanı 2004-2019 yılları arası ortalama yağış miktarı haritası

Yağış miktarı haritasına göre çalışma alanının yıllık ortalama yağış miktarı 618,7 ile 907,6 mm arasında değişmektedir. Şiddetli yağış veya kar erimesi ile birlikte yamaç yüzeyindeki su miktarının artmasına ve yamaçta meydana gelen yük ile stabilitenin bozulmasına neden olur. Bu da kütle hareketlerini tetikler. Genellikle heyelanlar şiddetli yağışların ardından meydana gelir. Heyelan duyarlılığını belirlemede kullanılan parametrelerde biridir. Çalışma alanı yıl boyunca düzenli yağış alan bir iklime sahip olması nedeniyle heyelanların tetiklenme olasılığı yüksektir.

3.4. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametrelere İlişkin Bulgular

RO analizinde heyelan envanteri bağımlı değişken iken, 16 farklı bağımsız değişken kullanılmıştır. RO algoritması, birden fazla karar ağacı kullanarak bu değişkenlerin her birinin heyelan riskini nasıl etkilediğini analiz eder ve böylece daha güvenilir sonuçlar elde etmemizi sağlar. Böylece oluşan model hangi faktörlerin heyelan oluşumunu daha fazla etkilediğini belirler. En yüksek önem derecesine sahip değişkenler, modelin karar verme sürecinde en büyük rolü oynar. Bağımsız değişkenlerin modeldeki önem dereceleri Şekil 35'te verilmiştir.



Şekil 35. Kullanılan parametrelerin heyelana duyarlı alanları belirlemedeki etkisi

Grafikten de anlaşılacağı gibi heyelan duyarlı alanları belirlemede en fazla etkinin yükseltiden kaynaklanmakta, ardından drenaj yoğunluğu ve yağış miktarı parametreleri izlemektedir. Buna göre;

Yükselti, %19,1 etkilenme oranı ile heyelan duyarlılığı üzerinde en yüksek etkiye sahip olup özellikle eğimin yüksek olması, daha fazla yağış alması, bitki örtüsü açısından daha seyrek olması gibi etkenlerde bu parametrenin heyelanlar üzerindeki etkisinin artmasına sebep olabilir.

Drenaj yoğunluğu, %15,1 etkilenme oranı ile heyelan duyarlılığı üzerinde ikinci en yüksek bir etkiye sahiptir. Drenaj yoğunluğu, suyun toprak içindeki hareketini ve dağılımını etkileyerek heyelan riskini artırabilir veya azaltabilir. Yüksek drenaj yoğunluğu, suyun daha

hızlı drene olmasını sağlayarak heyelan riskini azaltabilirken, düşük drenaj yoğunluğu su birikimini artırarak heyelan riskini artırabilir.

Yağış miktarı, %11,3 etkilenme oranı ile heyelan duyarlılığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu, yağışın heyelan riskini belirlemede kritik bir faktör olduğunu göstermektedir. Yağış miktarı, toprak doygunluğu, yeraltı su seviyeleri, erozyon ve zemin zayıflaması gibi birçok mekanizma yoluyla heyelan riskini artıran önemli bir faktördür. Özellikle şiddetli ve uzun süreli yağışlar, heyelanların tetiklenmesinde anahtar rol oynar.

Akarsuya yakınlık, % 8,3 etkilenme oranı ile heyelan duyarlılığı üzerinde etkiye sahiptir. Suyun etkin bir şekilde drene olamadığı bölgelerde heyelan riski daha yüksek olabilir. Drenaja uzak olan alanlarda su birikme olasılığı daha yüksektir. Yağış sularının yeterince hızlı bir şekilde drene olamaması, toprağın doyma hale gelmesine yol açabilir. Toprağın doyma hale gelmesi, toprak parçacıkları arasındaki bağları zayıflatır ve kayma riskini artırır.

Eğim, %8,0 etkilenme oranı ile heyelan duyarlılığı üzerinde etkiye sahiptir. Eğim; yerçekimi etkisi, toprak stabilitesi, su akışı ve erozyon, bitki örtüsü ve kök yapısı gibi birçok mekanizma aracılığıyla heyelan üzerinde etkili olabilir.

Yola olan mesafe, heyelan üzerindeki etkisi bakımından %7,3 etki oranına sahiptir. Yollar, yakınında bulunan bölgelerde doğal drenajı bozarak suyun birikmesine ve suyun akışını değişmesine yol açarak heyelan riskini artırabilir.

Yol Yoğunluğu, heyelan üzerindeki etkisi bakımından %6,8'etki oranına sahiptir. Yoğun yol ağları, yamaç yüzeyinin stabilitesini bozabilir ve suyun drenajını etkileyerek heyelan olasılığını artırır.

Jeoloji, heyelan üzerindeki etkisi bakımından %4,6 etki oranına sahiptir. Jeolojik yapıdaki farklı kaya ve toprak türleri, suyun emilimi, drenaj ve stabilite açısından farklı davranışlar sergileyebilir. Özellikle parçalanmış veya çatlaklı yapıda olanlar, heyelan riski taşıyabilir.

Bakı, heyelan üzerindeki etkisi bakımından %3,7 oranına sahiptir. Bakı güneş ışığına maruz kalma miktarını ve dolayısıyla sıcaklık değişikliklerini etkiler. Kuzey ya da güney yamaçlardaki bitki örtüsünün varlığı bakımından heyelanlar üzerinde etkisini değiştirebilir.

Eğim Dikliği ve Uzunluğu (LS), heyelan üzerindeki etkisi bakımından %3,6 oranına sahiptir. Heyelan duyarlılık çalışmalarında sıklıkla kullanılmayan bir parametredir. Ancak eğim ne kadar dik olursa, yer çekimi kuvveti de o kadar artar ve bu da toprak kütlelerinin aşağı doğru hareket etmesini kolaylaştırır. Dik yamaçlar, genellikle daha az stabil olur çünkü

toprağın veya kayanın sürtünme kuvveti, kütlelerin kaymasını önlemekte yetersiz kalabilir. Dik yamaçlarda su daha hızlı akar, bu da toprağı daha kolay erozyona uğratar ve toprağın stabilitesini azaltır.

Profil eğriselliğı, heyelan üzerindeki etkisi bakımından %3 oranına sahiptir. Heyelanların meydana gelme olasılığını ve şiddetini etkileyen önemli bir topoğrafik faktördür.

Erozyon, heyelan üzerindeki etkisi bakımından % 2,8 oranına sahiptir. Doğal erozyon ya da hızlandırılmış erozyon (insan eliyle) ile yüzeydeki toprağı aşındırarak altındaki daha zayıf malzemeleri açığa çıkarır. Erozyon sonucu bitki örtüsünün zayıflaması, suyun yamaçtaki akışı ve hareketi gibi etkenler ile heyelanlar üzerinde etkisi bulunmaktadır.

Plan eğriselliğı, heyelan üzerindeki etkisi bakımından % 2,1 oranına sahiptir. Plan eğriselliğı, suyun akış yönünü ve hızını etkileyebilir. Çukur (konkav) eğrisellik suyun toplanmasına ve toprak doygunluğunun artmasına neden olabilir. Bu durum, toprak stabilitesini azaltarak heyelana duyarlılığını artırır.

Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), heyelan üzerindeki etkisi bakımından % 2 oranına sahiptir. Belirli bir alandaki su akışının ve birikiminin potansiyelini belirler ve bu nedenle heyelan duyarlılığı değerlendirmede önemli bir rol oynar. Yüzey suyu ve yeraltı su akışının birleşik etkisini değerlendirir. Yüzey suyu akışı, yüzeydeki malzemelerin taşınmasına ve birikmesine neden olabilirken, yeraltı su akışı, toprağın doygunluğunu ve hidrolik basıncı etkileyerek heyelana duyarlılığını artırır.

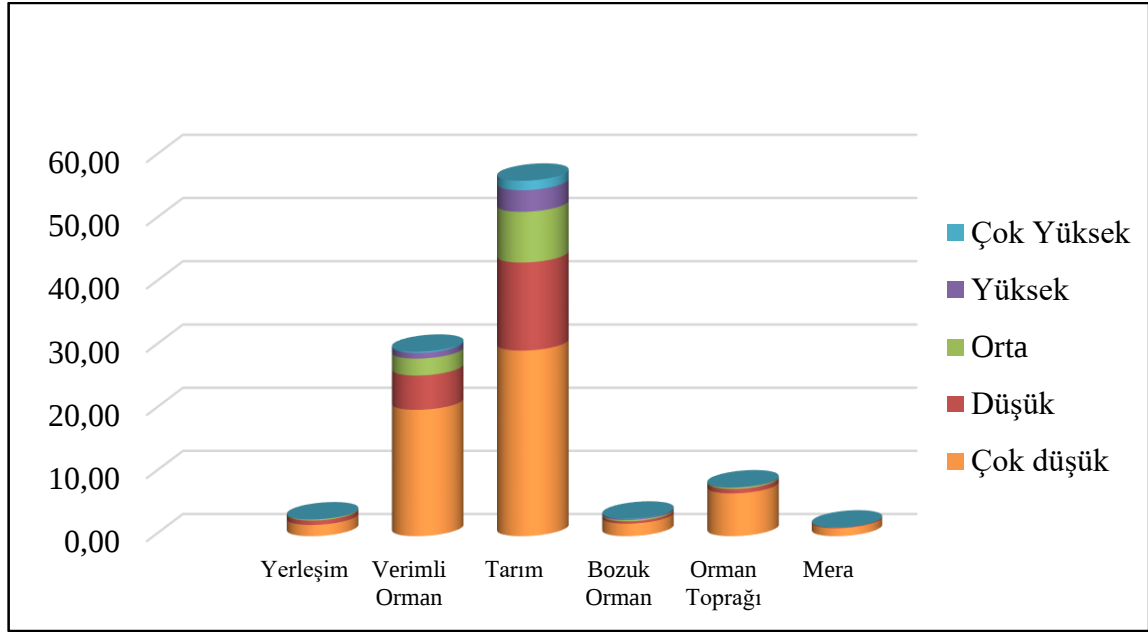
Nehir Aşındırma Gücü İndeksi (SPI), heyelan üzerindeki etkisi bakımından %1,4 oranına sahiptir. Heyelan duyarlılık çalışmalarında sıklıkla kullanılan parametrelerden biridir. SPI, topoğrafik ve hidrolojik dinamiklerin birleşik etkilerini yansıtır. Yüksek SPI, genellikle akarsu vadilerinde yoğunlaşır ve bu bölgelerde suyun erozyon ve taşıma gücü daha fazladır. Bu durum, vadilerde ve yamaçlarda heyelan duyarlılığı artırabilir.

Arazi kullanımının heyelan üzerindeki etkisi %0,9 oranında sınırlı bir etkiye sahip olsa da, yapılan birçok çalışmada arazi kullanımı ve bitki örtüsü, heyelan duyarlılık analizinde en çok kullanılan parametreler arasında yer almaktadır. Bitkilerin, yamaç stabilitesi üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkileri olabilmektedir. Özellikle güçlü ve geniş kök sistemlerine sahip bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda, yamaç stabilitesinin olumlu yönde etkilendiğı vurgulanmaktadır. Ancak, bitki kök ve gövdeleri, zeminin geçirgenliğini artırarak yüzey sularının toprağı daha kolay sızmasına yol açabilir. Bu durum, zemindeki nem oranının azalmasıyla oluşan kuruma çatlaklarından giren yağış suları ve boşluk suyu

basıncının artmasına neden olarak yamaç stabilitesini olumsuz yönde etkileyebilir (Dağ vd. 2011).

Bolaman mikro havzasında RO yöntemi kullanılarak yapılan heyelan duyarlılık çalışmasında arazi kullanım durumu 0.018 değeri ile en düşük öneme sahip parametre olarak belirlenmişken aynı alanda Lojistik Regresyon (LR) ile yapılan analizde 0.020 değeri ile en düşük dördüncü parametre bulunmuştur (Topaçlı vd. 2024). Arazi kullanımının bu modelde heyelan duyarlılığı üzerinde nispeten düşük bir öneme (0.018) sahip olmasının arazi kullanım sınıflarının yeterince detaylı olmamasından kaynaklı modelin bu değişkenden yeterince bilgi alamaması, çalışma alanının arazi kullanımı bakımından oldukça homojen yapıda olması gibi nedenler etkili olabilir. Ayrıca eğim, yağış, drenaj yoğunluğu gibi değişkenlerin, doğal olarak heyelan oluşumunu doğrudan etkileyen temel faktörlerden olması ve bu faktörlerin model üzerinde güçlü olması da bir diğer neden olabilir. Arazi kullanımının heyelan riskini etkileyebilecek önemli bir faktör olduğunu unutmamakla birlikte, modelin verdiği önem derecesi, bu spesifik çalışmanın veri seti ve model özelliklerine göre şekillenir. Modelin performansını ve sonuçlarını daha iyi anlamak için bu nedenleri ve veri özelliklerini göz önünde bulundurmak gerekmektedir.

Oluşturulan sonuç haritasında, heyelan duyarlılık sınıflarının arazi kullanım türlerine göre dağılımı analiz edilmiştir. Analize göre tarım alanlarının % 56'sı heyelana duyarlı iken bu tarım alanlarının % 4,9'u yüksek ve çok yüksek duyarlılığa sahip alanlardır. Tarım alanlarından sonra % 29,2 ile verimli orman alanları heyelana duyarlı olup bu alanların % 2,1'i yüksek ve çok yüksek duyarlılık gösterdiği belirlenmiştir. Analize ilişkin grafik Şekil 36'da yer almaktadır.



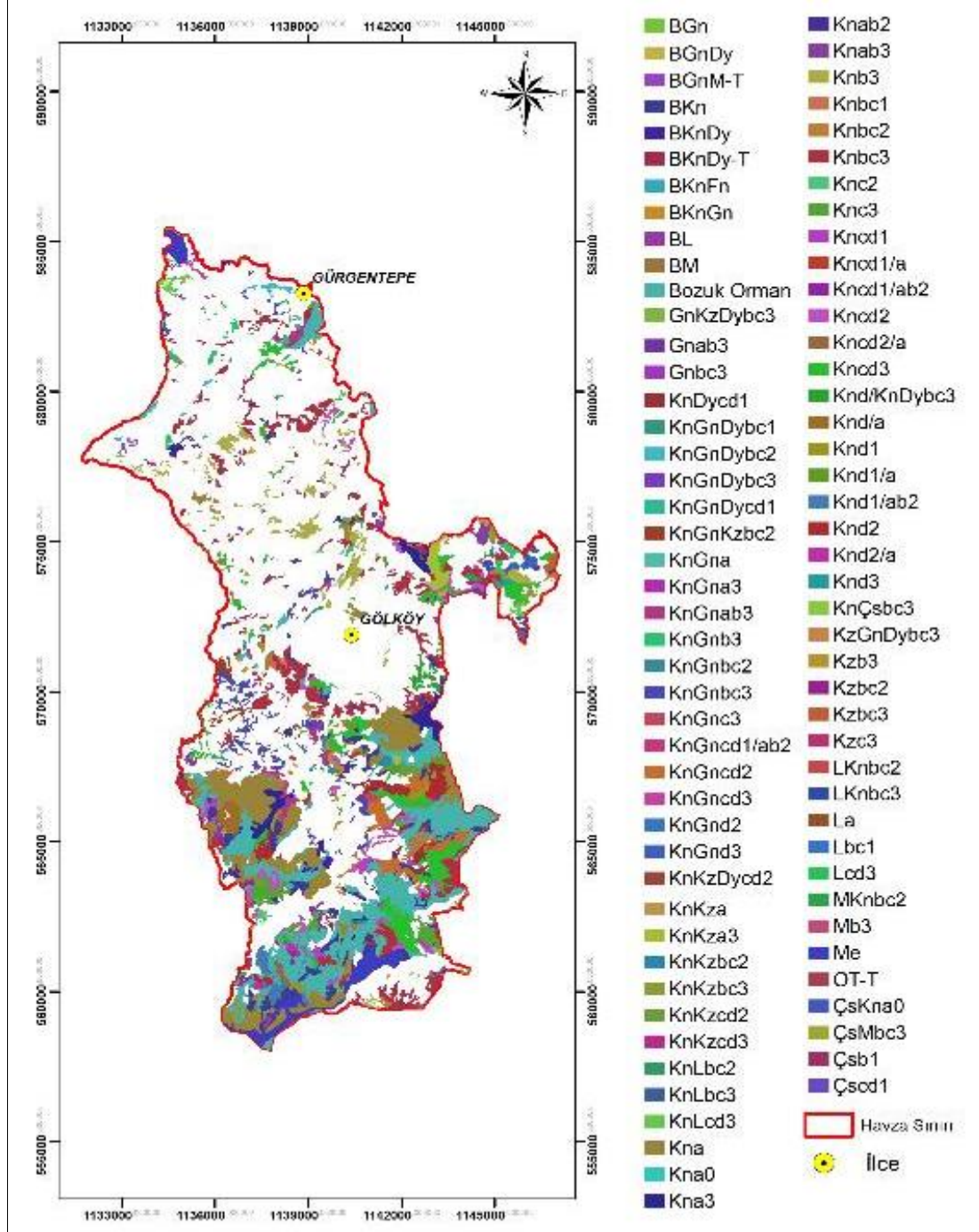
Şekil 36. Arazi kullanım türlerine göre heyelan duyarlılık sınıflarının yüzdesel dağılımı

Araştırma alanı genelinde yüksek rakımlarda yoğun çayır otları ve sazlarla kaplı olması ve otlatma amaçlı kullanım söz konusudur. Daha düşük rakımlarda ise ormanlık alanlarla fındığın egemen olduğu tarım alanları iç içe girmiş durumdadır. Parçalı arazi kullanımının bütüncül yaklaşımla tamamen bitki örtüsü ile kaplı olması heyelan riskin azaltmaktadır. Ancak drenaj, eğim ve doğal arazi yapısının yol inşaatı gibi bozulması heyelanları tetikleyebilmektedir.

3.5. Silvikültürel Müdahalelere İlişkin Bulgular

Çalışma alanındaki heyelana duyarlı bölgelerin yaklaşık %30'u ormanlık alanlardan oluşmaktadır. Bu ormanlık alanların %53'ü, kayın, meşe, gürgen, ladin, kızılçam ve sarıçam gibi farklı türlerin bir arada bulunduğu karışık meşcerelerden oluşmaktadır. Kalan %47'si ise saf meşcerelerden meydana gelmekte ve alanda kayın, ladin, kızılçam ve sarıçam ormanları bulunmaktadır (Şekil 37). Çalışma alanındaki ormanlık alanlarda meydana gelen heyelana duyarlı alanların hangi meşcere tiplerinde olduğu ArcGIS 10.4.1 programındaki Spatial Analyst Tools – Zonal Statistic kullanılarak çözümlenmiştir. Analize göre; kayın meşcerelerinin yer aldığı alanlar, diğer meşcere tiplerine kıyasla heyelan duyarlılığı

açısından daha hassas özellikler göstermektedir. Bu meşcereler, genellikle çalışma alanının kuzey ve kuzeybatı bakılarında, eğimli yamaçlarda bulunmaktadır.



Şekil 37. Çalışma alanında yer alan meşcere tipleri

Kayın ağacı, genç yaşlardan itibaren ince yan kökler oluşturarak yürek kök sistemi geliştirmektedir. Her ne kadar derin köklü ağaçlar sınıfına girmese de, yoğun köklenen ağaç türleri arasında yer almaktadır. Bu köklenme yapısı, özellikle eğimli arazilerde yamaç stabilitesine belirli bir ölçüde katkı sağlamakla birlikte, yeterli olmadığı durumlarda heyelan riski artabilmektedir.

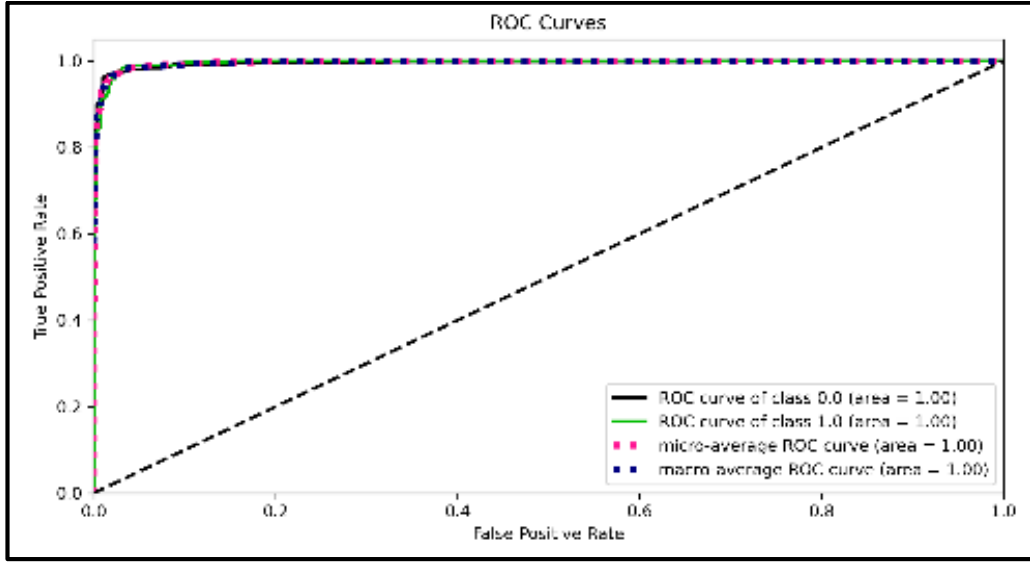
Doğu kayını ormanlarında genellikle doğal gençleştirme yöntemi tercih edilmektedir. Ancak, bu süreçte gerçekleştirilen saha hazırlığı sırasında diri örtü temizliği, özellikle eğimli arazilerde yamaç stabilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, saha hazırlığı sırasında dikkatli bir planlama yapılmalı ve uygulamada toprak koruma önlemleri öncelikli olarak ele alınmalıdır.

3.6. Rastgele Orman (RO) Analizinin Doğrulamasına İlişkin Bulgular

Heyelan duyarlılık analizinde modelin doğrulaması çalışmaların önemli bir aşamasını oluşturmaktadır. Bağımsız değişkenlerin modelde karşılaştırılması ve modelin tahminlerinin daha doğru sonuçlar vermesi için doğrulama değerlendirilmesinin yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada öncelikle üretilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunun belirlenebilmesi için analize katılmayan toplam heyelanların yaklaşık % 20'si (20 adet) ile heyelan duyarlılık haritası karşılaştırılmıştır. Yüksek veya çok yüksek duyarlı sınıfta bulunan heyelanlar toplam heyelanlar % 87'sine karşılık gelmektedir.

Rastgele Orman yönteminin performans değerlendirmesi ve doğruluk oranlarının belirlenmesi amacıyla son yıllarda yapılan araştırmalarda sıklıkla tercih edilen Relative Operating Characteristic (ROC) analizi kullanılmaktadır. ROC analizi, bir modelin performansını çeşitli eşik değerlerinde değerlendirmek, en uygun eşik değerini belirlemek, farklı modelleri karşılaştırmak ve özellikle dengesiz veri setlerinde daha doğru bir performans değerlendirmesi yapmak için kullanılır. ROC eğrisi, farklı eşik değerleri için dikey eksen üzerinde doğru pozitiflik (duyarlılık) ve yatay eksen üzerinde yanlış pozitiflik (1-belirlilik) oranlarının yer aldığı bir eğridir. Bu değerler, pozitif ve negatif gözlemler arasında doğru ayrımı yapılabilmesi için modelin yeterliliğinin (yeteneğinin) göstergesidir (Dağdelenler, 2013). En iyi gösteren bir performans göstergesi, üst köşeye (sol) en yakın geçen ROC eğrisi ile sağlanır. Heyelan duyarlılık modeline ilişkin yapılan ROC analizi sonucu oluşan grafik Şekil 38'de yer almaktadır.



Şekil 38. Rastgele orman modelinin doğrulanmasına ilişkin ROC analizi grafiği

Üretilen heyelan duyarlılık haritasının performansını değerlendirmek amacıyla duyarlılık, özgüllük, kesinlik ve doğruluk indeksleri kullanılmıştır. Karışıklık matrisinde (Tablo 5) bu indekse göre, bir alanın heyelanlı olduğu doğru bir şekilde tahmin edilmesi gerçek pozitif (TP), heyelanlı olmayan bir alanın yanlış bir şekilde heyelanlı olarak tahmin edilmesi yanlış pozitif (FP), heyelanlı olmayan bir alanın doğru bir şekilde heyelanlı olmayan alan olarak tahmin edilmesi gerçek negatif (TN) ve heyelanlı bir alanın yanlış bir şekilde heyelanlı olmayan alan olarak tahmin edilmesi yanlış negatif (FN) olarak adlandırılmaktadır (Topaçlı, 2023).

Tablo 5. Karışıklık matrisi

		Tahmin edilen	
		Heyelan yok	Heyelan var
Gerçekleşen	Heyelan var	Doğru Pozitiflik (TP)	Yanlış Negatiflik (FN)
	Heyelan yok	Yanlış Pozitiflik (FP)	Doğru Negatiflik (TN)

Duyarlılık, özgüllük, kesinlik ve doğruluk indeksi modelin uyum ve tahmin doğruluğunu gösterir. İndekse ilişkin duyarlılık, özgüllük, kesinlik ve doğruluk denklemleri kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$TP/(TP + FN) \quad (5)$$

$$TN/(TN + FP) \quad (6)$$

$$TP/(TP + FP) \quad (7)$$

$$(TN + TP)/(TN + TP + FN + FP) \quad (8)$$

Oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının performans analizi piksel sayıları dikkate alınarak yapılmıştır. Yapılan analize göre; denklem 5 kullanılarak hesaplanan duyarlılık indeksi 0,97, denklem 6 kullanılarak hesaplanan özgüllük indeksi 0,97, denklem 7 kullanılarak hesaplanan kesinlik indeksi 0,98, denklem 8 kullanılarak hesaplanan doğruluk indeksi 0,97 olarak hesaplanmıştır (Tablo 6).

Tablo 6. Çalışma alanının performans analiz verileri

		Tahmin edilen	
		Heyelan yok	Heyelan var
Gerçekleşen	Heyelan var	TP = 645	FN= 17
	Heyelan yok	FP= 10	TN= 287

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Çalışma alanının engebeli arazi yapısı, bol yağış alan iklim özellikleri, arazi kullanımında anormal değişimler (tarım alanlarında yerleşim yerleri, doğal bitki örtüsü olan ormanlık alanların tarım alanlarına, mera alanlarının kısmen yerleşime kısmen ormanlık alanlara, vb.) ile kırsaldaki dağınık yapılaşma ekosistemin bozulmasına ve yaşam kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Topoğrafya ve yerleşime bağlı olarak düşük standartlı ulaşım ağı sistemi, ulaşım ağının kontrolsüz yüzey drenaj sistemine neden olması başta heyelanlar olmak üzere sel ve taşkınların oluşumunu hazırlayan faktörlere sebep olmaktadır. Bu tez çalışmasında, bölge özelinde doğa olaylarından heyelanların sıklıkla görüldüğü Ordu ili Bolaman Çayının bir kolu olan Medrese havzası çalışma alanında heyelanların oluşmasına sebep olan faktörler RO algoritması kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

Araştırmadan elde edilen sonuçlara göre; çalışma alanına ilişkin oluşturulan heyelan duyarlılık haritasında % 28'i heyelana duyarlı iken, heyelana duyarlı alanların yükseltisi 500-1250 m arasında yoğunlaşmaktadır. Araştırma alanında yer alan çok sayıdaki formasyonlar içerisinde jeolojik yapısı bakımından heyelana duyarlı alanları % 31 ile Çağlayan Formasyonu üzerinde bulunurken %28'i Yeşilce Formasyonu üzerinde bulunmaktadır. Arazi kullanımı bakımından değerlendirildiğinde heyelana duyarlı alanların beklenildiği gibi %56'sı tarım alanlarında, %31'i orman alanlarında meydana gelmektedir. Tarım alanlarının genellikle fındık bahçesi şeklinde olması heyelan duyarlılığının daha yüksek oranlarda olmasını engellemektedir. Bununla birlikte ormanlık alanların antropojen etkilerle parçalı bir yapıya dönüştürülmüş olması da heyelan duyarlılığının artmasına neden olmaktadır.

Arazi kullanımının RO analizinde önem değeri düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak heyelana duyarlı alanlar ormanların tahribatı sonucu oluşmuş fındık tarımının yapıldığı alanlar olduğu anlaşılmaktadır. Çalışmalarda belirtildiği üzere, ormanlar heyelanlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olsalar da, heyelanların orman vejetasyonunun çeşitliliği ve gelişimi üzerindeki etkileri, farklı faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Heyelanlar, meydana geldikleri alanın (lokal iklim, topoğrafya ve toprak özellikleri açısından benzer olan arazi parçası) koşullarını genellikle daha kuru veya ıslak, daha taşlı veya çamurlu, daha geçirgen veya az geçirgen, daha güneşli ve daha açık (korumasız) hale getirebilmektedir (Eker & Aydın, 2014). Parçalı ormanların yamaç stabilitesi ve heyelan oluşumu üzerindeki

karmaşık etkileri olduğu değerlendirilmektedir. Ormanların kök yapısı, yaşı, kapalılığı ve konumu, yamaç stabilitesine ve heyelan dinamiklerine önemli ölçüde etki ettiğini göstermektedir.

Arazi kullanımı; tabii kaynaklardan birinci derecede faydalanıcı olan insanların faydalanma biçimi olarak tanımlanır. Bir başka tanımlamada, bir arazi parçasından faydalanmak üzere yapılan bütün faaliyetler ile ürün çeşitliliğinin planlanması ve yönetilmesidir. Arazinin sosyal, kültürel ve ekonomik koşullara göre çok çeşitli amaçlar doğrultusunda işletilmesi olarak da ifade edilebilir (Turna, 2023). Çepel (1996), arazi kullanımını, dar anlamda, araziden özellikle topraktan tarım ve ormancılık için yararlanma iken geniş anlamda, yerleşim alanı yapma, ulaşım için yararlanma, ticaret, sanat, endüstri ve tatil zamanlarını değerlendirme ve hammadde kazanma dâhil olmak koşuluyla araziden her türlü yararlanma şeklinde tanımlamaktadır.

Orman örtüsünün yaşı, heyelanlar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Yaşlı ormanlar, gelişmiş kök sistemlerine sahip oldukları için heyelan sonucu meydana gelen erozyon ve sedimentlerin derelere taşınmasını, genç ormanlara kıyasla 4-5 kat daha fazla azaltmaktadır (Sidle, 2008).

Ormanların heyelanlara karşı koruyucu etkisi sığ heyelanlar için değerlendirilirken, derin heyelanlar için ormanların olumsuz etkileri bulunduğu bilinmektedir. Ağaçların yamaçlara ek yük bindirmesi ve rüzgâr yüküne maruz kalmaları, sürükleyici kuvvetleri artırarak ormanlık alanlarda meydana gelen heyelanların büyüklüğünü ve yıkıcılığını artırabilmektedir (Eker & Aydın, 2014). Bu çeşit alanlarda yapılacak silvikültürel müdahalelerle ağaçların yamaçlar üzerindeki ek yük bindirmesi ve fırtınalara daha dirençli meşcerelere dönüştürülmesi sağlanabilir. Özellikle bakım çalışmaları ile gençleştirme çalışmalarında heyelan duyarlılıklarına bağlı müdahalelerin yapılması önem taşımaktadır. Zira heyelanların ormanlık alanlarda meydana gelme sıklığı ve yoğunluğu, açık alanlara göre daha düşük düzeyde kalmaktadır.

Ormancılık faaliyetleri ve yerleşim alanlarında yapılan yol inşaatları ve alt yapı çalışmaları ile arazi aşırı derecede parçalanmakta, ekosistem dengesi bozulmaktadır. Bu çalışmaların tekniğine uygun yapılmaması, bakım ve koruma çalışmalarının zamanında yapılmaması heyelan riskin artırmaktadır. Benzer şekilde gerek tarım gerekse ormancılık faaliyetlerinde gerekli hassasiyetlerin (bakımların zamanında yapılmaması, silvikültürel işlemlerde tıraşlama müdahaleleri, gibi.) gösterilmemesi de heyelan riskini artırıcı etkiler arasındadır (Eker, 2013). Bu bağlamda, heyelana duyarlı alanlarda tarımsal ormancılık

modellerinin uygulanması, tarım alanlarında teraslamaya dayalı muhafazalı tarım, ormanlık alanlarda silvikültürel müdahalelerin tekniğine uygun yapılması gerekir (Turna, 2023). Kazık köklü ağaçlar başta olmak üzere ağaçlıklı alanların koruyucu işlevlerinden maksimum düzeyde yararlanmak için, arazi yönetim planlarının heyelan riski dikkate alınarak geliştirilmesi gerekmektedir. Koruma ormanları yönetim planlarının detaylı bir şekilde ele alınması ve bu planların, havza yönetimi stratejileri ile entegre edilmesi gerekmektedir. Sürdürülebilir arazi değerlendirmelerinde koruma - kullanma dengesi kuralına kesinlikle uyulması, gerek tarım, orman ve mera alanları gerekse yerleşim yerleri ve sulak alanlarda bakım ve koruma çalışmaları yapılmalı, ıslah tedbirleri alınmalıdır (ÇEMGM, 2024).

Her havza coğrafi özellikleri bakımından değerlendirildiğinde kendine özgü farklı iklim ve toprak yapısına sahip olup çok farklı flora (bitki örtüsü) ile fauna (hayvan) çeşitliliğine ev sahipliği yapmaktadır. Bu farklılığa demografik yapı ile tarihi ve kültürel çeşitlilik eklendiğinde, araziden maksimum yararlanmak için doğaya uygun, bilimsel verilere dayalı teknik planlama ve uygulamaların yapılması gerekliliği daha iyi anlaşılabilecektir. Tarım, orman ve mera faaliyetlerinin birbirini yakından etkileyen, yer yer iç içe geçtiği arazi kullanımlarında entegre arazi yönetimlerinin devreye girmesi kaçınılmazdır. Bu yöntemlerden biri tüm dünyada olduğu gibi Türkiye için de tarımsal ormancılıktır (Turna, 2023). Dolayısıyla havza bazlı planlama ve uygulamalarda bu konulara dikkatli davranmak gerektiği unutulmamalıdır.

Ormanlara yapılan müdahalelerin ve ormancılık faaliyetlerinin heyelanlar üzerinde etkisi bulunmaktadır. Literatür verileri, silvikültürel bakım çalışmaları ve özellikle aralama bakımları yapılan yerlerde, hiçbir işlem (bakım vb.) yapılmayan doğal ya da yapay ormanlık sahalara kıyasla daha fazla heyelan yoğunluğunun meydana geldiğini göstermektedir. Ormanlık alanlarda gerçekleştirilen ormancılık faaliyetleri, özellikle yol inşası ve tıraşlama kesimleri, heyelan riskini artıran önemli faktörler arasında yer almaktadır. Özellikle koruyucu tedbirler alınmadan gerçekleştirilen yol inşası çalışmalarının, sık ve derin heyelanları tetikleyebilir (Eker & Aydın, 2014).

Literatürde genel olarak, ormanlara yapılan müdahalelerin heyelan riskini artırdığına dair bulgular ağırlıktadır. Ancak, ağaç kesiminin her durumda heyelanların ortaya çıkmasında belirgin bir yükselişe sebep olmadığını gösteren, ortaya koyan araştırmalar da bulunmaktadır. Bu durum, ormancılık faaliyetlerinin, ekonomik, ekolojik veya çevresel hedeflere göre titizlikle yönetilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Eker & Aydın, 2014).

Bu bağlamda, heyelana duyarlı ormanlık alanlarda, ormanların koruyucu rollerinden en yüksek düzeyde faydalanmak için, işletme ve korumaya ayrılan ormanların yönetim ve işletme planlarının özel olarak ele alınması gerekmektedir. Bu planların, meşcere standartları dikkate alınarak geliştirilmesi ve orman yönetim stratejilerinin, tüm havza yönetimi ile entegre bir yaklaşımla ele alınması gerekmektedir. Ormanların korunması ve sürdürülebilir orman yönetimi uygulamalarının yaygınlaştırılması, hem çevresel hem de toplumsal açıdan büyük önem taşımaktadır. Orman yönetiminde alınacak her türlü karar, heyelan riski gibi faktörler göz önünde bulundurularak, bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmelidir.

Arazi kullanımı, bir bölgedeki heyelan duyarlılığını önemli ölçüde etkiler. Ormanlık alanlar, yoğun kök sistemleri ve bitki örtüsü sayesinde toprağı stabilize ederken, tarım veya mera arazileri bu koruyucu etkiyi sağlayamaz. Özellikle eğimli arazilerde, ormansızlaşma ya da yanlış tarım uygulamaları muhtemel heyelan riskini yükseltebilir. Ayrıca, yol ve yapılaşma faaliyetleri de doğal drenajı bozarak yüzeysel akışı hızlandırır, bu da toprak stabilitesini olumsuz etkiler. Doğru arazi kullanımı planlaması ve yönetiminde alınan arazi kullanım kararları heyelan riskinin yönetilmesinde kritik bir rol oynar.

Havza genelinde tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu düşünüldüğünde, bu çeşit faaliyetlerde heyelanlar ve toprak erozyonu tehdidine karşı mutlaka önlemler alınmalıdır. Bu önlemler sadece toprak erozyonunu değil çığ, heyelan, sel ve taşkınlara karşı da tarım arazilerinde içinde alınmalıdır. Bu konuda ekonomik ve sosyal şartların dikkate alınması, uygulanabilir projelerle sürdürülebilirliğin sağlanabilecektir. Bunlara ilave olarak koruyucu tarım sistemleri geliştirilmelidir. Böylece kısa sürede toprakta nem muhafaza edilerek erozyon önleme, uzun sürede ise sürdürülebilir tarım gelişir. Aynı zamanda yerel halkın ihtiyaçları karşılanarak organik beslenme ve kırsaldan kente göçün önüne geçilir. Uzun dönemde de üretilen ürünlerin pazarlanması ile ekonomik kalkınmaya da kapı açılır.

Eğimli ve nispeten dik arazilerde su kaynaklı toprak erozyonu, tarımsal ormancılık kapsamına giren şeritleri üzerinde tarım, tesviyede ekim, karışık ekim alanlarında kazık köklü çim bitkileri, taş dolgulu engeller gibi eğim kırıncıları ile çimlendirilmiş suyolları veya bitkilendirilmiş koruyucu şeritlerle önlenabilir. Zira normal ya da seki terasların iç ve dış kısımlarına dikilecek çok amaçlı türlerden daha fazla yararlanılır. Çok amaçlı ağaç, ağaççık ve çalı ağaç türleri ile tarım alanları muhafaza altına alınacağı gibi sürdürülebilir kalkınma da sağlanır (Turna, 2022).

Sonuç olarak, ormanların yönetimi sırasında heyelan riskinin dikkate alınması, sürdürülebilir orman yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmanın bulguları,

ormancılık faaliyetlerinin planlanması ve uygulanmasında dikkate alınması gereken kritik hususları ortaya koymakta ve gelecekte yapılacak araştırmalara ışık tutmaktadır.

5. ÖNERİLER

Havza bazında sürdürülebilir arazi yönetimi ve kullanımında doğa olaylarının başında gelen heyelanların belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada da mikro havza bazında heyelan duyarlılık haritası belirlenmiştir. Heyelana duyarlı alanlarda araziden en uygun şekilde kullanma ve yararlanmanın düzenlenmesi ve yönetiminde yapılabilecek çalışmalar, bölgenin ekolojik, sosyal ve kültürel yapısına, risk seviyesine ve mevcut ekosisteme bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu değişikliklere rağmen duyarlı alanlarda arazi yönetimine ilişkin faaliyetleri uygularken dikkate alınması gereken temel yaklaşımlar bulunmaktadır. Sürdürülebilir arazi kullanımına yönelik faaliyetlerinin heyelanları tetiklemesini önlemek amacıyla bazı stratejik ve pratik öneriler aşağıda verilmiştir. Bunlar:

- Heyelan riski taşıyan bölgelerde detaylı jeolojik ve topografik analizler yapılmalı ve bu analizler sonucunda, yüksek riskli alanlar haritalandırılmalı ve bu haritalar sadece ormancılık faaliyetlerinde değil bütüncül bir yaklaşımla arazi kullanıcıları ile ilişkilendirilerek n planlamalarda kullanılmalıdır.
- Ormanlarda yapılacak her türlü silvikültürel faaliyetlerin arazi yapısına ve kullanım şekline göre değişiklik göstereceği unutulmamalıdır. Özellikle gençleştirme, bakım, üretim ve ağaçlandırma çalışmaları heyelan riskini minimize edecek şekilde planlanmalı, lokal koşullar dikkate alınarak ormanlık alanlar için orman amenajman planları ve silvikültür planları hazırlanmalı, üst havzalarda mera, tarım alanları ve yerleşim yerlerinde ise entegre havza yönetim planları kısa, orta ve uzun vadeli olacak şekilde planlanmalı ve uygulamalar takip edilmelidir.
- Orman yollarının planlanması ve inşaatı, orman ürünlerinin hasadı, sürütülmesi ve taşınması, ormanların her türlü hastalıklara karşı korunma ve mücadele edilmesi, orman kadastro ve planlama çalışmaları, sel, taşkın vb. erozyon mücadele ve rehabilitasyon ve ağaçlandırma çalışmaları gibi mühendislik hizmetleri gerektiren ormancılık faaliyetlerinin sürdürülebilir şekilde gerçekleştirilmesine olanak sağlayan önemli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarda gerekli hassasiyetlerin gösterilmesi önemlidir. Türkiye’de olduğu gibi araştırma alanında da ormancılık faaliyetleri kırıklı ve eğimli bir topoğrafik yapıya sahip sahalarda gerçekleştirilmektedir. Bu alanlara bölgenin genelinde olduğu gibi dağınık yerleşim düşünüldüğünde yol ağının çok iyi planlanması ve inşasına dikkat edilmelidir. Sel, taşkın ve heyelanların risk oluşturduğu bölgede gerekli

mühendislik önlemleri alınmadan arazi yapısını bozacak yol inşasına girilmemelidir. Yol güzergâhları heyelan riski yüksek bölgelerden kaçınacak şekilde planlanmalıdır.

- Ormanlar, kök sistemleri sayesinde toprağı sıkıca tutarak erozyonu azaltmakta ve heyelan riskini minimize etmektedir. Orman örtüsünün azaltılması veya tamamen ortadan kaldırılması, toprağın stabilitesini bozarak heyelan riskini önemli ölçüde artırmaktadır. Yapılan incelemeler, ormansızlaşmış alanlarda heyelanların daha sık ve şiddetli meydana geldiğini göstermektedir. Bu nedenle, ormanların korunması ve yeniden ağaçlandırma çalışmaları, heyelan riskinin azaltılmasında hayati öneme sahiptir.
- Ağaçlandırma çalışmalarında derin köklü ağaç türleri öncelikli olarak tercih edilerek köklerin toprağı tutma kapasitesi artırılmalıdır. Bölgenin ekosistemine uygun, doğal bitki türleri seçilmeli ve bu bitkilerin ekosistem dengesini bozmadan ağaçlandırma yapılmalıdır. Dik yamaçlarda erozyonu, suyun akış hızını ve toprağın kaymasını önlemek için eğime paralel olarak teraslama gibi teknikler kullanılmalıdır.
- Eğimli tarım arazilerinde (fındık ve çay tarımı) erozyon ve heyelan kontrolü amacıyla eşyükselti eğrileri boyunca ve/veya dik şekilde sıralar halinde ağaç dikiminin yapılması ile yapılacak olan tarımsal ormancılık uygulamaları kullanılabilir.
- Yamaç eğimlerinin fazla olduğu bölgelerdeki ormanlarda uygulanacak silvikültürel işlemlerde, tıraşlama kesimleri kesinlikle uygulanmamalı, müdahaleler mutedil ve sık aralıklarla yapılmalıdır. Ara ve alt tabakanın korunduğı yüksek aralama bakımları incelikli olmalıdır. Böylece toprağın doğrudan erozyona ve heyelana maruz kalması önlenmelidir. Geçici bitki örtüsü veya diğer toprak koruma önlemleri değerlendirilmelidir.
- Arazi kullanımı bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalı, yerleşim alanları, tarım orman ve hayvancılık faaliyetlerinin etkileri düzenli olarak izlenmeli ve değerlendirilmeli, özellikle eğimli arazilerde faaliyet sonrası toprağın durumu takip edilmelidir. Her türlü arazi değerlendirme amaçlı faaliyetler öncesinde, alanın heyelan risk analizi yapılmalıdır. Riskli bölgelerde daha hafif ve kontrollü faaliyetler tercih edilmelidir.
- Orman yönetimi, yalnızca ekonomik hedeflere değil, ekolojik ve çevresel hedeflere de odaklanmalıdır. Bu yaklaşım, uzun vadede hem ormanların hem de çevresel dengenin korunmasına katkı sağlar. Özellikle araştırma alanı benzeri parçalı orman kuruluşlarını olduğu yerlerde doğal kaynakları kullananlarla bu kaynaklarla iç içe yaşayan orman köylülerine kullanım hakkının verilmesine yönelik yasal ve yönetsel düzenlemelerin yapılması gerekir.

- Gerek özel gerekse kamu yönetimi bakımından havza genelinde kullanıcıların ve çalışanların, agroforestry (tarımsal ormancılık) amaçlı yapmış oldukları faaliyetler ve almış oldukları kararlar tüm havzayı etkilemektedir. Bu nedenle yapılacak olan başta ormancılık faaliyetleri olmak üzere tarım ve hayvancılık faaliyetleri heyelan riskini azaltmaya yönelik olmalı ve bu konuda eğitimler verilmelidir. Bu sayede, saha çalışmalarında daha bilinçli ve dikkatli hareket edilmesi sağlanabilir.
- Heyelan riskinin farkında olan yerel halk ve diğer paydaşlarla iş birliği yapılmalı, bu alanlarda yapılan tarımsal ormancılık faaliyetleri hakkında bilgilendirme ve eğitim çalışmaları düzenlenmelidir. Yerel topluluklarla birlikte çalışarak, heyelan riskini azaltmaya yönelik toplumsal katkılar teşvik edilmeli, birlikte kararlar alınmalı, onların bilgi ve deneyimlerinden yararlanılarak yerel koşullara uygun yönetim stratejileri geliştirilmelidir. Sosyal yapının da yer aldığı bu çalışmalar, heyelana duyarlı alanlarda orman yönetiminin daha güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde gerçekleştirilmesine yardımcı olmakta ayrıca orman ekosisteminin korunmasını ve bölgedeki insan yaşamının güvende kalmasına katkı sağlar.

Sonuç olarak, arazi kullanımı bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalı, havza genelinde ağaçlıklı alanların (parçalı da olsa ormanların) hem heyelanlara karşı koruyucu hem de toprağın stabilitesini sağlama konusundaki rolü göz ardı edilmemelidir. Heyelan riskinin yüksek olduğu bölgelerde, orman örtüsünün korunması ve artırılması stratejik bir önlem olarak değerlendirilmelidir. Uygun bir şekilde planlanıp uygulandıklarında, bu yaklaşımlar heyelanların etkilerini en aza indirirken orman ekosistemlerini de kapsayacak şekilde sürdürülebilir arazi yönetimi, kullanımı ve faydalanmanın gerçekleştirilmesine de katkı sağlayacaktır.

Bu çalışma ile çok amaçlı kullanıma konu arazilerin yönetiminde, politikaların belirlenmesi ve uygulamaların gerçekleştirilmesinde heyelan riskinin çok hassas olduğu ve riskin azaltılmasına yönelik rehber niteliğinde olacak çalışmalara, farklı ağaç türlerinin heyelan üzerindeki etkileri ve en uygun arazi kullanım stratejileri üzerine odaklanılabilir.

Havza temelli arazi kullanımındaki değişiklikleri heyelanlar başta olmak üzere doğal afet risklerini artırma kapasiteleri üzerinde de çalışmalar yapılmalıdır. Zira araştırma alanı benzeri ekolojik koşulların olduğu yerlerde heyelan, sel ve taşkınlar karşı en önemli ve etkili uygulamaların entegre havza planlaması ve bu plana uygun arazi kullanımlarından geçtiği unutulmamalıdır. Bu bağlamda, entegre havza planlamasının ve uygun arazi kullanımının önemi vurgulanmalıdır.

Sonuç olarak bu çalışma, afet risklerinin azaltılması bağlamında sürdürülebilir arazi yönetiminin ve akılcı arazi kullanımının stratejik önemini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, sürdürülebilir arazi yönetiminde entegre bir yaklaşımın zorunluluğunu, arazi kullanımında dikkatli ve bilimsel temellere dayalı stratejilerin benimsenmesi gerektiğini ve orman ekosistemlerinin korunmasının doğal afet risklerinin yönetimindeki kritik rolü olduğunu vurgulamaktadır. Bu bağlamda, önerilen uygulama stratejileri, gelecekte hem yerel hem de bölgesel düzeyde yapılacak politikaların ve yönetim yaklaşımlarının şekillendirilmesinde temel bir referans noktası oluşturacaktır.

6. KAYNAKLAR

- AFAD. (2015, 08 15). *Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması, Heyelan- Kaya Düşmesi Temel Klavuz*. Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı: https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/3469/xfiles/kutle-hareketleri-temel-kilavuz_tr.pdf adresinden alındı
- AFAD. (2024, 08 16). *Ordu AFAD İl Müdürlüğü*. AFAD: <https://ordu.afad.gov.tr/kurumlar/ordu.afad/e-kutuphane/Il-Planlari/Ordu-Irap-Kurumlara-Dagitim.pdf> adresinden alındı
- Akar, T. (2021). *Heyelan alanlarında üst yüzey bitki ve ağaçlarına bağlı olarak kütle hareketlerinin belirlenmesi*. Denizli: Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akçalı, E. (04-06 May 2018). YAĞIŞ EŞİĞİ BAZLI HEYELAN ERKEN UYARI SİSTEMİ VE AFET YÖNETİMİNDE KULLANIMI. In *2nd International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management* (s. 41-51). Sakarya-Türkiye: Sakarya University Culture and Congress Center.
- Akıncı, H., Kılıçoğlu, C., & Doğan, S. (2020). Random Forest-Based Landslide Susceptibility Mapping in Coastal Regions of Artvin, Turkey. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(9), 553.
- Aleotti, P. C. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* , 21-44.
- Alkeveli, T. (2015). *Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Örneklem Stratejileri Ve Bazı Karar Verme Ağaçları Algoritmalarının Kullanımı Üzerine Bir Araştırma*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Anaçalı, İ., & Şirin, A. (2015, Ağustos 15). *Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu*. Ankara: TC Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Jeolojik Hizmetler Şubesi Müdürlüğü,. Karayolları Genel Müdürlüğü. adresinden alındı
- Atalay, İ. (2014). *Türkiye'nin Ekolojik Bölgeleri*. Ankara: Orman ve Su İşleri Bakanlığı Yayınları.
- Ateş, Ş., & Keçer, M. (2004). *Ordu İlinin Yerbilim Verileri ve Doğal Afet Özellikleri*. Ankara: MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Yayınları.
- Avcı, M. (2004). Ormangülleri ve Türkiye'deki Doğal Yayılışları. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 12, 13-29.
- Baltacı , H. (2010). *Doğu Karadeniz Bölgesinde (Rize, Trabzon, Giresun) Heyelan Yağış İlişkisinin İncelenmesi ve Minimum Eşik Değerlerinin Belirlenmesi* . İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

- Carrara, A. C. (2003). Geomorphological and historical data in assessing landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 28(10), 1125-1142.
- Çan, T., Duman, T., Olgun, Ş., Çörekçioğlu, Ş., Gülmez, F. K., Elmacı, H., . . . Emre, Ö. (2013). Türkiye Heyelan Veri Tabanı. *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*. Ankara: TMMOB.
- Çellek, S. (2013). Sinop Gerze Yöresinin Heyelan Duyarlılık Analizi. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, 83-87.
- ÇEMGM. (2024, 08 12). *ÇEMGM*. <https://cem.csb.gov.tr/https://webdosya.csb.gov.tr/db/cem/icerikler/heyelanlar-20211108102144.pdf> adresinden alındı
- Çepel, N. (1996). Çevre Koruma ve Ekoloji Sözlüğü, TEMA Vakfı Yayınları No: 6, İstanbul.
- Dağ, S. (2007). *Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi*. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Dağ, S., & Bulut, F. (2012). Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*(36 (1)), 35-62.
- Dağ, S., Bulut, F., Alemdağ, S., & Kaya, A. (2011). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntem ve parametrelere ilişkin genel bir değerlendirme. *Gümüşhane Ünveritesi Fen Bilimleri Dergisi*(1(2)), 151-176.
- Dağdelenler, G. (2013). *Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Örneklem ve Doğrulama Stratejilerinin Değerlendirilmesi (Gelibolu Yarımadası'nın Doğu Kesimi)*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Daşdemir, İ., & Çakmak, G. (2018). Giresun-Kulakkaya ve Kemerköprü Orman İşletme Şefliklerinde İş Yükü Analizi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*(20(2)), 278-286.
- Dölek, İ. (2008). *Bolaman Çayı Havzasının (Ordu) Uygulamalı Jeomorfoloji Etüdü*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı Doktora Tezi.
- Duman, T., Çan, T., & Emre, Ö. (2011). *1/1.500.000 ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Haritası*. Ankara, Türkiye: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayınlar Serisi-27.
- Eker, R. (2013). *Yığılca Orman İşletme Müdürlüğü'nde Heyelan Duyarlılık Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımı ile Üretilmesi ve Orman Yolları Açısından Değerlendirilmesi*. Düzce: Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Eker, R., & Aydın, A. (2014). Ormanların heyelan oluşumu üzerindeki etkileri. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*(15(1)), 84-93.

- Ercanoğlu, M. (2005). Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks. *Natural Hazards and Earth System*(5(6)), 979-992.
- Gökçeoğlu, C., & Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında. *Yerbilimleri,Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 189-206.
- Görcelioğlu, E. (2004). *Biyoteknik Yapılar*. İstanbul: İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., & Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 181-216.
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., & Galli, M. (2006). Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology*, 166-184.
- Gülibrahimoğlu, İ. (1986). *Arsin - Araklı - Sürmene - Çaykara güneyi ile Bayburt kuzeyi yörelerindeki Cu-Pb-Zn-Fe-Mn Cevherleşmelerine ait 1/25.000 ölçekli maden*. Ankara (Yayımlanmamış): Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No:8039.
- Güneş, H. (2018). CBS ve Uzaktan Algılama ile RUSLE Toprak Erozyon Modeli: Bir Örnek Uluova ve Çevresi. (s. 522-552). Ankara: TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu.
- Güven, İ. (1990). *Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/100.000 ölçekli kompilasyon çalışması (yayımlanmamış)*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Güven, İ. (1993). *Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Güven, İ. (1998). *Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/100.000 ölçekli kompilasyon çalışması*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Highland, L. a. (2008). *The landslide handbook—A guide to understanding landslides*. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular.
- Hızal, A. (1984). *Havza fotoğrafları yorumlamasının havza amenajmanı (Ova Deresi Havzası, Kocaeli) çalışmalarında uygulanma olanaklarının araştırılması*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi-Orman Fakültesi (Doktora Tezi).
- Horzum, A. (2024). *Makine Öğrenme Algoritmaları Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalaması*. Antalya: Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Kalafat, O. (2021). Ortahisar (Trabzon) İlçesinin Olasılıksal Yöntem Tabanlı Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. *KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*.

- Kamış, A. (2024). *Heyelan Duyarlılık Haritası Tabanlı Heyelan Kontrol Yapıları Önerimi; Nallıhan İlçesi Örneği*. Bartın: Bartın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Lee, S. (2004). Application of Likelihood Ratio and Logistic Regression Models to Landslide Susceptibility Mapping Using GIS. *Environmental Management*, 223-232.
- Liu, X., & Miao, C. (2018). Large-scale assessment of landslide hazard, vulnerability and risk in China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 1037-1052.
- MGM. (2024, 8 16). *TÜİK Ulusal Veri*. MGM: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ORDU> adresinden alındı
- Milewski, I., Markoski, B., Jovanovski, M., & Gorin, S. (2009). "Application of remote sensing and GIS in detection of potential landslide areas. *Scientific Symposium Geography and Sustainable Development*. Ohrid, Republic of Macedonia.
- Moore, I., Grayson, R., & Ladson, A. (1991). Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Process*, 3-30.
- Nişancı, R., Yıldırım, V., & Yıldırım, A. (2007). Su Havzalarına Yönelik CBS Veri Tabanı Modellemesi: Trabzon Galyan Vadisi Örneği. *Su Havzalarına Yönelik Cbs Veri Tabanı Modellemesi: Trabzon Galyan Vadisi Örneği*. Trabzon: TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, KTÜ.
- OGM. (2024, 07 13). *OGM. Orman Genel Müdürlüğü- TULİP*: <https://www.ogm.gov.tr/tulip/Sayfalar/Hakkinda.aspx#tab-1> adresinden alındı
- OGM. (2024). *Silvikültürel Uygulamaların Teknik Esasları Tebliğ No: 317*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü Silvikültür Dairesi Başkanlığı.
- Özdemir, M. (2006). Bolaman Çayı Havzasının Coğrafyası. *Türk Tarih Kurumu Yayınları XXVII*, 38-80.
- Özden, Ş., & Özden, M. (1997). *Türkiye Toprak Erozyon Tahmin Modeli*. Ankara: Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları,.
- Özşahin, E. (2008). Keçidere (Gönen Çayı'nın bir kolu) havzasının hidrografik özelliklerine sayısal yaklaşım. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(5(10)), 301-317.
- Öztürk, K. (2002). Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri. *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 35-50.
- Reis, S., Yalçın, A., Atasoy, M., & Nişancı, R. (2009). CBS ve Uzaktan Algılama Teknikleri ile Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretimi: Rize İli Örneği. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu*, 4-6.

- Shirvani, Z. (2020). A Holistic Analysis for Landslide Susceptibility Mapping Applying Geographic Object-Based Random Forest: A Comparison between Protected and Non-Protected Forests. *MDPI Journal*(12(3)), 434. doi: <https://doi.org/10.3390/rs12030434>
- Sidle, R. (2008). *Slope Stability: Benefits of Forest vegetation in Central Japan*. www.proactnetwork.org: ProAct Network.
- Steinacher, R. M. (2009). The Influence of Deforestation on Slope (In-) Stability. *Austrian Journal of Earth Sciences*(102(2)), 90-99.
- Şahin, Y. (2019). *Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Heyelan Risk Analizi: Fındıklı (Rize) Örneği*. Kocaeli: Gebze Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri, Yüksek Lisans Tezi.
- Taş, H. (2021). Bolaman Çayı Yukarı Çığırında (Ordu) Havza Yönetimine Yönelik Riskler Ve Planlama Önerileri. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Coğrafya Ana Bilim Dalı*.
- Taşkanat, T. (2020). Evrimsel Algoritmalar Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi. *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*.
- Terlemeş, İ., & Yılmaz, A. (1980). *Unye-Ordu-Koyulhisar-Resadiye arasında kalan yörenin*. 1980: Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni,.
- Topaçlı, Z. (2023). Havza Ölçeğinde Heyelandan Kaynaklanan Zararların Azaltılmasına Yönelik Metodoloji Ve Yöntemlerin Geliştirilmesi (Bolaman Mikro Havzası, Ordu). *Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 38-42.
- Topaçlı, Z., Özcan, A., & Gökçeoğlu, C. (2024). Performance Comparison of Landslide Susceptibility Maps Derived from Logistic Regression and Random Forest Models in the Bolaman Basin, Türkiye. *Natural Hazard Review*, DOI: 10.1061/NHREFO.NHENG-1771.
- Turna, İ. (2022). İklim Değişikliği ve Sürdürülebilir Arazi Yönetimi. Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü (ÇEM), İklim Değişikliğine Uyum Konusunda Kurumsal Kapasitenin Geliştirilmesi İçin Eğiticilerin Eğitimi. 21-25 Kasım. Amasya.
- Turna, İ. (2023). *Tarımsal Ormancılık (Agroforestry)*. Ankara: Gece Kitaplığı.
- URL, 1. (2024, 07 25). *Corine Projesi*. Tarım ve Orman Bakanlığı: <https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/araziortususiniflari.html> adresinden alındı
- Varnes, D. (1978). *Slope Movement Types And Processes In Landslides: Analysis And Control*. Washington: Transportation Research Board, National Academy Of Science 11-33.
- Varnes, D. (1984). *Landslide hazard zonation-a review of principles and practice*. Paris: UNESCO.

- Wilson, D., & Gallant, J. (2000). *Terrain Analysis: Principles and Applications*. Newyork: John Wiley and Sons.
- Yeşilnacar, E., & Topal, T. (2005). Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a mediumscale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 251-266.

ÖZGEÇMİŞ

Ayten DEMİRHAN, 2005 yılında başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü'nü 2009 yılında başarıyla tamamladı. 2010-2013 yılları arasında özel sektör deneyiminin ardından 2014 yılında Orman ve Su İşleri Bakanlığında Orman ve Su İşleri Uzman Yardımcısı olarak çalışmaya başladı. 2018-2021 yılları arasında Tarım ve Orman Uzmanı olarak çalıştı. 2022 yılından itibaren Çevre ve Şehircilik Uzmanı olarak çalışmaya devam etmektedir. 2021 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Mühendisliği ana bilim dalında yüksek lisansa başladı.