

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANA BİLİM DALI**



**HEYELAN DUYARLILIĞI ANALİZİNE BİR ÖRNEK:
İYİDERE HAVZASI (RİZE)**

Doktora Tezi

Kemal ERSAYIN

Danışman

Prof. Dr. Ali UZUN

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi BAP birimi tarafından PYO.FEN.1904.21.005 no'lu doktora tez projesi kapsamında desteklenmiştir.

SAMSUN
2022

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım doktora tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır

22 / 04 / 2022
Kemal ERSAYIN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : Heyelan Duyarlılığı Analizine Bir Örnek: İyidere Havzası (Rize)

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 25/02/2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 3

Tek kaynak oranı : % 1 çıkmıştır.

22 / 04 / 2022
Prof. Dr. Ali UZUN

ÖZET

HEYELAN DUYARLILIĞI ANALİZİNE BİR ÖRNEK: İYİDERE HAVZASI (RİZE)

Kemal ERSAYIN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Coğrafya Ana Bilim Dalı

Doktora, Şubat/2022

Danışman: Prof. Dr. Ali UZUN

Yeryüzünün işleyişi açısından gayet sıradan olan doğa olayları insan ve eserlerine zarar vererek afet boyutu kazanmaktadır. Bu doğal afetler içerisinde önemli başlıklardan birisi heyelandır. Bu çalışma kapsamında Türkiye’de en fazla heyelan afetinin yaşandığı Doğu Karadeniz Bölümü sınırları içerisinde bulunan İyidere Havzası’nda heyelan duyarlılığı incelenmiştir. Toplam yüz ölçümü 1052 km² olan araştırma sahası Trabzon ve Rize ili sınırları arasında bulunmaktadır.

Heyelan gerçekleşme ihtimalinin bilinmesi bu afetle mücadelede önemli bir altlıktır. Heyelan duyarlılık haritaları da bu amaca hizmet etmektedir. Bu çalışma kapsamında da İyidere Havzası’nda heyelana duyarlı alanların tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda İyidere Havzası’na ait orta ölçekli heyelan envanteri üretilmiştir. Üretilen envanter verisi ile 15 farklı çevresel bileşen (litoloji, toprak tekstürü, yükselti, bakı, eğim, eğim şekli, drenaj yoğunluğu, akarsulara mesafe, yollara mesafe, arazi örtüsü, topografik nemlilik indeksi, akarsu aşındırma gücü indeksi, topografik pozisyon indeksi, arazi pürüzlülük indeksi, sediment taşıma kapasitesi) havza ölçeğinde detaylıca irdelenmiştir. Elde edilen veriler ile istatistiksel yöntemler (frekans oranı, kanıt ağırlığı yöntemi, istatistiksel indeks) ve makine öğrenmesi yöntemleri (mantıksal regresyon, yapay sinir ağları) kullanılarak İyidere Havzası’nda heyelan duyarlılığı haritaları üretilmiştir. Bütün yöntemler birlikte değerlendirildiğinde havzanın yaklaşık dörtte birinde heyelan duyarlılığının yüksek olduğu belirlenmiştir. Heyelan duyarlılığın yüksek olduğu alanların havzanın aşağı çıkışında daha geniş yayılım gösterdiği saptanmıştır.

İyidere Havzası’nda drenaj yoğunluğu, eğim, eğim şekli, litoloji, arazi örtüsü ile akarsulara ve yollara mesafe parametrelerinin heyelan duyarlılığı üzerinde etkili çevresel bileşenler olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında belirlenen heyelan duyarlılığının düşük olduğu alanların kullanımına öncelik verilmelidir. Yüksek duyarlı alanlarda yapılacak beşerî faaliyetlerde de daha detaylı değerlendirmelerin yapılması önerilmektedir. Heyelan afeti ile mücadele mekânsal değerlendirmelerin yanı sıra, yöre halkının heyelan afeti hususunda bilinçlerinin artırılması gerekmektedir.

Anahtar Sözcükler: Heyelan duyarlılığı, İyidere Havzası, Rize, İstatistiksel yöntemler, makine öğrenmesi

ABSTRACT

AN EXAMPLE OF LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS: İYIDERE BASIN (RIZE)

Kemal ERSAYIN

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Geography

Ph.D., February/2022

Supervisor: Prof. Dr. Ali UZUN

Natural events, which are ordinary in terms of the earth system process, gain a disaster dimension by damaging people and their products. One of the important subject among these natural disaster is landslide. Within the scope of this study, landslide susceptibility was investigated in the İyidere Basin, which is located within the Eastern Black Sea Region, where the most landslide disasters are experienced in Turkey. The total surface of the research area is 1052 km² and is located between the borders of Trabzon and Rize cities.

Knowing the possibility of landslides for an area is very important knowledge for struggling with disaster. Landslide susceptibility maps are produced in order to obtain this knowledge. In this study, it was aimed to determine the areas which susceptible to landslide in İyidere Basin. For this purpose, a medium-scale landslide inventory of the İyidere Basin was produced. With this inventory data, 15 different environmental components (litology, soil texture, elevation, aspect, slope, curvature, drainage density, distance to streams, distance to roads, land cover, topographic wetness index, stream power index, topographic position index, terrain roughness index, sediment transport capacity index) were examined in detail and landslide susceptibility maps were produced by using statistical (frequency ratio, weight of evidence, statistical index) and machine learning (logistic regression, artificial neural network) methods. It has been determined that landslide susceptibility is high in about a quarter of the basin. High landslide susceptibility areas more widely spread in the lower part of the basin.

It has been determined that drainage density, slope, curvature, lithology, land cover and distance to river and roads are most effective environmental variable on landslide susceptibility in İyidere Basin. The use of areas with low landslide susceptibility should be given priority. Its recommended that more detailed evaluations be made for human activities which carried out in highly susceptible areas. In addition to the spatial evaluations for struggling landslide disaster, the awareness of local people also should be increased.

Keywords: Landslide susceptibility, İyidere basin, Rize, Statistical methods, Machine learnings

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜRLER

Bu çalışma bir doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Birçok indeks ve yöntem birlikte kullanılarak İyidere Havzası'nda (Rize) heyelan duyarlılığının mekânsal dağılışı ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Süreç boyunca her bir çevresel bileşen hakkında detaylı literatür okuması yapılmış, çevresel bileşenler ile heyelanlar arasındaki ilişki tartışılmış ve İyidere Havzası özelinde elde edilen bulgular ortaya koyulmuştur. Çalışmayı okuyan kişi yalnızca İyidere Havzası özelinde bilgiler de elde etmeyecektir. Genel itibariyle çevresel bileşenlerin heyelanı nasıl kontrol ettiği hususunda da detaylı bilgilere vakıf olacaktır. Bu yönüyle çalışmanın değerli olduğu kanaatindeyim.

Doğu Karadeniz Bölümü'ndeki birçok havzada heyelan duyarlılığı değerlendirilmiştir. İyidere Havzası özelinde ise böylesi detaylı bir heyelan duyarlılığı değerlendirmesine rastlamamıştır. Doktora tezi kapsamında yapılan bu çalışmanın ilgili paydaşlara faydalı olacağı söylenebilir.

Çalışmanın birinci kısmında araştırmanın amacı, önemi, problem durumu, literatürden örnekler, araştırma sahasının yeri ve sınırları verilmiştir. İkinci bölümde kullanılan yöntemler ve malzemeler izah edilmiştir. Üçüncü bölümde duyarlılık analizi amacıyla üretilen heyelan envanteri verisi ve çevresel parametreler verilmiş ve değerlendirmesi yapılmıştır. Dördüncü bölümde heyelan duyarlılığı analizleri ve sonuç haritaları verilmiştir. Beşinci bölümde ise çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ve öneriler belirtilmiştir.

Doktora süreci boyunca şahsıma yol gösteren, bilgisini ve tecrübesini benimle paylaşan değerli danışman hocam Prof. Dr. Ali UZUN'a teşekkür ederim. Doktora yeterlilik, tez izleme ve savunma jürimde bulunan Prof. Dr. İbrahim KOPAR, Prof. Dr. Kemalettin ŞAHİN ve Dr. Öğr. Üyesi İnci Demirağ TURAN'a katkılarından dolayı teşekkür ederim. Arazi çalışmamıza eşlik eden ve tecrübelerinden faydalandığım Doç. Dr. Faruk AYLAR'a ve Dr. Öğr. Üyesi Sebahat UZUN'a teşekkürü borç bilirim. Doktora sürecinde her türlü destek ve yardımlarından ötürü Arş. Gör. Dr. Serkan GÜRGÖZE ve Arş. Gör. Halıthan ŞEN'e minnettarım. Veri temini hususunda cömertliği için Öğr. Gör. Fatih OCAK'a teşekkürü borç bilirim. Dr. Savaş ÇAĞLAK, Arş. Gör. Fatih IŞIK'a doktora ders ve tez dönemindeki samimi yol arkadaşlıkları için teşekkür ederim.

Geldiğim noktada hiç şüphesiz en büyük teşekkürü aileme borçluyum. Maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Muazzez ERSAYIN ve babam Zeki ERSAYIN'a müteşekkirim. Bu süreçte her türlü işimi kolaylaştıran eşim Özlem ERSAYIN'a teşekkür ederim. Hayatımın önemli parçaları ablalarım Hilal YAZICILAR ve Nihal BEYAZYILDIZ'a sonsuz destekleri için sonsuz teşekkürler ediyorum.

Bu çalışmayı PYO.FEN.1904.21.005 nolu doktora tez projesi kapsamında destekleyen Ondokuz Mayıs Üniversitesi BAP birimine teşekkür ederiz.

Kemal ERSAYIN

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜRLER	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Konusu, Amacı ve Önemi.....	1
1.2. Problemin Tanımı ve Araştırma Soruları	4
1.3. Literatür Değerlendirmesi	5
1.4. Çalışma Sahasının Yeri ve Sınırları	15
2. YÖNTEMLER VE MALZEME	19
2.1. Heyelan Envanterinin Hazırlanması	19
2.2. Parametre Veri Altlıklarının Hazırlanması	29
2.3. Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesi.....	38
2.3.1. Frekans Oranı Yöntemi (FR)	39
2.3.2. Mantıksal Regresyon (LR).....	40
2.3.3. İstatistiksel İndeks Yöntemi (SI).....	41
2.3.4. Kanıt Ağırlığı Yöntemi (WOE)	42
2.3.5. Yapay Sinir Ağları (ANN).....	43
2.3.6. Doğruluk Değerlendirmesi.....	45
3. ÇEVRESEL PARAMETRELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	46
3.1. İyidere Havzası Heyelan Envanteri.....	46
3.2. Heyelan Duyarlılığı Üzerinde Etkili Parametreler	51
3.2.1. Litolojik Özellikler.....	51
3.2.2. Toprak Tekstürü.....	62
3.2.3. Yükselti	69
3.2.4. Bakı	73
3.2.5. Eğim	76
3.2.6. Eğim Şekli (Eğrisellik).....	80
3.2.7. Drenaj Yoğunluğu.....	88
3.2.8. Akarsulara Mesafe	93
3.2.9. Yollara Mesafe.....	96
3.2.10. Arazi Örtüsü	101
3.2.11. Deprensellik	107
3.2.12. Topografik Nemlilik İndeksi (TWI).....	109
3.2.13. Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi (SPI)	112
3.2.14. Topografik Pozisyon İndeksi (TPI).....	115
3.2.15. Arazi Pürüzlülük İndeksi (TRI)	122
3.2.16. Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi (STC)	125
3.2.17. Yağış	127
4. HEYELAN DUYARLILIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ	132
4.1. Frekans Oranı Yöntemi	132
4.2. İstatistiksel İndeks Yöntemi.....	137
4.3. Kanıt Ağırlığı Yöntemi	142
4.4. Mantıksal Regresyon Yöntemi.....	148
4.5. Yapay Sinir Ağları Yöntemi	154
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	159

KAYNAKÇA	165
ÖZGEÇMİŞ	190



SİMGELER VE KISALTMALAR

AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci
ANN	: Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network)
AUC	: Roc eğrisi altındaki alan (Area Under Curve)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
FR	: Frekans Oranı (Frequency Ratio)
HGK	: Harita Genel Komutanlığı
LR	: Mantıksal Regresyon (Logistic Regression)
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
ROC	: Alıcı işlem karakteristikleri (Receiver Operating Characteristic)
RRIM	: Kırmızı Relyöf Haritası (Red Relief Imape Map)
SI	: İstatistiksel İndeks (Statistical Index)
SPI	: Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi (Stream Power Index)
STC	: Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi (Sediment Transport Capacity)
SYM	: Sayısal Yükselti Modeli
TPI	: Topografik Pozisyon İndeksi (Topografik Position Index)
TRI	: Arazi Pürüzlülük İndeksi (Terrain Roughness Index)
TWI	: Topografik Nemlilik İndeksi (Topographic Wetness Index)
UA	: Uzaktan Algılama
UTM	: Evrensel Enlem Merkakörü Koordinat Sistemi
Wi	: Ağırlık
WOE	: Kanıt Ağırlığı (Weight of Evidence)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünya genelinde 1900-2019 yılları arasında meydana gelen doğal afet sayıları (EM-DAT, 2020).	2
Şekil 1.2. Çalışma alanının lokasyon haritası	16
Şekil 1.3. İyidere akarsuyunun denize ulaştığı, havzanın en kuzey sınırı.....	17
Şekil 1.4. Cimil vadisi (İyidere Havzası'nın güneydoğusu).....	17
Şekil 1.5. Garzavan Vadisi (İyidere Havzası'nın güneybatısı).....	18
Şekil 1.6. İyidere Havzası'na ait panoramik bir görüntü (Yumurtatepe mevkiinden güneye bakış).....	18
Şekil 2.1. İş-akış grafiği.	20
Şekil 2.2. Heyelan sınıflarının şematik gösterimi (USGS'den akt. AFAD, 2015)	23
Şekil 2.3. Ortofoto görüntülerinin kapladıkları alanlar.	26
Şekil 2. 4. İyidere Havzası'nın güneydoğusuna ait aynı SYM verisinden üretilen hillshade (solda) ve RRIM (sağda) görüntüleri.	28
Şekil 2.5. İyidere Havzası Kırmızı Rölyef Haritası (RRIM).	29
Şekil 2.6. Toprak örneklerinin alındığı lokasyonların haritası.....	34
Şekil 2.7. Toprak örneklerinin alınması a) Toprağın üst kısmındaki organik materyal temizlendi. b) 30 cm derinliğinde V şeklinde çukur açıldı. c) Açılan çukurun kenarından dikey bir kesit olarak örnek alındı.....	33
Şekil 2.8. Hidrometre okuması yapılmak üzere örneklerin sedimantasyon silindirinde bekletilmesi	35
Şekil 2.9. Yapay Sinir Ağı örnek görseli	44
Şekil 3.1. İyidere Havzası heyelan lokasyonları haritası.	46
Şekil 3.2. İyidere Havzası'ndan heyelan örnekleri.....	47
Şekil 3.3. Heyelanların alansal ve boyutsal özelliklerine ait kutu grafikler. Heyelan alanı, genişliği ve uzunluğu logaritmik (\log_{10}) ölçekte verilmiştir. \oplus :ortalama değeri ifade etmektedir.	49
Şekil 3.4. İyidere Havzası Jeoloji Haritası.....	52
Şekil 3.5. Çağlayan formasyonuna volkanik kayalar, Fındıklı (Kalkandere) yerleşmesi civarı	55
Şekil 3.6. Bakırköy formasyonuna ait birimler (Sol: Bayırca (Of) yerleşmesi civarı. Sağ: Darılı-Gümüşören (Of) yerleşmeleri civarı)	56
Şekil 3.7. Kaçkar granitoidine ait birimler ve granit arenaları, Büyükyayla civarı (İkizdere)	57
Şekil 3.8. Kaçkar granitoyidi içerisine sokulmuş dayk. Tulumpınar (İkizdere) yerleşkesi civarı	58
Şekil 3.9. Havzanın ağız kısmındaki kuvaterner yaşlı araziler	60
Şekil 3.10. Litolojik birimler ve heyelanların alansal dağılış grafiği.....	62
Şekil 3.11. İyidere Havzası tekstür haritası.....	67
Şekil 3.12. Tekstür sınıfları ile heyelanların alansal dağılış grafiği.....	68
Şekil 3.13. İyidere Havzası yükselti basamakları haritası.....	70

Şekil 3.14. İyidere Havzası'nın hipsometrik eğrisi ve hipsometrik integral değeri.....	71
Şekil 3.15. Yükselti basamakları ve heyelanların alansal dağılış grafiği.....	73
Şekil 3.16. İyidere Havzası bakı haritası.....	75
Şekil 3.17. Bakı sınıfları ve heyelanların alansal dağılış grafiği.....	76
Şekil 3.18. İyidere Havzası eğim haritası.	78
Şekil 3.19. Eğim sınıfları ve heyelanların alansal dağılış grafiği.....	79
Şekil 3.20. Plan ve profil eğriselliğinin değerlendirilmesi (Web 6'den değiştirilerek).	80
Şekil 3.21. Plan yamaç eğriliği (Web-7). (A: Dışbükey, B: İçbükey C: Düz).....	81
Şekil 3.22. Profil yamaç eğriliği (Web-7). (A: Dışbükey, B: İçbükey C: Düz).....	81
Şekil 3. 23. Plan yamaç eğriselliği haritası	83
Şekil 3. 24. Plan eğriliği sınıfları ve heyelanların alansal dağılış grafiği.....	84
Şekil 3.25. Profil yamaç eğriselliği haritası	85
Şekil 3.26. Profil eğriliği sınıfları ve heyelanların alansal dağılış grafiği.....	86
Şekil 3. 27. Profil eğriselliği dış bükey olan bir yamaçta gerçekteşmiş heyelan görüntüsü (Cevizlik-Yeni Köy arası, Kalkandere)	88
Şekil 3.28. Plan eğriselliği iç bükey olan bir yamaçtan heyelan görüntüsü (Fındıklı köyü, Kalkandere).....	87
Şekil 3. 29. Plan ve profil yamaç eğriselliği dış bükey olan bir yamaçtan heyelan görüntüsü (Kızıltoprak Mahallesi, Kalkandere).....	87
Şekil 3.30. Drenaj Yoğunluğu Haritası.....	90
Şekil 3.31. Drenaj yoğunluğu sınıfları ile heyelanların alansal dağılış grafiği	92
Şekil 3.32. Akarsulara mesafe haritası.....	94
Şekil 3.33. Akarsulara mesafe sınıfları ile heyelanların alansal dağılış grafiği	95
Şekil 3.34. Karadere ırmağının batı yamacından bir heyelan görüntüsü	96
Şekil 3.35. Yolun heyelan oluşumu üzerindeki etkisinin şematik gösterimi.	97
Şekil 3.36. Yollara mesafe haritası	98
Şekil 3. 37. Yollara mesafe sınıfları ile heyelanların alansal dağılış grafiği.....	99
Şekil 3.38. Esenköy (Of İlçesi) mevkiinde gerçekteşmiş bir heyelanın görüntüsü	100
Şekil 3.39. Fındıklı yerleşmesi (Kalkandere) mevkiinde yolun üstünde gerçekteşmiş bir heyelanın görüntüsü.....	100
Şekil 3.40. Yokuşlu-Yeniköy (Kalkandere) yerleşmeleri arasındaki yolun altında gerçekteşmiş bir heyelan görüntüsü.....	101
Şekil 3.41. Darlı yerleşmesi (Of İlçesi) mevkiinde yolun alt kısmında gerçekteşmiş bir heyelanın üstten ve karşıdan görüntüleri.	101
Şekil 3.42. Orman üst sınırını gösteren görseller. (Sol: Cimil vadisi. Sağ: Homoze Yaylası'ndan kuzeydoğuya (Çağırankaya Yaylasına) bakış).....	104
Şekil 3.43. Geniş yapraklı ormanlar, tarım alanları ve yerleşmelerin birlikteliğini gösteren görseller. (Sol: İkizdere Vadisi'nden kuzeye doğru bakış. Sağ: Zafer köyünden Kirazlı köyüne (İkizdere) bakış)	104
Şekil 3.44. İyidere Havzası'nın aşağı çığırındaki yoğun çay tarımı arazileri (Elmalık Deresi Vadisi, Kendirli Beldesi'nin batısı).....	104

Şekil 3.45. Arazi örtüsü haritası.....	105
Şekil 3.46. Arazi örtüsü sınıfları ile heyelanların alansal dağılış grafiği	107
Şekil 3. 47. Türkiye'de deprem kuşakları (Özmen vd. 1997).....	108
Şekil 3.48. 1900 - 31 Aralık 2020 Aletsel dönem depremleri ($M \geq 4$) (Kaynak: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü).....	109
Şekil 3. 49. Topografik Nemlilik İndeksi haritası.....	111
Şekil 3.50. Topografik Nemlilik İndeksi sınıfları ile heyelanların alansal dağılış grafiği ...	112
Şekil 3.51. Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi Haritası.	114
Şekil 3.52. Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi sınıfları ile heyelanların alansal dağılış grafiği	115
Şekil 3.53. Farklı tarama çaplarında TPI hesaplaması (Jenness, 2006'dan değiştirilerek)...	118
Şekil 3.54. Farklı tarama çaplarında TPI'nın hesaplanması ve arazinin sınıflandırılması (Jenness, 2006'dan değiştirilerek).	118
Şekil 3.55. Farklı tarama çaplarında üretilen TPI haritaları.....	119
Şekil 3.56. Topografik Pozisyon İndeksi (TPI) haritası.....	120
Şekil 3. 57. Topografik Pozisyon İndeksi sınıfları ile heyelan alanların oransal dağılış grafiği	121
Şekil 3.58. Arazi pürüzlülük indeksi formülündeki birimlerin şekilsel gösterimi.	122
Şekil 3.59. Arazi Pürüzlülük İndeksi (TRI) haritası.	123
Şekil 3.60. Arazi Pürüzlülük İndeksi sınıfları ile heyelan alanlarının oransal dağılış grafiği	124
Şekil 3.61. Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi (STC) haritası.	126
Şekil 3 62. Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi ile heyelanların oransal dağılış grafiği....	127
Şekil 3.63. Yağış grafiği	131
Şekil 4.1. Frekans Oranı yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılığı haritası.....	136
Şekil 4.2. Frekans Oranı yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılık haritasına ait ROC eğrisi	137
Şekil 4.3. İstatistiksel İndeks yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası.....	141
Şekil 4.4. İstatistiksel İndeks yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılık haritasına ait ROC eğrisi.....	142
Şekil 4.5. Kanıt Ağırlılığı Yöntemi ile elde edilen heyelan duyarlılığı haritası.....	146
Şekil 4.6. Kanıt Ağırlılığı yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılığı haritasına ait ROC eğrisi	147
Şekil 4.7. Mantıksal regresyon yöntemi ile elde edilen heyelan duyarlılığı haritası	153
Şekil 4.8. Mantıksal regresyon yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılığı haritasına ait ROC eğrisi.....	154
Şekil 4.9. Model-4 ile üretilen yapay sinir ağı yapısı	155
Şekil 4.10. Yapay sinir ağı yöntemi ile elde edilen heyelan duyarlılığı haritası.....	157
Şekil 4.11. Yapay sinir ağı yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılığı haritasına ait ROC eğrisi	158

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Heyelanların sınıflandırılması (Varnes, 1978).....	22
Tablo 2.2. Heyelan duyarlılığı çalışmalarında kullanılan parametreler*	30
Tablo 2.3. Çalışmada kullanılan parametreler ve veri kaynakları.....	31
Tablo 2.4. Meteoroloji istasyonlarına ait bilgiler.....	36
Tablo 2.5. Karışıklık matrisi tablosu.....	44
Tablo 2.6. AUC değerlerinin sınıflandırılması (Gorunescu, 2011)	45
Tablo 3.1. Heyelanların alansal sınıfları (Cornforth, 2004) ve bu sınıflardaki heyelan sayıları	48
Tablo 3.2. Hareket türlerine göre heyelanların alansal özelliklerinin temel istatistik bilgileri	49
Tablo 3.3. Hareket türlerine göre heyelanların uzunluk özelliklerinin temel istatistik bilgileri	50
Tablo 3.4. Hareket türlerine göre heyelanların genişlik özelliklerinin temel istatistik bilgileri	50
Tablo 3.5. Heyelanların uzunluk-genişlik oranı özelliklerinin temel istatistik bilgileri	51
Tablo 3.6. Litolojik birimler ile heyelanların alansal verileri	61
Tablo 3.7. Ölçülen kum, kil ve silt değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler	64
Tablo 3.8. Toprak örneklerine ait bilgiler	64
Tablo 3.9. Toprak tekstür özellikleri için elde edilen model verilerine ait parametreler	66
Tablo 3.10. Toprak tekstür sınıfları ile heyelanların alansal verileri	68
Tablo 3.11. Yükselti basamakları ile heyelanların alansal verileri	72
Tablo 3.12. Bakı sınıfları ile heyelanların alansal verileri	75
Tablo 3.13. Eğim sınıfları ile heyelanların alansal verileri	79
Tablo 3.14. Plan eğriliği sınıfları ile heyelanların alansal verileri	84
Tablo 3.15. Profil eğriliği sınıfları ile heyelanların alansal verileri	86
Tablo 3.16. Drenaj yoğunluğu sınıflarının yüzölçümü ve eğim bilgileri.....	91
Tablo 3.17. Jeolojik Birimlere Ait Drenaj Yoğunluğu (km/km ²) Bilgileri.	91
Tablo 3.18. Drenaj yoğunluğu sınıfları ile heyelanların alansal verileri.....	92
Tablo 3.19. Akarsulara mesafe sınıfları ile heyelanların alansal verileri.....	95
Tablo 3.20. Yollara mesafe verisi ile heyelanların alansal verileri	99
Tablo 3.21. Arazi örtüsü sınıfları ile heyelanların alansal verileri.....	106
Tablo 3.22. Topografik Nemlilik İndeksi sınıfları ile heyelanların alansal verileri.....	112
Tablo 3.23. Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi sınıfları ile heyelanların alansal verileri.....	115
Tablo 3.24. Topografik Pozisyon İndeksi sınıfları ile heyelanların alansal verileri	121
Tablo 3.25. Arazi Pürüzlülük İndeksi sınıfları ile heyelanların alansal verileri	125
Tablo 3.26. Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi sınıfları ile heyelanların alansal verileri	126
Tablo 3.27. Çalışma sahası içerisindeki istasyonlarda kayıt edilen yağış verileri (mm)	129

Tablo 3.28. Günlük 0,1 mm'nin üzerinde yağış alan günlerin aylık ortalaması.....	130
Tablo 3.29. Günlük 10 mm'nin üzerinde yağış alan günlerin aylık ortalaması.....	130
Tablo 3.30. Günlük 50 mm'nin üzerinde yağış alan günlerin aylık ortalaması.....	130
Tablo 4.1. Parametre sınıfları ile bu sınıflardaki heyelanlara ait veriler ve frekans oranı değerleri	132
Tablo 4.2. Frekans Oranı yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılığı haritasının alansal bilgileri	137
Tablo 4.3. İstatistiksel İndeks yöntemi ile elde edilen parametrelere ait W_i değerleri	138
Tablo 4.4. İstatistiksel İndeks yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılığı haritasının alansal bilgileri.....	141
Tablo 4.5. Kanıt Ağırlığı Yönteminde kullanılan veriler ile elde edilen sonuç değerleri	142
Tablo 4.6. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılığı haritasının alansal bilgileri	147
Tablo 4.7. Bağımsız değişkenlerin çoklu doğrusallık değerlendirmeleri.....	149
Tablo 4.8. Mantıksal regresyon modeli sonuçları.....	151
Tablo 4.9. Mantıksal regresyon yöntemi ile elde edilen duyarlılık haritasının alansal bilgileri	152
Tablo 4.10. Yapay sinir ağ yapıları ve doğruluk değerleri	155
Tablo 4.11. Yapay sinir ağı yöntemi ile elde edilen duyarlılık haritasının alansal bilgileri .	156
Tablo 5.1. Farklı yöntemler ile üretilen duyarlılık haritalarının AUC ve alansal değerleri .	160

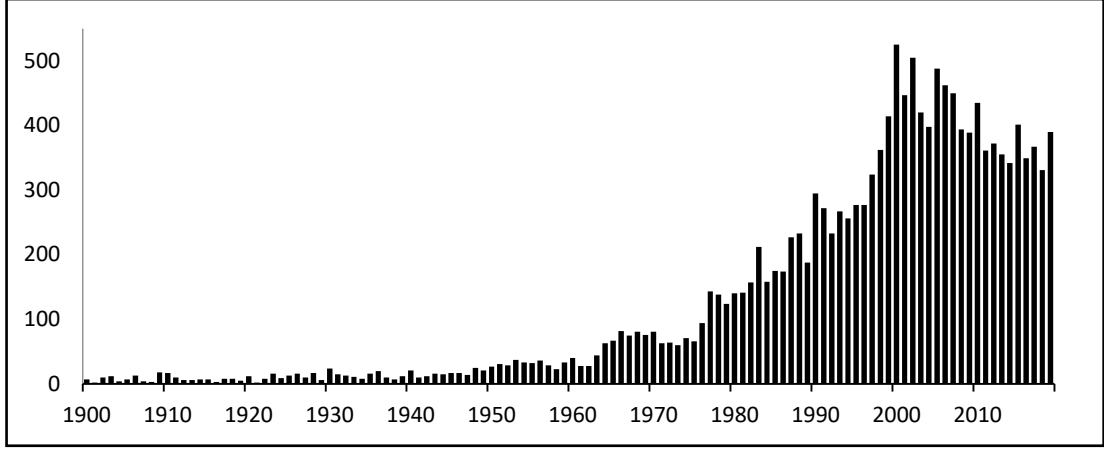
1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Konusu, Amacı ve Önemi

Yerküre sahip olduğu dinamik yapısı nedeniyle deprem, sel, heyelan gibi doğal olayların yaşandığı bir ortamdır. Bu doğal olaylar, içerisinde yaşadığımız coğrafyaya bugünkü görünümü kazandırmış ve bu görünümü değiştirmeye de devam etmektedir. Yerküredeki doğal işleyiş açısından gayet sıradan olan bu olaylar, insan yaşamına ve eserlerine zarar veren bir etki ürettiğinde ise afet olarak nitelendirilmektedir. Bu kapsamda afet, yerküredeki doğal olayların kendisi değil doğurduğu sonuçlardır.

Afet terimi, çeşitli doğa olaylarının sebep olduğu yıkımı ifade etmektedir. Farklı çalışmalar ve araştırmacılar tarafından afet farklı ifadelerle tanımlanmıştır: Bir toplumu veya çevreyi olumsuz etkileyen, aniden gelişen, doğa veya insan kaynaklı olaylara afet denir (Derin & Ercanoğlu, 2018). Afet, zararlar birlikte meydana gelen değişimlerdir (Atalay, 2013). Toplumun tamamı ya da belli kesimleri için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplara yol açan, normal hayatı ve insan faaliyetlerini durduran veya kesintiye uğratan, etkilenen toplumun baş etme kapasitesinin yeterli olmadığı doğa, teknoloji veya insan kaynaklı olaylara afet denir (AFAD, 2014). Afet zararların volkan, deprem, sel ve heyelan gibi doğal olaylardan kaynaklanması durumunda ise doğal afet olarak adlandırılır.

Dünya nüfusunun hızla artması insan ve eserlerinin daha geniş alanlara yayılmasına ve doğal olayların daha sık afet boyutu kazanmasına sebep olmaktadır. Öte yandan, artan nüfusa bağlı olarak doğal ortam üzerinde oluşan insan baskısı sel, erozyon ve heyelan gibi bazı doğa olaylarını tetiklemekte, hızlandırmakta ya da etkilerini artırmaktadır. Dünya genelinde 1900-2019 yılları arasında meydana gelen doğal afet sayıları incelendiğinde 1950'li yıllardan sonra hızlı bir artışın başladığı gözlenmektedir (EM-DAT, 2020), (Şekil 1.1). Ayrıca afetlerin kaydedilmesi ve bu verilerin saklanması yönünde imkânların artmasının da afetlerin sayısında artışa neden olduğu açıktır. Türkiye de sahip olduğu jeolojik, jeomorfolojik ve iklimsel özellikleri nedeniyle doğal afetlerin çokça yaşandığı bir ülkedir. 1900-2017 yılları arasında Türkiye'de yaşanan doğal afetlerin (deprem, sel, heyelan, çığ) toplam sayısı 31.124'tür (AFAD, 2018). Bu doğal afetler içerisinde heyelanlar önemli bir başlıktır.



Şekil 1.1. Dünya genelinde 1900-2019 yılları arasında meydana gelen doğal afet sayıları (EM-DAT, 2020).

Yerçekiminin etkisi altında kayaç, moloz ve toprak malzemelerinin veya bunların karışımının aşağı ve dışarı yönlü hareketi heyelan olarak tanımlanmaktadır (Varnes, 1958). Bir diğer çalışmada heyelan, yerin üst kısmındaki toprak, enkaz ve kaya bloklarının yer çekiminin kontrolünde aşağıya ve dışarıya doğru hareket etmesi şeklinde tanımlanmıştır (Uzun & Uzun, 2003). Heyelanlar, üzerindeki ve önündeki insan ve eserlerini tahrip ederek can ve mal kayıplarına sebep olur. Bu nedenle yeryüzünün şekillenmesinde etkili doğa olaylarından birisi olan heyelanlar, yarattığı afet boyutu bakımından da önemli bir başlıktır. Özellikle ülkemizde depremden sonra en fazla hasar verici doğal afetin heyelan olması (Gökçe vd., 2008) bu durumu ortaya koymaktadır. Dünya genelinde 2004-2016 yılları arasında kaydedilen 4.862 heyelan olayında 55.997 kişi hayatını kaybetmiştir (Froude & Petley, 2018). Türkiye’de ise 1950-2018 yılları arasında 23.041 heyelan olayı gerçekleşmiştir. Bunların önemli bir kısmı Karadeniz Bölgesi’nde ve özellikle Doğu Karadeniz Bölümü’nde meydana gelmiştir. Aynı dönemde heyelanların illere dağılımına bakıldığında, Trabzon 1517 heyelan ile ilk sırada, Rize ise 1319 heyelanla ikinci sırada yer almaktadır (AFAD, 2018). Bu çalışmada çalışma sahası olarak seçilen İyidere Havzası, Trabzon ve Rize illeri sınır sahasında yer almakta ve coğrafi özellikleri itibarıyla ülkemizde heyelanların en çok yaşandığı bölgeyi temsil edebilecek niteliktedir. Nitekim havza, heyelan haberleriyle de sık sık gündeme gelmektedir (Web 1, 2, 3, 4, 5).

Konut, işyeri, yol benzeri tesislere yer seçiminde ve yapımında alana ait heyelan bilgisi can ve mal emniyeti açısından büyük önem taşır. Bu kapsamda heyelan afetiyle mücadelede heyelanların haritalanması önemli bir aşamadır. Çünkü

Guzzetti vd. (2000)'nin belirttiği gibi haritalar, bilgiyi canlandırmak ve diğer bilim insanlarına, karar vericilere ve halka iletmek için tercih edilen bir araçtır. Bu çalışmanın ana başlığını oluşturan heyelan duyarlılığı haritaları da bu kapsamda değerlendirilebilir.

Heyelan duyarlılığı, heyelan oluşumunda etkin olan hazırlayıcı parametreler dikkate alınarak yapılan değerlendirmeler sonucunda, gelecekte heyelan meydana gelmesi muhtemel alanların göreceli olarak sınıflandırıldığı bir kavramdır (Varnes, 1984'den akt: Derin & Ercanoğlu, 2018). Yani duyarlılık, belli bir alanda heyelan oluşma olasılığıdır (Aleotti & Chowdhury, 1999). En kısa tanımlama ile duyarlılık, bir alanın heyelan üretme eğilimini ifade eder (Guzzetti vd., 2006). Böylece heyelan oluşma ihtimalinin nerelerde daha yüksek olduğu tespit edilir. Üretilen heyelan duyarlılığı haritaları insan hayatı ve beşeri yapıların korunması, gelecekteki durumlarının planlanması ve arazi yönetimi için temel bir araç olarak kullanılmaktadır (Devkota vd., 2013). Heyelana duyarlı alanların bilinmesi can ve mal güvenliği açısından önemlidir. Bu kapsamda çalışmanın amacı; İyidere Havzası'nda heyelan duyarlılığının değerlendirilmesidir. Benzer çalışmalar gerek Dünya'da (Bai vd., 2011; Conforti vd., 2012; Conoscenti vd., 2016; Devkota vd., 2013; Ermini, Catani, & Casagli, 2005; Hemasinghe vd., 2018; Lee, Choi, & Min, 2002; Mandal & Mondal, 2018; Nandi & Shakoor, 2010; Othman vd., 2018; Regmi, Giardino, & Vitek, 2010; van Westen vd., 1997; van Westen vd., 2008), gerekse Türkiye'de (Akgun, Dag, & Bulut, 2008; Arca vd., 2019; Hasekioğullari & Ercanoğlu, 2012; Kavzoglu, Şahin, & Colkesen, 2015; Nefeslioglu, Duman, & Durmaz, 2008; Ozdemir & Altural, 2013; Tekin vd., 2015) yapılmıştır ve giderek sayıları artmaktadır.

Literatür çalışmaları sırasında, İyidere Havza'sının bütününe konu alan bir heyelan duyarlılık çalışmasına rastlanmamıştır. Ancak Rize ili genelinde yapılmış çalışmalarda (Reis vd., 2009, 2012) İyidere Havzası'na da kısmen değinilmiştir. Söz konusu çalışmaların tüm il arazisini kapsamaması, bazı genelleştirmeleri zorunlu kılmıştır. Bu çalışmada, il geneline (3920 km²) göre çok daha küçük bir alan (1052 km²) ele alınmıştır. Ayrıca, çalışmada havza bütünlüğünün korunması, havza yönetim planlarına altlık oluşturması açısından da önem arz etmektedir. Nitekim benzer gerekçelerle son yıllarda aynı bölgenin farklı yerlerinde havza tabanlı çalışmalar yapılmıştır (Akgun vd., 2008; Dağ & Bulut, 2012; Karşlı vd., 2009;

Nefeslioglu & Gokceoglu, 2011; Nefeslioglu vd., 2011; Yalçın, 2007).

Bu çalışmada İyidere Havzası heyelanları ayrıntılı ve bütüncül bir bakışla ele alınmıştır. Heyelan duyarlılığını etkileyen yerel parametreler (eğim, yükselti, bakı, toprak tekstürü, litoloji, arazi kullanımı, eğim şekli, topografik nemlilik indeksi, akarsu aşındırma gücü indeksi, topografik pozisyon indeksi, arazi pürüzlülük indeksi, sediment taşıma kapasitesi indeksi, drenaj yoğunluğu, akarsulara mesafe, yollara mesafe) değerlendirilerek ilişkiler sayısal olarak ortaya koyulmuş ve heyelan oluşum mekanizmaları açıklanmaya çalışılmıştır. Havza içerisinde heyelan duyarlılık sınıfları oluşturulmuş ve bunların mekânsal dağılımları ortaya koyulmuştur.

Çalışma sahasının da bulunduğu Rize yöresi heyelanları çoğunlukla 3-5 m derinliğe sahip sığ heyelanlardır (Üyetürk vd., 2018). Bu heyelanlar genellikle aşırı yağışlar tarafından tetiklenmekte (Altun vd., 2016) ve oluşumlarında toprakların hidrolik iletkenlikleri etkili olmaktadır (Demiralay, 2010). Hidrolik iletkenlik ise toprağın bünyesine bağlıdır. Bu nedenle İyidere Havzası'nda toprağın tekstürel özelliği de duyarlılık modeline dâhil edilmiştir. Türkiye'de toprakların tekstürel özelliklerini değerlendirmeye katan çalışmalar oldukça sınırlıdır (Anonim, 2018; Canoğlu, 2017; Turan vd., 2020). Ancak uluslararası literatürde bu veri setinin çokça kullanılmış olduğu görülür (Lee vd., 2004; Nandi & Shakoor, 2010; Regmi vd., 2010). Çalışmanın bu yönü ile de ulusal literatüre katkı sağladığı düşünülmektedir.

Çalışma ile heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde kullanılan farklı niceliksel yöntemlerin kıyaslaması yapılmış; havza ölçeğinde yüksek performans ve doğruluğa sahip analiz formülü/ yöntemi de belirlenmiştir. Birçok çevresel parametre ve farklı yöntemler kullanılarak üretilen verilerden hareketle İyidere Havzası özelinde heyelan afetinin yaratacağı zararların önlenmesi hususunda önerilerde bulunulmuştur.

1.2. Problemin Tanımı ve Araştırma Soruları

Mekânın planlanmasında çok yönlü yaklaşım önemlidir. Özellikle havza planlamalarında doğal ortam özellikleri ile orada yaşayan ya da yaşaması öngörülen nüfusun ihtiyaçları önceden belirlenmelidir. Bu amaçla tarım, orman ve rekreasyon alanları; sanayi, ticaret ve yerleşim yerleri; enerji, içme suyu, atık su ve ulaşım güzergahları gibi altyapı unsurları önceden planlanmalıdır. Bunların yapılabilmesi için de deprem, su baskını ve heyelan gibi doğal afet olasılıklarının dikkate alınması

gerekir. Çalışma sahası olarak seçilen İyidere Havzası, Türkiye'nin en fazla heyelan görülen yöresinde yer almaktadır. Özellikle Doğu Karadeniz Bölümü'nde heyelanların oluşturduğu hasarın, uzun vadede depremlerden bile fazla olması (Dağ & Bulut, 2012) heyelan afetinin bölgede önemli bir problem olduğunu ortaya koymaktadır. İyidere Havzası'nda bütüncül ve akılcı bir yönetim planı oluşturabilmek için, diğer doğal afetler yanında, heyelan duyarlılığının da bilinmesi gerekir. Bu çalışma, söz konusu ihtiyaca dönük olarak yapılmıştır. Çalışma kapsamında İyidere Havzası'nın heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuş, güvenli ve az güvenli yerler belirlenmiştir. Heyelan afetinin neden olduğu can ve mal kayıplarının azaltılmasına dönük olarak önemli bir mekânsal veri seti oluşturulmuştur.

Bu çalışma hazırlanırken aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır:

- Havzadaki geçmiş heyelanlar nerelerde olmuştur?
- Havzada heyelan oluşumunu etkileyen temel parametreler nelerdir?
- Heyelanı etkileyen parametrelerle heyelanlar arasındaki istatistiksel ilişki nasıldır?
- Hangi sayısal yöntem havzadaki heyelan duyarlılığını açıklamada daha yüksek performans ve doğruluğa ulaşmıştır?
- Havzada heyelan duyarlılığının mekânsal ve oransal dağılışı nasıldır?
- Duyarlılığın yüksek olduğunu alanların mevcut kullanımı nasıldır ve hangi önlemlerin alınması önerilmektedir?

1.3. Literatür Değerlendirmesi

Literatür değerlendirmesi çalışmaları, konu ve havzayla ilişki içinde iki yönlü olarak sürdürülmüştür. Literatürde heyelan olaylarını farklı yönlerden ele alan oldukça fazla kaynak bulunmaktadır. Ancak tezin kapsamının heyelan duyarlılığı olmasından dolayı çalışma konusuyla ilgili literatür analizinde ağırlıklı olarak heyelan duyarlılığı çalışmalarının üzerinde durulmuştur. Havza ile ilgili literatür değerlendirmesinde ise heyelan başlığı altında yapılmış bütün çalışmalar irdelenmiştir.

Aşağıda önce çalışma sahası ile ilgili literatür özetlenmiş sonrasında çalışma konusu ile ilgili belli başlı yayınlar değerlendirilmiştir.

Tarhan (1991) "**Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanlarına Genel Bir Bakış**"

isimli çalışmasında 100'e yakın değişik türdeki kütle hareketlerini jeolojik ve jeoteknik açıdan incelemiştir. Heyelanların meydana geldiği zeminlerin genellikle inorganik silt ve kilden oluştuğunu belirtmiştir. Bölgede ayrılmış zonun kalınlığının 30 m'yi bulabildiğini, heyelanların çoğunun bu örtü üzerinde geliştiğini vurgulamıştır. Heyelanı meydana getiren nedenleri değerlendirdiğinde ise suyun %42, kazıların %26, ayrışmanın %26, bitki değişikliğinin %4 ve diğer nedenlerin (atık sular, kaynaklar, aşırı yük v.b.) %2 oranında etkili olduğunu belirtmiştir.

Önalp (1991), "**Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanları - Nedenleri, Analizi ve Kontrolü**" başlıklı çalışmada 1975-1985 yılları arasında Giresun-Hopa arasında yapılmış çalışmalardan hareketle bir değerlendirme yapmıştır. Yapılan gözlemlerde 90 kütle hareketinden 70'inin insanın doğrudan ya da dolaylı müdahalesiyle oluştuğu belirtilmiştir.

Uzun (1992), "**Kop Dağı Heyelanı**" isimli çalışmasında, tarihi Trabzon-Erzurum karayolunun belirli bir kesimin araştırmasını yapmıştır. Üst Miyosen yaşlı kil ve marnlar üzerinde, akarsu topuk aşındırması, eriyen kar ve yağmur sularının toprağı doymuş hale getirmesi ve vasıtaların yarattığı titreşimlerin yarattığı tetik kuvvetinin heyelanları kontrol ettiği belirtilmiştir.

Uzun ve Uzun (2003) "**Doğu Karadeniz Kıyı Kuşağındaki Dağlık Yerleşme Dokusu ve Arazi Kullanımındaki Köklü Değişmelerin Heyelan Oluşumuna Etkileri**" başlıklı çalışmalarında, 1950'li yıllardan sonra yamaçların teraslanarak çay tarımına açılması, yeni tarım ve yerleşim alanlarına yeni yolların yapılması, evlerin yakınlarındaki fosseptik çukurlarından zemine su sızması, ayrıca ormanlık alanlarda ağaçların büyümesiyle oluşan ilave ağırlıklar, ağaçların rüzgarın etkisini zemine yansıtması ve zemine su sızmasını artırması gibi nedenlerin heyelan olaylarını tetiklediği belirtilmiştir.

Demir vd. (2006) tarafından yapılan "**Rize-Pazar'da Bir Stabilité Analizi**" başlıklı çalışma da yapılan arazi ve laboratuvar incelemelerinden hareketle yerleşime açılması düşünülen 10.000 m²'lik alanda zemin stabilitesi için bir takım öneriler sunulmuştur.

Kaynak (2007) "**Uzunkaya (Rize) Heyelanının Geoteknik İncelenmesi**" başlıklı yüksek lisans tezinde Derepazarı ilçesi sınırları içerisinde kalan bir heyelan sahasında araştırma yapmıştır. Heyelanın ayrılmış volkano-sedimanter birim

içerisinde geliştiği belirtilmiştir. Laboratuvar çalışmaları ile desteklenerek sahanın güvenliği için önerilerde bulunulmuştur.

Yalçın (2007) "**Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve CBS'nin Kullanımı**" isimli makalesinde Ardeşen ilçesinde 50 km²'lik bir alanda çalışmıştır. Jeoloji, eğim, bakı, arazi örtüsü, drenaj yoğunluğu, akarsuya yakınlık ve yola yakınlık parametrelerini AHP ve Frekans oranı yöntemleri ile analiz etmiştir. Yüksek duyarlı heyelan sahalarında heyelandan etkilenebilecek nüfusun yaklaşık değerini belirlemeye çalışmıştır. Litolojik açıdan heyelanların yaklaşık %95'lik kısmının yüksek derecede ve tamamen ayrışmış kayalar içerisinde geliştiğini belirtmiştir.

Menteşe vd. (2009) "**Rize İli Genelinde Heyelan Tehlikesi Altında Bulunan Bölgelerin Kullanım Türlerinin Belirlenmesi**" başlıklı makalede Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama yöntemleri yardımıyla Rize ili genelinde heyelan tehlikesi içeren bölgeleri belirlemiş ve sınıflandırmışlardır. Şevlerin duyarlılığı ve risk analizinde sayısal yükseklik modeli, eğim durumu, kaya-stratigrafi birimlerinin durumu ve özellikleri, zemin veya toprak nem durumu parametrelerini değerlendirmeye çalışmışlardır. Çay tarımı alanlarının ve yerleşim alanlarının heyelan açısından yüksek riskli yerler olduğu belirtilmiştir.

Reis vd. (2009)'leri "**CBS ve Uzaktan Algılama Teknikleri ile Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretimi: Rize İli Örneği**" başlıklı makalede 7 parametre (jeoloji, eğim, bakı, yükseklik, arazi örtüsü, akarsuya yakınlık, yola yakınlık) ve AHP ile Frekans Oranı yöntemlerini kullanarak heyelan duyarlılığı değerlendirmesi yapmışlardır. Frekans oranı ile yapılan analizin %73, AHP ile yapılan analizin ise %70 doğruluğına sahip olduğu saptanmıştır. Andezit ve piroklastlardan oluşan birimlerin heyelan oranının en yüksek olduğu alanlar olduğu ortaya koyulmuştur.

Menteşe (2009) "**CBS Ortamında Gerçeğe Yakın Zamanlı Heyelan Tahmini-Rize Örneği**" isimli yüksek lisans tezinde bir erken uyarı sistemi geliştirmeye çalışmıştır. RABIS isimli bir proje kapsamında yapılan çalışmada 224 adet yerleşim biriminin heyelan potansiyeli yüksek sahalarda bulunduğu tespit edilmiştir. Benzer bir çalışma Akçalı vd.(2016) tarafından "**Doğu Karadeniz Havzası Taşkın İhbar Sistemi ile Heyelan Erken Uyarı Sisteminin Entegrasyonu**" başlığıyla tebliğ edilmiştir. Bu çalışmada heyelanların vadilerin içerisinde engeller oluşturarak akarsuyun önünü tıkaması ve daha sonra bu setlerin

yıkılması ile oluşan taşkınlar irdelenmiştir. Geçmiş heyelan bilgileri ve öncesinde gerçekleşen yağış verilerinden hareketle heyelan risk durumu belirlenmesi gerekliliği vurgulanmıştır (Akçalı vd., 2016).

Nefeslioğlu ve Gökçeoğlu (2011) "**Probabilistic Risk Assessment in Medium Scale for Rainfall-induced earthflows: Catakli Catchment Area (Çayeli, Rize, Turkey)**" başlıklı çalışmalarında yükseklik, eğim, profil şev eğriliği, plan şev eğriliği, topografik nemlilik indeksi, akış gücü indeksi, sediment taşıma kapasitesi indeksi, drenaja olan mesafe, drenaj yoğunluğu, yollara olan mesafe, yol yoğunluğu, bina yoğunluğu ve NDVI parametrelerini kullanmışlardır. Mekansal değerlendirmede Lojistik Regresyon, zamansal değerlendirmede ise Gumbel olasılık dağılımı modelinden yararlanılmıştır. Hareketlerin yoğunluklarının kalıntı tabakalarının kalınlığı ve malzeme özellikleri tarafından kontrol edildiği açıklanmıştır. Toprak kayması eğiliminin drenaj yoğunluğunun yüksek ve drenaja yakın yerlerde yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmanın benzeri Büyükköy havzasına da (Çayeli, Rize) uygulanmıştır (Nefeslioglu, Gokceoglu, Sonmez, & Gorum, 2011).

Dağ ve Bulut (2012) "**Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye)**" başlıklı makalesinde 2002 yılı temmuz ayındaki sağanak yağış sonucunda meydana gelmiş olan heyelanları incelemişlerdir. Bu inceleme kapsamında heyelan duyarlılık analizi yapılmış ve 6 parametre (Litoloji-ayırışma, eğim, eğim yönü, yükseklik, arazi örtüsü ve akarsuya yakınlıktır) kullanılmıştır. Litolojik olarak tamamen ayrılmış ve kalıntı zemin özelliğindeki alanlarda daha fazla heyelan olayının gerçekleştiği belirtilmiştir. Ayrıca kuzeye bakan yamaçların ve 0-200 m yükselti sınıfının çay tarımına bağlı olarak daha fazla heyelan alanına sahip olduğu da belirtilmiştir.

Tarhan vd. (2015) "**Doğu Karadeniz Kıyı Şeridi Potansiyel Heyelan Alanlarının Çağdaş Değerlendirme Yöntemleriyle İncelenmesi**" isimli çalışmalarında, özellikle bazik karakterli volkanik birimlerin ayrışması ile oluşan regolitik zeminlerin kalınlığının birkaç metreden 20 metreye kadar değiştiğini ve ayrışma derinliğinin 5 metreden fazla olduğu yerlerde heyelanların yoğunlaştığını gözlemlemişlerdir.

Uzun vd. (2016) "**Yeniköy Heyelanı, Perşembe/ Ordu**" isimli çalışmalarında, 19 Ağustos 2011 tarihinde meydana gelmiş heyelan olayını

incelemişlerdir. Üst Kretase yaşlı volkano-tortul kayaçların üzerinde, altere olmuş bazaltik aglomeralardan oluşan 4-5 metre kalınlığındaki enkaz örtüsünün hareketi ile oluşan heyelanın gelişiminde; fliş tabakalarının yüzeyi, arazi kullanımı (tarla, fındık bahçesi), evsel atık sularının araziye bırakılması ve yörenin yağış özelliklerinin etkili olduğu vurgulanmıştır. Konut inşası için yer seçimi, evsel atık suların bertarafı gibi hususlarda önerilerde bulunulmuştur.

Altun vd. (2016) "**Doğu Karadeniz Bölgesinde Meydana Gelen Güncel Heyelanlar ve Olası Çözüm Önerileri**" başlıklı çalışmalarında Çaykara-Taşhanpazarı, Maçka-Esiroğlu ve Giresun-Yağlıdere heyelanlarını incelemişlerdir. Saha ve laboratuvar aşamalarından oluşan çalışmanın sonucunda, fındık ve çay tarımının toprakları heyelanlara karşı korumak konusunda ormanlar kadar etkili olmadığını belirtmişler ve derin kök geliştiren orman ağaçları ile ağaçlandırma yapılması gerekliliğini vurgulamışlardır.

Bilgili (2016) "**Rize İlinde Tarım Arazilerinde Heyelan Problemleri ve Yapılan Çalışmalar**" başlıklı çalışmada, çay bitkisinin köklerinin yamaçların dengesini koruyamadığını ve çay plantasyonunun artmasıyla birlikte can ve mal kaybına neden olan sel-heyelan olaylarının arttığını vurgulamıştır.

Akçalı vd. (2016) "**Doğu Karadeniz Bölgesinde Lokal Heyelanların Taşkına Olan Etkisini Azaltma Çalışması; Geçirgen Bentler**" isimli çalışmada, bölgede meydana gelen lokal heyelanların; iklim şartları, topografya ve çarpık kentleşmeden sonra taşkın oluşumu üzerinde en etkili faktör olduğunu belirtmişlerdir. Bu etkinin azaltılması için akarsulara geçirgen bent inşası önerisinde bulunmuşlardır.

Atalay (2016) "**Karadeniz Bölgesinde Sel ve Kütle Hareketleri**" başlıklı çalışmasında topografya, iklim özellikleri, jeolojik yapı ve toprak ile insan etkisi faktörlerini ayrı başlıklar halinde teorik olarak değerlendirmiştir. Diğer çalışmaların aksine çay bahçelerinin kurulduğu sahalarda sel ve kütle hareketlerinin payının çok düşük olduğunu belirtmiştir.

Kaya vd. (2018) "**Gündoğan (Ardeşen-Rize) Köyü Yerleşim Alanındaki Yamaç Duraysızlığının Jeoteknik Açından İncelenmesi**" isimli makalelerinde 2.24 hektarlık bir paleo-heyelan sahasında çalışma yapmışlardır. 3 hat boyunca toplam 150 m derinliğinde 6 sondaj kuyusundan alınan veriler ile yapılan laboratuvar

analizleri ve arazi çalışmalarından yola çıkarak Gündoğan köyü yerleşim alanındaki yamaç molozunun duraysız olduğu ve heyelan potansiyeli taşıdığı belirtilmiştir.

Doğu Karadeniz Bölümü'nde en önemli heyelan tetikleyici faktörün yağış olmasından dolayı heyelan-yağış ilişkisi ile ilgili yapılmış çalışmalar bulunmaktadır.

Reis vd. (2008) yaptıkları "**Rize Bölgesinde Yağış Heyelan İlişkisi**" isimli çalışmada 1995, 1996, 2001, 2002 ve 2005 yıllarının Rize'de meteorolojik ve hidrolojik olayların yoğun olarak yaşandığı yıllar olduğu belirtilmiştir. Bu yıllarda meydana gelen sellerin, 60 ile 150 mm/gün yağış değerleri arasında gerçekleştiği saptanmıştır. Heyelanlardan en çok etkilenen ilçelerin Ardeşen, Çamlıhemşin, Çayeli, Merkez ve Pazar olduğunu, Rize genelindeki 347 köyden 237'sinin heyelan olaylarından etkilendiğini saptamışlardır.

Baltacı (2010)'nın yaptığı "**Doğu Karadeniz Bölgesi (Rize, Trabzon, Giresun) Heyelan-Yağış İlişkisinin İncelenmesi ve Minimum Eşik Değerlerinin Belirlenmesi**" başlıklı çalışma da Rize'de heyelanların haziran sonu ile kasım ayları arasında, özellikle de temmuz ve eylül aylarında sıklığı belirtilmiştir.

Filiz vd. (2011)'lerinin "**Heyelanların Yerleşim Alanlarına Etkilerinin İncelenmesi**" isimli makalesinde Rize'de meydana gelen heyelanların %77'sinin şiddetli yağışlardan sonra oluştuğunu, Rize'deki köylerin %68'inin ise heyelan olaylarına maruz kaldığını belirtmişlerdir.

Üyetürk vd. (2018) "**Rize İlinde Yağışlarla Tetiklenen Heyelanların Malzeme Özellikleri**" başlıklı bildiri de 8 heyelan olayını irdelemişlerdir. Bu heyelanların derinliklerinin 3-5 m'lik tipik sığ heyelan karakterinde olduğu belirtilmiştir. Yamaçlardaki zeminlerin yağmurdan önce suya doymun olmayan durumda olup, negatif boşluk suyu basıncının yüksek kayma mukavemetine sahip olduğu, yağıştan sonra ise boşluk suyu basıncının artması ve kayma mukavemetinin azalmasıyla heyelan olaylarının gerçekleştiği açıklanmıştır.

Reis vd. (2009) heyelanların yalnızca meteorolojik nedenlerle gerçekleşmediği gerekçesine bağlı olarak "**Deprem ve Patlamaların Rize Bölgesi Heyelanlarına Etkisi**" başlıklı bir çalışma yapmışlardır. Rize'de 1964-2006 yılları arasındaki heyelanlarda deprem ve patlatmanın bir etkisinin olup olmadığını irdelemişler. Sonuç olarak dördüncü derece deprem kuşağında bulunan Rize'de deprem ile heyelan arasında bir ilişki tespit edememişlerdir. Patlatmaların ise bazı

ilçelerde etkili olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmadakine benzer araştırma yöntemlerinin kullanıldığı birçok eser literatürde bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları:

Collison vd. (2000) "**Modelling The Impact of Predicted Climate Change on Landslide Frequency and Magnitude in SE England**" başlıklı hidroloji ve stabilite modelleri kullandıkları çalışmalarında güneydoğu İngiltere'de iklim değişikliği senaryolarına göre yağışlarda yaşanacak artışların, evapotranspirasyondaki artışlarla eşleşeceğini ve büyük heyelanların sıklığının değişmeyeceğini vurgulamaktadır.

Van Westen vd. (2003) İtalya'nın Alpago bölgesinde yaptıkları "**Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment**" başlıklı çalışmada litoloji, yapısal jeoloji, yüzeysel materyal, eğim sınıfı, arazi kullanımı, akarsulara-yollara-evlere olan mesafe değişkenlerinin yanı sıra jeomorfolojik girdilerin de hesaba katıldığı bir değerlendirme yapmıştır. Jeomorfoloji haritasının kullanılmasının üretilecek olan heyelan duyarlılığı haritasının genel doğruluğunu artırdığı vurgulanmıştır.

Dixon ve Brook (2007) tarafından yapılan "**Impact of Predicted Climate Change on Landslide Reactivation: Case Study of Mam Tor, UK**" başlıklı makalede aktif bir heyelan sahasında, iklim değişimi ile meydana gelebilecek farklılıklar değerlendirilmiştir. Sonuçta; artan mevsimsellik ve özellikle kış mevsiminde yaşanacak yağış değişkenliğinin zemin stabilitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olacağı belirtilmiştir.

Nandi ve Shakoore (2010) "**A GIS-based Landslide Susceptibility Evaluation Using Bivariate and Multivariate Statistical Analyses**" başlıklı çalışmalarında eğim, toprak türü, toprak aşınabilirliği, toprak likidite indeksi, arazi örtüsü, yağış ve akarsulara yakınlık parametrelerini iki ve çok değişkenli yöntemler ile değerlendirmiştir. Çok değişkenli yöntemlerden lojistik regresyonun daha iyi sonuçlar verdiğini saptamıştır. Eğim, akarsuya yakınlık, toprak aşınabilirliği ve toprak tekstürünün sahada heyelanı kontrol eden en önemli parametreler olduğunu belirtmiştir.

Guzetti vd. (2012) "**Landslide Inventory Maps: New Tools For an Old Problem**" başlıklı makalede heyelan envanter verisi üretiminde geçmişten günümüze

yaşanan değişimi ve teknikleri değerlendirmiştir. Uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve yersel uzaktan algılama araçlarının birlikte kullanımının kütle hareketlerinin yorumlanmasını kolaylaştıracağı ve envanter kalitesini artıracığı vurgulanmıştır.

Devkota vd. (2013) "**Landslide Susceptibility Mapping Using Certainty Factor, Index of Entropy and Logistic Regression Models in GIS and Their Comparison at Mugling-Narayanghat Road Section in Nepal Himalaya**" başlıklı çalışmalarında eğim, yükseklik, plan eğriliği, litoloji, arazi kullanımı, faylara-akarsulara-yollara mesafe, topografik nemlilik indeksi, akarsu gücü indeksi, sediment taşınım indeksi parametrelerini iki ve çok değişkenli yöntemler kullanarak analiz etmişlerdir. Litolojinin heyelan üzerinde en yüksek etkiye sahip olduğunu ve onu yükseklik, bakı, eğim ve arazi kullanımı parametrelerinin takip ettiğini belirtmişlerdir.

Promper vd. (2014) "**Analysis of Land Cover Changes in The Past and The Future as Contribution to Landslide Risk Scenarios**" isimli yayınlarında 1962'den 2100'e kadar olan arazi kullanımı değişimini modellemişlerdir. Yeni yapı alanlarının ortaya çıkışı ile potansiyel heyelan risk alanlarının da arttığı vurgulanmıştır.

Reichenbach vd. (2014) "**The Influence of Land Use Change on Landslide Susceptibility Zonation: The Briga Catchment Test Site (Messina, Italy)**" isimli yayınlarında 1954 ve 2009 yıllarındaki arazi kullanımı ile heyelan duyarlılığının mekânsal dağılışı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çıplak yüzeylerin, ormanlık alanların zararına olacak şekilde genişlemesinin duyarlılığı artırdığı belirtilmiştir.

Guo vd. (2015) "**Quantitative assessment of landslide susceptibility along the Xianshuihe fault zone, Tibetan Plateau, China**" isimli çalışmalarında 11 parametre (eğim, bakı, yükseklik, plan eğriliği, topografik nemlilik indeksi, aktif faylara uzaklık, litoloji, yıllık yağış) ile yaptıkları değerlendirmede sahadaki heyelanları çoğunlukla depremlerin tetiklediğini belirtmişlerdir.

Kim vd. (2015) "**Evaluating Landslide Hazards Using RCP 4.5 and 8.5 scenarios**" isimli makalelerinde Gangwodo'da (Güney Kore), farklı iklim değişikliği senaryoları ile heyelan tehlikesindeki değişimi incelemişlerdir. Günlük maksimum yağış 200-250 mm arasında olduğunda, 120 mm'nin üzerinde 2 gün ve üzeri yağış gerçekleştiğinde ya da 5 günlük toplam yağış 500 mm'yi aştığında heyelan oluşma olasılığının arttığını belirtmişlerdir.

Ciabatta vd. (2016) “**Assessing The Impact of Climate-change Scenarios on Landslide Occurance in Umbria Region, Italy**” başlıklı makalelerinde iklim değişikliği senaryolarına bağlı olarak heyelan olaylarının meydana gelmesinde artış olacağını belirtmektedirler. Mevsimsel olarak yaptıkları değerlendirmede; sıcak-kurak dönemde, toprak nemindeki kuvvetli düşüş nedeniyle yağış yoğunluğunda ciddi bir artış olduğunda bile toprak kayması oluşumunun değişmediği tespit edilmiştir. Soğuk-yağışlı mevsimde ise yağış yoğunluğundaki önemli artışlar toprak nemi ile birleşerek heyelan olaylarının sayısını artırmaktadır.

Lee (2016) “**Rainfall and Landslide Correlation Analysis and Prediction of Future Rainfall Base on Climate Change**” adlı çalışmasında Güney Kore’de yağış miktarı ile heyelan olayının gerçekleşmesi arasında ilişkiyi niceliksel olarak analiz etmiştir. Günlük yağış 164,5 mm’yi geçtiğinde ve 3 gün süren yağışlarda heyelan oluşma riskin yükseldiğini belirtmiştir. Yağış miktarlarında yaşanabilecek değişim ile heyelanların oluşumlarının da değişeceğini vurgulamıştır.

Pradhan vd. (2016) “**Mapping Climate Change, Landslide Hazards and Vulnerability: A Case Study from Seoul, South Korea**” isimli çalışmalarında farklı yağış projeksiyonları kullanarak gelecekteki heyelan hassasiyetinin artacağını belirtmişlerdir.

Zhang vd. (2016) “**Integration of The Statistical Index Method and The Analytic Hierarchy Process Technique For The Assessment of Landslide Susceptibility in Huizhou, China**” başlıklı çalışmalarında, 8 parametre (yükseklik, eğim, bakı, litoloji, arazi örtüsü, faylara mesafe, yollara mesafe, akarsuya mesafe, yağış) ile heyelan duyarlılığı değerlendirmesi yapmışlardır. İstatistiksel İndeks ve AHP yöntemi kullandıkları çalışmada; yerleşmeler, seyrek orman örtüsü, klastik kayalar ve 0-200 m yükselti aralığının (Çalışma sahasının yükseltisi 0 m ile 1277 m arasındadır.) en duyarlı alanlar olduğu belirlenmiştir. Bu alanlarda heyelan duyarlılığının yüksek çıkmasında ise yol ve yerleşmeler ile oluşan insan etkisinin çok önemli bir rol oynadığı vurgulanmıştır.

Adition vd. (2018) “**Comparison of GIS-based Landslide Susceptibility Models Using Frequency Ratio, Logistic Regression and Artificial Neural Network in a Tertiary Region of Ambon, Indonesia**” isimli çalışmalarında farklı istatistiksel yöntemler kullanarak yükselti, eğim, bakı, akarsuya yakınlık, litoloji, jeolojik sınırların yoğunluğu, faylara yakınlık ve yollara yakınlık parametrelerinin

heyelan üzerindeki etkisini irdelemişlerdir. Yapay sinir ağları yönteminin her bir faktör ile heyelan arasındaki ilişkiyi açıklamada daha üstün olduğunu belirtmişlerdir.

Othman vd. (2018) "**Improving Landslide Susceptibility Mapping Using Morphometric Features in The Mawat Area, Kurdistan Region, NE Iraq: Comparison of Different Statistical Models**" başlıklı heyelan duyarlılığı çalışmalarında 16 parametre (Litoloji, arazi örtüsü, eğim gradyanı, eğim yönü, eğrilik, plan eğriliği, profil eğriliği, hipsometrik integral, yükseklik, drenaj yoğunluğu, drenaja mesafe, çizgiselliklere olan uzaklık, yağış, NDVI, topografik pozisyon indeksi, topografik nemlilik indeksi.) üzerinden değerlendirme yapmışlardır. Sonuçta heyelan duyarlılığı çalışmalarında morfometrik parametrelerin kullanımının artırılması gerektiği vurgulanmıştır. Özellikle hipsometrik integralin duyarlılık haritasının öngörüsünü arttırdığı belirtilmiştir. Sahada ise litoloji ve eğim yönünün oluşabilecek heyelan alanlarının belirlenmesinde en baskın faktörler olduğu yazılmıştır.

Kadirhodjaev vd. (2018) "**Analysis of The Relationships Between Topographic Factors and Landslide Occurrence and Their Application to Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study of Mingchukur, Uzbekistan**" isimli çalışmasında, duyarlılık konusundaki çalışmalardan farklı olarak topografik ve jeolojik parametrelerin yanı sıra havza alanı, akış yolu uzunluğu ve LS faktör gibi hidrolojik parametreleri de kullanmıştır. Topografyanın erozyon üzerindeki etkisini ortaya koyan LS faktörünün yüksek olduğu yerlerde heyelan duyarlılığının da yüksek çıktığı belirtilmiştir.

Hürlimann vd. (2019) "**Will Future Land Cover Changes Decrease The Landslide Susceptibility in High Mountain Areas? Inventory and Modelling Results from Val d'Aran Pyrenees**" başlıklı bildirimlerinde arazi kullanımı değişiminin İspanya Katalan Pireneleri'ndeki heyelan duyarlılığı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. 2097 yılına kadar modellenen arazi kullanımına bağlı olarak yüksek duyarlılık alanlarının azalacağı, düşük duyarlılık alanlarının artacağı saptanmıştır.

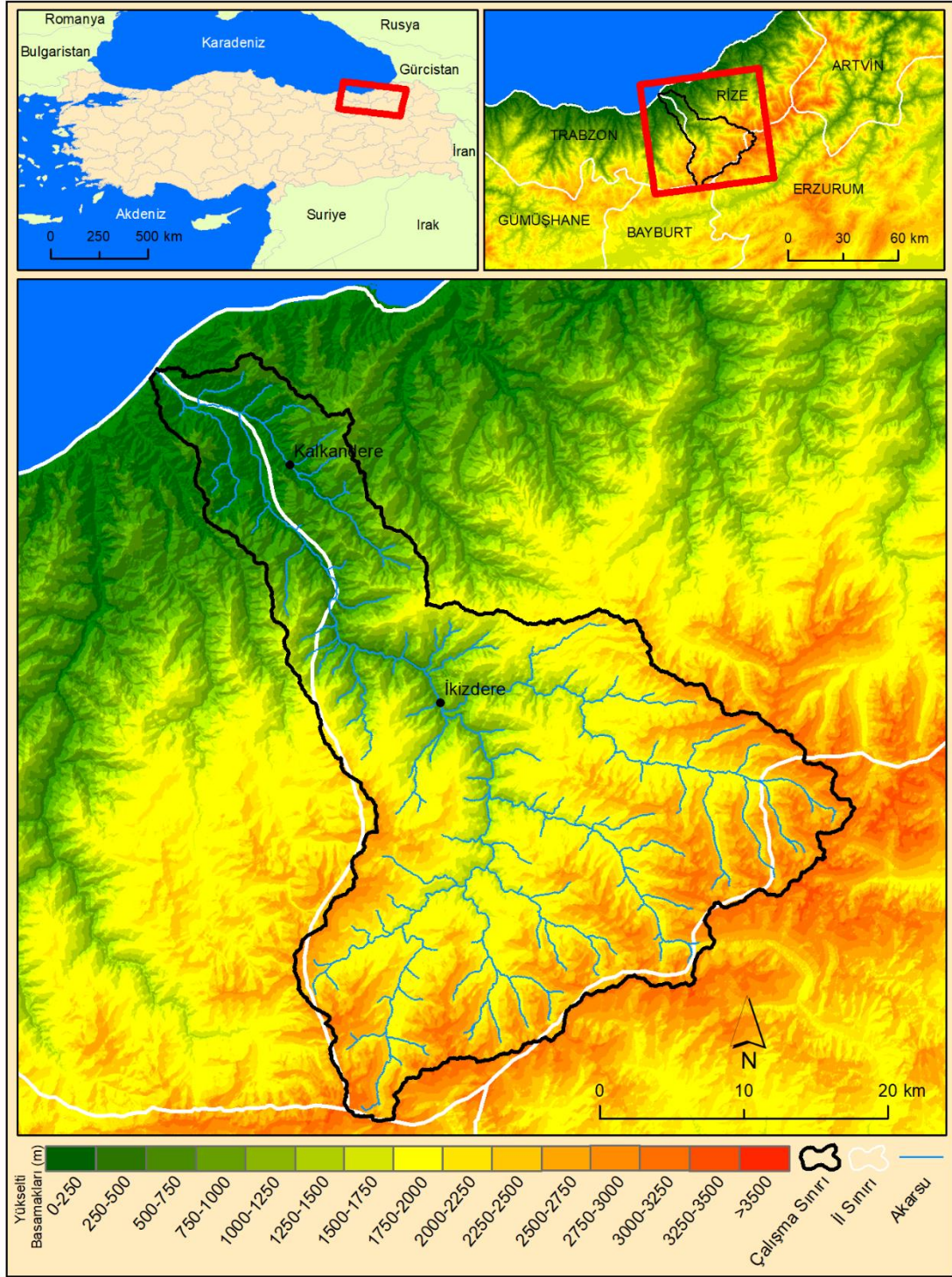
Turan vd. (2020) "**Landslide susceptibility mapping for the Black Sea Region with spatial fuzzy multi-criteria decision analysis under semi-humid and humid terrestrial ecosystems**" başlıklı çalışmalarında Karadeniz'in güney sahili boyunca yarı nemli ve nemli karasal ekosistemleri kapsayan bir heyelan duyarlılık modele geliştirmişlerdir. Çok kriterli değerlendirmenin yapıldığı çalışmada bulanık

AHP yöntemi kullanılarak 27 çevresel bileşenin ağırlıkları hesaplanmıştır. Duyarlılık üzerinde en etkin parametreler olarak eğim ve bakı puanlanmıştır. Çalışma alanının ağırlıklı olarak doğusu olmak üzere %11,4'ü heyelana yüksek seviyede duyarlı tespit edilmiştir.

Heyelan duyarlılığıyla ilgili literatür değerlendirildiğinde çalışmalarda farklı istatistiksel yöntemlerin ve parametrelerin kullanıldığı görülmektedir. Hangi yöntemin duyarlılığı daha iyi hesapladığı ile ilgili bir fikir birliği yoktur. Aynı şekilde hangi parametrelerin duyarlılık üzerinde ne kadar etkili olduğuyla ilgili de kesin bir yargı da bulunmamaktadır. Çalışmaların yapıldığı sahaların yerel çevresel koşullarına bağlı olarak parametrelerin duyarlılık üzerindeki etki dereceleri değişmektedir. Literatürden elde edilen bu bilgiler doğrultusunda doktora tez çalışmasında 5 farklı yöntem ve 16 parametre ile İyidere Havzası'nda heyelan duyarlılığının değerlendirilmesine karar verilmiştir.

1.4. Çalışma Sahasının Yeri ve Sınırları

Çalışma sahası olarak İyidere Havzası seçilmiştir. Havza, Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü'nde ve Soğanlı Dağlarının kuzey aklanında yer almaktadır. Havzanın büyük bölümü Rize ili sınırları içinde, kuzeybatıdaki sınırlı bir alan ise Trabzon ili içinde kalmaktadır. Havzanın güneydoğusunda küçük bir alan da su bölümü çizgisi ile il idari sınırlarının tam örtüşmemesinden dolayı Erzurum ili sınırları içerisinde kalmaktadır. (Şekil 1.2). Çalışma alanı batıdan Semerdağ Deresi Havzası, doğudan Taşlıdere Havzası ve güneyden ise Çoruh Havzası'nın su bölümü çizgileri sınırlandırmıştır. Havza, Rize'nin İyidere, Kalkandere ve İkizdere ilçeleri ile Trabzon'un Of ve Hayrat ilçelerine ait araziler üzerinde yer alır. Havza KD-GB yönünde taban genişliği yaklaşık 40 km ve KB-GD yönünde 57 km olan ikizkenar bir üçgene benzemektedir. Havza 40°35'18''K ve 40°59'23''K enlemleri ile 40°26'30''D ve 40°53'11''D boylamları arasında yer almaktadır (Şekil 1.3; 1.4; 1.5 ;1.6). Havzanın yüzölçümü yaklaşık 1052 km²'dir.



Şekil 1.2. Çalışma alanının lokasyon haritası



Şekil 1.3. İyidere akarsuyunun denize ulaştığı, havzanın en kuzey sınırı



Şekil 1.4. Cimil vadisi (İyidere Havzası'nın güneydoğusu)



Şekil 1.5. Garzavan Vadisi (İyidere Havzası'nın güneybatısı)



Şekil 1.6. İyidere Havzası'na ait panoramik bir görüntü (Yumurtatepe mevkiinden güneye bakış)

2. YÖNTEMLER VE MALZEME

İyidere Havzası'nda heyelan duyarlılığının değerlendirildiği bu tez çalışmasında belirlenen kapsam ve hedefler doğrultusunda, yöntemsel anlamda tez beş ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; heyelan envanterinin hazırlanması, parametrelerin belirlenmesi ve bunlara ait haritaların hazırlanması, parametreler ile heyelanlar arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi, heyelan duyarlılık analizleri ve duyarlılık haritalarının doğruluklarının değerlendirilmesidir. Bu doğrultuda tezin iş akışı Şekil 2.1'de verilmiştir. İkinci bölüm içerisinde kullanılan veri kaynakları, yazılımlar, araçlar ve paketler belirtilmiştir.

2.1. Heyelan Envanterinin Hazırlanması

Heyelan envanteri: Bir bölgedeki heyelanların konumu, türü, hacmi, faaliyeti, oluşum tarihi ve diğer karakteristiklerinin envanteridir (Fell vd., 2008). Daha farklı bir tanımlama ile heyelan envanteri; çalışmanın amacına göre heyelan tipi, zamanı, alanı gibi farklı bilgilerin kaydedildiği veri setine denilmektedir. Güncel ve geçmişte meydana gelmiş olan heyelanlara ait mekânsal verinin toplanması, heyelan duyarlılığı çalışmalarının en önemli parçasını oluşturmaktadır. Herhangi bir envanter verisine başvurulmadan yapılacak heyelan duyarlılığı çalışmaları daha çok uzman görüşünü yansıtacaktır. Bu nedenle envanter verisinin kullanılması, çalışmanın objektifliğini desteklemek açısından oldukça mantıklıdır. Nitekim, Reichenbach vd. (2018) heyelan duyarlılığıyla ilgili literatürü değerlendirdikleri yayınlarında, çalışmaların %98'inde heyelan envanter verisinin kullanıldığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde, bu tez çalışması kapsamında da öncelikle heyelan envanter verisi üretilmiştir.

Heyelan envanter verisinin oluşturulması, geçmiş heyelan olaylarının haritalanması demektir. Heyelan haritalama tekniği 6 sınıfa ayrılmaktadır (Reichenbach vd., 2018). Bunlar; hava fotoğraflarının görsel yorumlanması, optik uydu görüntülerinin yorumlanması, arazi haritalama, yüksek çözünürlüklü dijital yükseklik modellerinin yorumlanması, uzaktan algılama ile otomatik ya da yarı-otomatik haritalama ve arşiv araştırmasıdır.

Heyelan envanterinin oluşturulmasında birden fazla heyelan haritalama tekniği bir arada kullanılabilir. Örneğin; hava fotoğraflarının görsel yorumlanması ile elde edilen heyelan envanter haritasında arazi kontrolleri de yardımcı olabilir. Birden çok yöntemin kullanılması elde edilen verinin doğruluğunu artırmanın yanında daha fazla envanter verisine ulaşmayı da mümkün kılar. Üretilen envanterin doğruluğu üzerinde Guzzetti vd. (2012) birçok faktörün etkili olduğunu belirtmişlerdir. Bunlar; hava fotoğrafının ölçek, tarih, kalite ya da özellikleri (yer örnekleme mesafesi, radyometrik çözünürlük, bulutluluk v.b); heyelan bilgisini göstermek için kullanılan altlık haritanın kalitesi, ölçeği ve tipi; görüntüleri analiz etmek ve değerlendirmek için kullanılan araçlar; değerlendiricinin yetenek ve deneyimleridir.

Heyelan envanterinin haritalanmasında önemli hususlardan birisi de ölçektir. Heyelan çalışmalarında kullanılan ölçekler konusunda bir standart olmamakla birlikte, farklı kurum ve araştırmacılar tarafından değerlendirmeler yapılmıştır (Cascini, 2008; Fell vd., 2008; Guzzetti vd., 2012; IAEG, 1976; Soeters & Van Westen, 1996). Bu kapsamda tez çalışmanın amacı ve veri kaynakları göz önünde bulundurularak orta ölçekli bir haritalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Orta ölçekli haritalar 1/25.000 ile 1/100.000'lik detayda, genel olarak 1.000 km² – 10.000 km²'lik alanı kapsayan çalışmalarda tercih edilmektedir (Fell vd., 2008). Orta ölçekli heyelan envanter haritaları genellikle hava fotoğraflarının yorumlanması ve saha gözlemleri ile oluşturulmaktadır (Guzzetti vd., 2012). Bu ölçekteki değerlendirme istatistiksel yöntemlerin kullanımı açısından da en uygun olanıdır (van Westen vd., 2006). Çalışma kapsamında üretilen envanter verisinin temel kaynağını da hava fotoğraflarından üretilen ortofotolar ve saha gözlemleri oluşturmaktadır. Ayrıca çalışma kapsamında duyarlılık istatistiksel yöntemler yardımıyla belirlenmiştir.

Heyelanların oluşumunda yerel jeomorfoloji, hidroloji, jeoloji süreçleri; bu süreçlere etki eden jeodinamik prosesler, vejetasyon, arazi kullanımı ile yağış ve sismik hareketler gibi tetikleyici faktörler etkilidir (Soeters & Van Westen, 1996). Bu faktörler heyelan tiplerinin farklılaşmasına da neden olmaktadır (Lee & Jones, 2004). Envanter çalışmalarında kayıt edilen bilgilerden birisi olan heyelan tipleri; hareket türü, malzeme türü, hareket hızı gibi parametreler kullanılarak sınıflandırılmaktadır. Bunlar içerisinde en çok kabul göreni Varnes (1978; 1958) tarafından yapılan, heyelanların hareket ve malzeme türüne göre sınıflandırılmış

olanıdır. Bu sınıflandırma daha sonra aktivite türü gibi yeni bilgilerle Cruden ve Varnes (1996) tarafından güncellenmiştir. Bunların dışında heyelanların farklı özelliklerini dikkate alarak yapılmış sınıflandırmalar da mevcuttur (Hungry vd., 2014; WP/WLI, 1993, 1995). Çalışma kapsamında İyidere Havzası'nda belirlenen heyelanlar Varnes (1978) tarafından belirlenen sınıflandırma doğrultusunda hareket ve malzeme türü (Tablo 2.1) göz önünde bulundurularak envantere kayıt edilmiştir. Bu heyelan türlerinin şematik gösterimi ise Şekil 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Heyelanların sınıflandırılması (Varnes, 1978).

Hareket Türü		Malzeme Türü		
		Kaya	Toprak	
			İri Taneli	İnce Taneli
Düşme		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Toprak Düşmesi
Devrilme		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Devrilmesi
Kayma	Dönel	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Toprak Kayması
	Düzlemsel			
Yayılma		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Toprak Yayılması
Akma		Kaya Akması	Moloz Akması	Toprak Akması
		Derin Krip	Krip	
Karmaşık		2 veya daha fazla hareket türünün birlikte gözlemlendiği heyelanlar		

Heyelan sınıfları ile ilgili açıklamalar USGS (2004) ve Varnes (1958) aktarılmıştır:

Düşme: Dik yamaçlardan veya kayalıklardan kopan kütlelerin ani hareketidir. Kütlelerin ayrılması süresizlikler boyunca meydana gelir ve hareket serbest düşme, sıçrama ve yuvarlanma şeklinde gerçekleşir. Düşmeler yerçekimi, mekanik ayrışma ve çatlaklar arasındaki su varlığından etkilenir.

Devrilme: Kütlelerin, yer çekimi veya bitişik birimler tarafından uygulanan kuvvetler doğrultusunda bir dönme noktası etrafında hareketi ile gerçekleşen heyelanlardır.

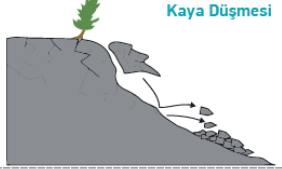
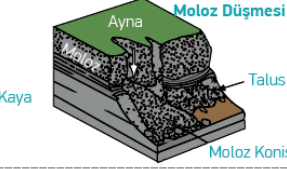
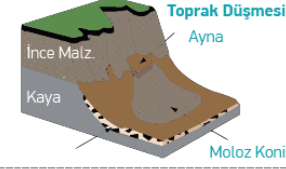
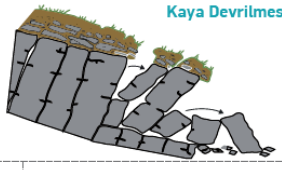
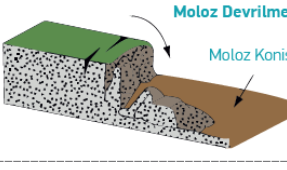
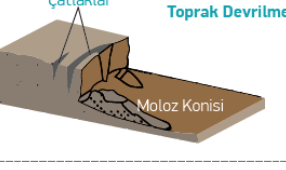
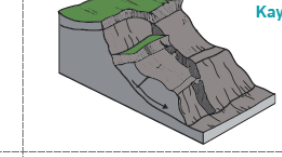
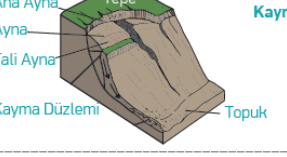
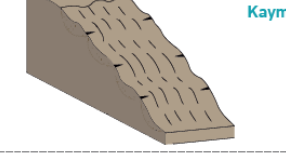
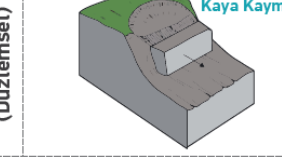
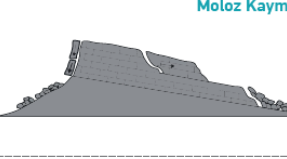
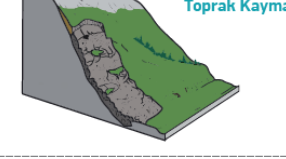
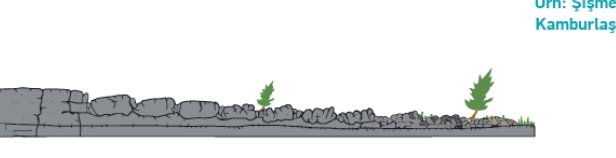
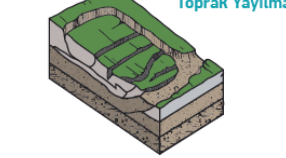
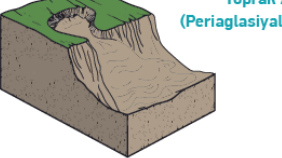
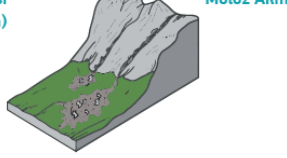

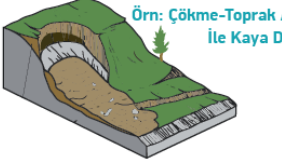

Kayma: Hareket eden kütle, kararlı olan ve altta yatan malzemeden ayıran belirgin bir zayıflık yüzeyinin olduğu heyelanlardır. İki ana türü bulunmaktadır. (a) Dönel kayma: Kırılma yüzeyinin iç bükey olarak yukarı doğru kıvrıldığı hareket türüdür. (b) Ötelemeli (düzlemsel) kayma: Heyelan kütlesi kabaca düzlemsel bir yüzey boyunca hareket eder.

Yanal yayılma: Düşük eğimli veya düz arazilerde meydana gelirler. Kesme ya da gerilme kırılmalarının eşlik ettiği yanal genişleme söz konusudur. Hareket doymuş, gevşek ve kohezyonsuz çöktillerin (genellikle kumlar ve siltler) sıvılaşmasından kaynaklanmaktadır. Genellikle deprem sırasında gerçekleşen titreşimlerle tetiklenebileceği gibi antropojen nedenlerle de tetiklenebilir.

Akma: Hareket eden malzeme içerisinde kayma yüzeyi genellikle görülmez. Sabit zemin ile hareket eden kütle arasındaki sınır, keskin veya gayri muntazam bir kesme yüzeyi olabilir. Akmalar kendi içerisinde 5 sınıfa ayrılmaktadır. (a) Moloz akması: Gevşek toprak, kaya, organik madde, hava ve su kombinasyonunun yamaç aşağı hareket ettiği hızlı bir kütle hareketidir. Şiddetli yağış ve hızlı kar erimelerini yoğun yüzey akışı ile gerçekleştirirler. Yüksek eğimli

dik oluklardan akan malzeme, genellikle olukların ağızlarında yelpazeler oluşturabilir. Bu moloz akması çok hızlı gerçekleştiğinde (b) moloz çığı olarak sınıflandırılmaktadır. (c) Toprak akması: Karakteristik şekli kum saatine benzemektedir. Yamaç malzemesi sıvılaşır ve akar, taç kısmında bir çanak veya çukur oluşturur. Akış uzundur ve genellikle ince taneli malzemeler veya kil içeren orta eğimli kayaçların üzerindeki doymuş kütle koşullarında meydana gelir. Ayrıca malzemenin kuru akışları da mümkündür. (d) Çamur akması: Hızla akacak kadar ıslak olan ve en az %50'si kum, silt ve kil büyüklüğündeki parçacıklardan oluşan heyelanlardır. (e) Krip (sürünme): yamaçtaki toprak veya kayanın algılanamayacak kadar yavaş, istikrarlı ve aşağı doğru hareket etmesidir. Bu hareket deformasyon oluşturmaya yeterli, ancak kayma düzlemi oluşturmak için çok küçük olan kesme gerilmesinden kaynaklanmaktadır.

Karmaşık: Yukarıdaki açıklanan hareket türlerinden 2 veya daha fazlasını aynı anda içeren heyelanlardır.

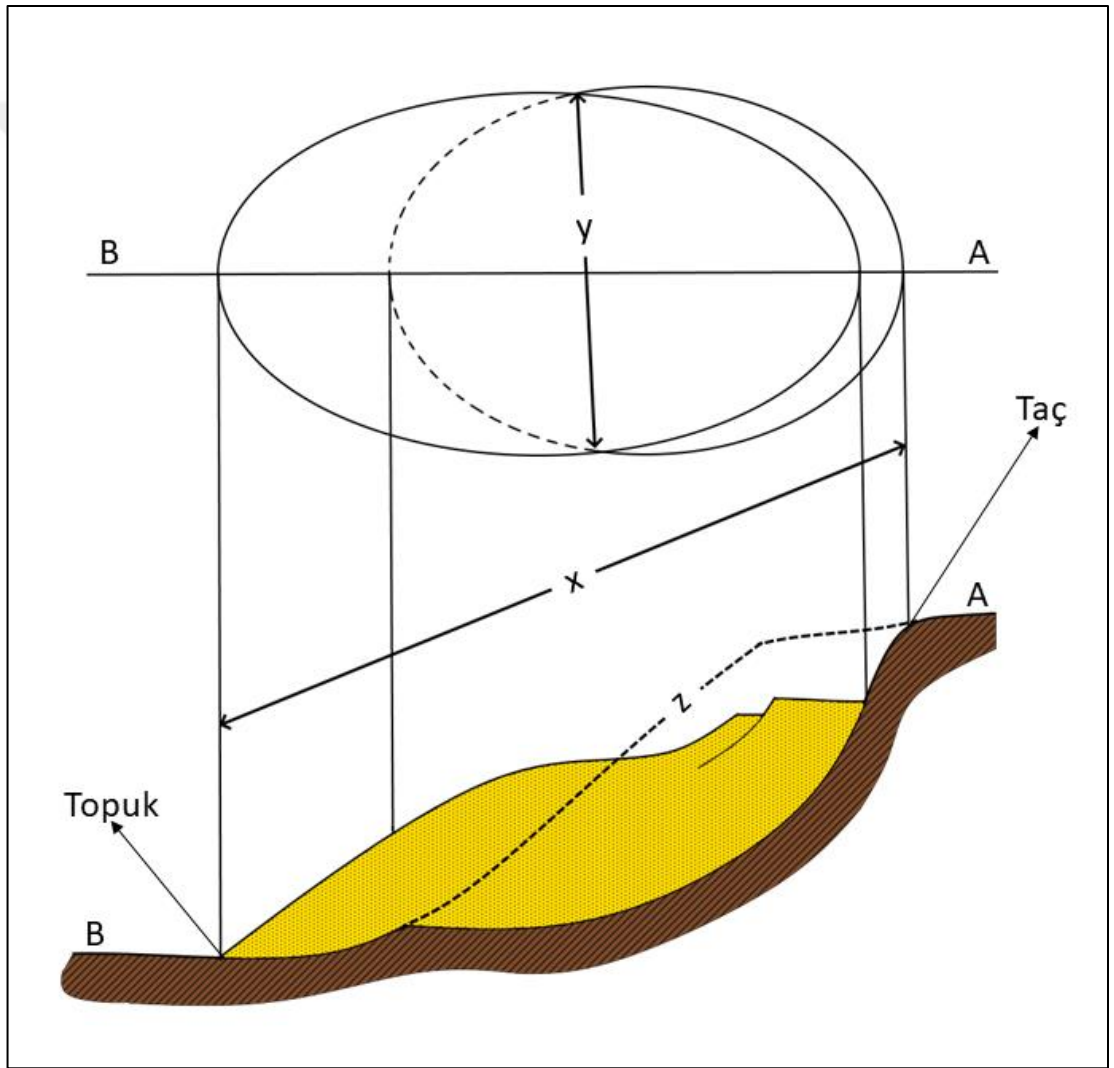
Düşme	 Kaya Düşmesi	 Moloz Düşmesi Ayna, Talus, Moloz Konisi	 Toprak Düşmesi İnce Malz., Ayna, Moloz Konisi	
Devrilme	 Kaya Devrilmesi	 Moloz Devrilmesi Moloz Konisi	 Toprak Devrilmesi Çatlaklar, Moloz Konisi	
Kayma	Dönel	 Tekil Dairesel Kayma	 Çoğul Dairesel Kayma Ana Ayna, Tepe, Tali Ayna, Kayma Düzlemi, Topuk	 Ardışık Dairesel Kayma
	Ötelenmeli (Düzlemsel)	 Kaya Kayması	 Moloz Kayması	 Toprak Kayması
Yanal Yayılma	 Örn: Şişme ve Kamburlaşma		 Toprak Yayılması	
Akma	 Toprak Akması (Periaglasial Akma)	 Moloz Akması	 Toprak (Çamur) Kayması	
Karmaşık	 Örn: Çökme-Toprak Akması ile Kaya Düşmesi		 Örn: Kompozit, dairesel olmayan/dönel düzlemsel kayma topukta toprak akmasına dönüşüyor	

Şekil 2.2. Heyelan sınıflarının şematik gösterimi (USGS'den akt. AFAD, 2015)

Kayma yüzeyinin toprak örtüsü veya aşınmış ana kaya içerisinde, birkaç santimetreden birkaç metreye kadar farklı derinliklerde yer aldığı heyelanlar sığ heyelan olarak nitelendirilmektedir (Sasaki, 2013). Kayma yüzeyi derinliğinin yaklaşık 5 m'den daha az olduğu heyelanları sığ heyelan olarak nitelendiren yayınlar da mevcuttur (Anonim, 2018; Comert vd., 2019). İyidere Havzası heyelan envanteri üretimi aşamasında derinliği birkaç metreye kadar olan, kayma yüzeyi toprak örtüsü veya ana kaya seviyesinin üzerinde bulunan hareketler envantere kaydedilmiştir. Böylece çalışma kapsamında üretilen envanter İyidere Havzası sığ heyelanlarını içermektedir. Sığ heyelanlar Leoni'nin de (2008) belirttiği gibi üç hareket türü içermektedir: Kayma, akma ve karmaşık. Bu bağlamda İyidere Havzası sığ heyelan envanterindeki heyelanların hareket türleri de bu üç sınıfa içermektedir. Düşme, devrilme ya da derin büyük alanlı heyelanlar sığ heyelanlardan farklı jeolojik, jeomorfolojik ve hidrolojik koşullar altında gerçekleşir (Santacana vd., 2003). Bu nedenle bu heyelanlar envantere dahil edilmemiştir. Çalışma yalnızca kayma, akma ve karmaşık hareket türündeki sığ heyelanlar üzerinden kurgulanmıştır. Havzanın yüksek kesimlerinde düşme ya da devrilme hareket türünde gerçekleşmiş kütle hareketlerinin var olduğu da aşıkardır; ancak bunların tespiti ve haritalanması oldukça zordur. Kayşat depoları ve morenlere karışmaktadırlar.

Tez çalışması kapsamında heyelan envanter üretimi 4 farklı kaynaktan sağlanmıştır: Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen stereoskopik hava fotoğraflarından üretilmiş ortofoto görüntüleri, açık erişimli yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri sağlayan uygulamalar (ArcGIS Earth, Google Earth, HGM Küre), arşiv kaynakları ve arazi çalışmalarıdır. Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1959, 1960, 1969, 1970, 1972, 1973, 1974, 1982, 1984, 2004, 2015 ve 2019 yıllarına ait farklı ölçeklere sahip (1:15.000 – 1:35.000) stereo hava fotoğraflarından üretilmiş ortofoto görüntüleri kullanılmıştır. Bu ortofoto görüntülerinin çözünürlüğü 20 cm ile 70 cm arasında değişmektedir. 12 farklı yıla ait ortofoto görüntüleri olmasına karşın çok zamanlı heyelan envanter verisi oluşturulamamıştır; çünkü havza içerisinde ortofoto görüntüleri aynı alanı kaplamamaktadır (Şekil 2.4). Arşiv araştırması kapsamında Rize ve Trabzon İli Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlıklarından mekânsal heyelan verileri temin edilmiştir. Bu kurumlardan elde edilen bütün heyelan noktaları arazi çalışmaları ile ziyaret edilip kontroller yapılmış, gerekli yerlerde heyelan sınırları düzeltilmiş ve envantere aktarılmıştır. Arazi çalışması

kapsamında da yerel halkın yönlendirmesi ya da gözlemler ile heyelan alanları ziyaret edilmiştir. El tipi GPS ile koordinatı alınan heyelanların sınırları arazi gözlemlerinde alınan notlar göz önünde bulundurularak uydu görüntüleri üzerinden envantere aktarılmıştır. Burada belirtilen 4 farklı kaynaktan elde edilen heyelanlar; taç kısmı üst sınırı, topuk kısmı alt sınırı, yan aynalar ise kenar sınırları olacak şekilde çizilmiştir (Şekil 2.3). Çizilen poligonlar heyelanın kayma zonu ve birikme zonunu kapsamaktadır. Heyelanların alansal ve boyutsal özellikleri bu poligonlar üzerinden hesaplanmıştır. Bu çizimlerin yapılması, depolanması ve envanter veri tabanının oluşturulmasında ArcGIS 10.5 yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 2.3. Heyelanların boyutsal özelliklerinin gösterimi (Cruden & Varnes, 1996'dan değiştirilerek). x: Heyelanın uzunluğu. y: Heyelan genişliği. z: Hareket öncesi yamaç profili



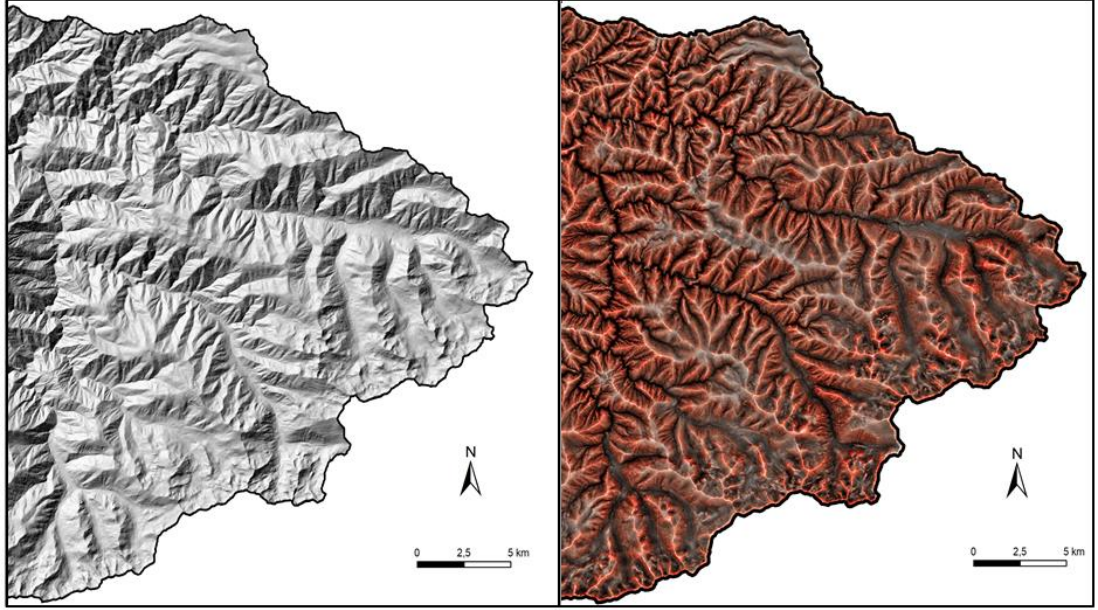
Şekil 2.4. Ortofoto görüntülerinin kapladıkları alanlar.

Üretilen heyelan envanter verisinin çoğunluğunun kaynağını farklı yıllara ait ortofoto görüntüleri oluşturmaktadır. Stereoskopik görüntülerden fotogrametrik işlemler yapılarak elde edilen ortofotolarda, gerek görüntülerin çekim sürecinden gerekse görüntülerin işleme sürecinden kaynaklı olarak konumsal hatalar

olabilmektedir. Örneğin bir ortofotodan çizilen heyelan alanı, aynı alanın bir başka yıla ait ortofoto görüntüsünün üzerine konulduğunda heyelan alanı farklı konumda olabilmektedir. Doğruyu yansıtmayan bir şekilde akarsuyun içerisinde, bir sırtın üzerindeki düzlük alanda ya da sırtın diğer taraftaki yamacına taşan heyelan alanları görülmektedir. Bu durum heyelan alanları ile diğer çevresel bileşenler arasındaki ilişki irdelenirken yanlış yorumlara sebebiyet verebilir. Bu nedenle birçok parametrenin de veri kaynağını oluşturan Sayısal Yükselti Modeli üzerinde heyelan alanının doğru konumda olması en önemlisidir. Geçmişte yapılan çalışmalarda da heyelan alanları topografik haritalardan çizilmekte ya da belirlenen heyelanlar topografya haritalarına işlenerek doğru bir şekilde konumlandırılmaktadır. Çalışma kapsamında bu yöntemin yanı sıra belirlenen heyelan alanlarının konumlarının doğruluğu Kırmızı Rölyef Haritası (RRIM – Red Relief Image Map) üzerinden de kontrol edilmiştir. İyidere Havzası RRIM, 1/25.000 ölçekli topografya haritalarındaki izohips verisinden elde edilen 10 m çözünürlüklü sayısal yükselti modelinden üretilmiştir. RRIM, araziyle ilgili 3 katmandan üretilmektedir. Bunlar; topografik eğim, pozitif açıklık ve negatif açıklıktır (Chiba vd., 2008). Kullanılan pozitif ve negatif açıklık Yokoyama vd. (2002) tarafından tanımlanmıştır: Pozitif açıklık yüzeyin dış bükeyliğini, negatif açıklık ise yüzeyin iç bükeyliğini temsil eder. Böylece pozitif açıklık tepe ve sırt gibi alanları, negatif açıklık ise vadi, krater içi, obruk, sirk gibi alanları gösterimini sağlamaktadır. Bu verilerin vadi-sırt indeksi (Eşitlik X) ile kombinasyonu ve eğim verisi kullanılarak RRIM görüntüsü elde edilmektedir.

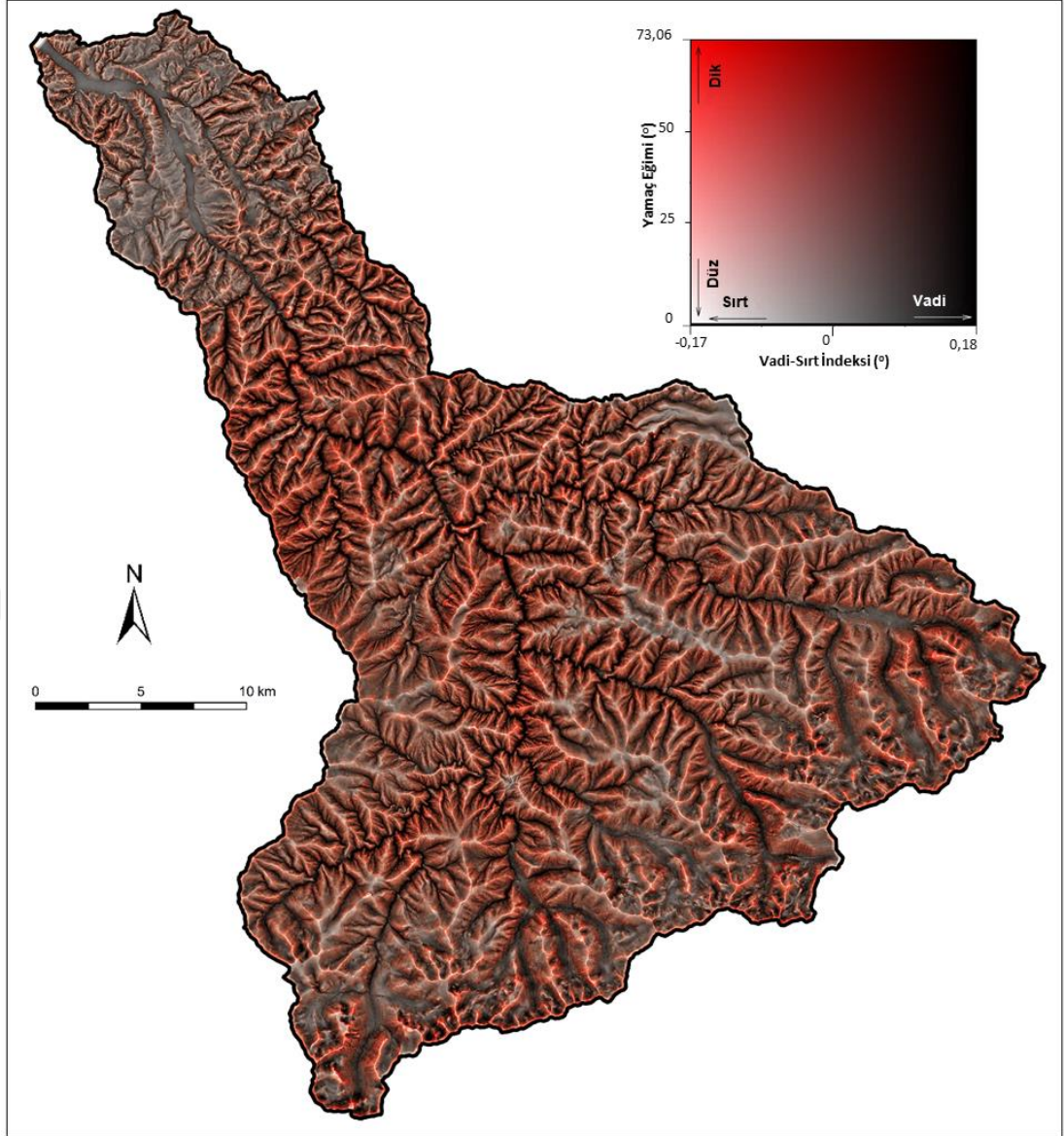
$$I = (O_p - O_n)/2 \quad (2.1)$$

Formüldeki O_p pozitif açıklığı, O_n ise negatif açıklığı ifade etmektedir (Chiba vd., 2008). RRIM, eğim ve topografik açıklık görüntülerini bir arada kullanarak rölyefi daha belirgin şekilde göstermektedir (Tzvetkov, 2018) (Şekil 2.5). İyidere Havzası RRIM görüntüsü QGIS 3.16 ve SAGA GIS 2.3.2 yazılımları kullanılarak üretilmiştir (Şekil 2.6).



Şekil 2.5. İyidere Havzası'nın güneydoğusuna ait aynı SYM verisinden üretilen hillshade (solda) ve RRIM (sağda) görüntüleri.

Üretilen heyelan envanter verisinin %20'si duyarlılık analizleri sonucunda elde edilen haritaların kontrolü ve doğrulanması amacıyla rastgele yöntem ile ayrılmıştır. Niceliksel yöntemler ile yapılan duyarlılık analizlerine geriye kalan heyelan envanter verisi (%80) kullanılmıştır.



Şekil 2.6. İyidere Havzası Kırmızı Rölyef Haritası (RRIM).

2.2. Parametre Veri Altılıklarının Hazırlanması

Heyelan duyarlılığı çalışmalarında mekanın farklı özelliklerini gösteren veri katmanları (parametreler) birlikte kullanılır (Arca vd., 2019). Bu parametreler, çalışmanın sonuçlarını doğrudan etkiler ve bu nedenle de ayrıntılı olarak incelenirler. Ancak çalışma sahasının konumu, büyüklüğü ve araştırmacının mesleki deneyimi parametrelerin seçimini etkiler. Bu nedenle de heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan parametreler konusunda bir kesinlik yoktur (Gökçeoğlu & Ercanoğlu, 2001). Ancak yapılmış birçok çalışma dikkate alındığında belirli parametrelerin heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde çok sık kullanıldığı görülmektedir. Reichenbach vd. (2018) birçok çalışmada kullanılan bu parametreleri 5 sınıfa

ayırmıştır. Bunlar; jeolojik, hidrolojik, arazi örtüsü, morfolojik ve diğerleridir. Benzer çalışma Hasekioğulları ve Ercanoğlu (2012) tarafından da yapılmıştır (Tablo 2.2).

Tablo 2.2. Heyelan duyarlılığı çalışmalarında kullanılan parametreler*

Parametreler	Çalışma Sayısı	Parametreler	Çalışma Sayısı
Yamaç Eğimi	109	Süreksizliklerin Yamaç İlişkisi	8
Litoloji	83	Yağış	8
Bakı	72	Göreceli Yükseklik	7
Topografik Yükseklik	51	Yüzey Pürüzlülük İndeksi	7
Yamaç Eğriselliği	45	Sırtlara Uzaklık	5
Arazi Kullanımı	45	Yapısal Unsurların Yoğunluğu	5
Bitkilere İliş. Öz.	39	Yamaç Şekli	4
Drenaja Uzaklık	37	Yerleşmelere Uzaklık	4
Yapısal Unsurlara Uzaklık	34	Enerji Hatlarına Uzaklık	3
Malzeme Özellikleri	33	Güneşe Maruz Kalma	3
Toprak Kalınlığı	24	Sediment. Taş. Kap. İnd.	3
Yola Uzaklık	21	Toprak Kayma Dokanağı	3
Topografik Nemlilik İndeksi	20	Yol Yoğunluğu	3
Jeomorfolojik Özellikler	19	Erozyon Durumu	2
Akarsu Aşın. Gücü Endeksi	12	Su Durumu	2
Drenaj Yoğunluğu	11	Yamaç Uzunluğu	2
Havza Özellikleri	11	Yeraltı Suyu	2
Bozunma Durumu	8	En Yakın Tepeye Uzaklık	1
Hidrojeolojik Özellikler	8	Süreksizliklerin Yamaç İlişkisi	8

*(Hasekioğulları ve Ercanoğlu, 2012).

Bu çalışma kapsamında araştırma sahasının büyüklüğü ve yörenin coğrafi özellikleri dikkate alınarak heyelan duyarlılığı modellerinde 16 parametre kullanılmıştır. Bu parametreler; eğim, yükselti, bakı, toprak tekstürü, litoloji, arazi örtüsü, eğim şekli (plan eğriliği, profil eğriliği), topografik nemlilik indeksi, akarsu aşındırma gücü indeksi, topografik pozisyon indeksi, arazi pürüzlülük indeksi, sediment taşıma kapasitesi indeksi, drenaj yoğunluğu, akarsulara mesafe, yollara mesafe. Bu parametrelere ait verilerin üretildiği kaynaklar Tablo 2.3'de listelenmiştir.

Tercih edilen parametrelere bakıldığında bazılarının gereksiz ve tekrarlanan bilgiler sağlayacağı düşünülebilir ancak bu parametreler bölgeyle ilgili farklı saptamaların yapılmasına yardımcı olur. Örneğin drenaj yoğunluğu ve akarsulara mesafe parametreleri birbirlerinin aynı, birbirini tekrar eden girdiler olarak düşünülse de farklıdır. Yoğunluk ile bölgesel ya da alansal manada bir yerin durumu ifade edilirken, mesafe metrik olarak bir keşif yapılmasını sağlar. Daha detaylı ifade edecek olunursa; drenaj yoğunluğu litoloji, bölgesel hidrojeoloji özellikleri hakkında

ipuçları verirken; akarsulara mesafe parametresi yamaçlardaki topuk erozyonu hakkında bilgiler sunmaktadır (Süzen & Doyuran, 2004).

Tablo 2.3. Çalışmada kullanılan parametreler ve veri kaynakları

Parametre	Veri Kaynağı
1- Eğim	Sayısal Yükseklik Modeli 1/25.000 ölçekli topografya paftalarından temin edilen izohips verisi kullanılarak 10 m çözünürlükte üretilmiştir.
2- Yükselti	
3- Bakı	
4- Eğim Şekli	
5- Topografik Nemlilik İndeksi (TWI)	
6- Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi (SPI)	
7- Topografik Pozisyon İndeksi (TPI)	
8- Arazi Pürüzlülük İndeksi (TRI)	
9- Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi (STC)	
10- Toprak Tekstürü	Bouyoucus Hidrometre Yöntemi ile üretilmiştir.
11- Litoloji	MTA 1/100.000 ölçekli jeoloji paftaları
12- Arazi Örtüsü	Amenajman Planları.
13- Drenaj Yoğunluğu	1/25.000 ölçekli topografya paftalarından üretilmiştir.
14- Akarsulara Mesafe	
15- Yollara Mesafe	Karayolları Genel Müdürlüğü'ne ait yol verisi ve OpenStreetMap veri tabanı temin edilmiştir. 2015 yılı ortofoto görüntüsü kullanılarak eksikler çizilmiş ve düzeltmeler yapılmıştır.

Eğim, yükselti, bakı ve eğim şekli parametreleri 1/25.000 ölçekli topografya paftalarına ait izohips verilerinden üretilen 10 m çözünürlüklü sayısal yükselti modeli kullanılarak oluşturulmuştur. Bu verilerin hazırlanması ve sınıflandırılmasında ArcMap yazılımı içerisindeki 3B analiz araçları kullanılmıştır. **Topografik Nemlilik İndeksi, Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi, Topografik Pozisyon İndeksi, Arazi Pürüzlülük İndeksi ve Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi** parametrelerine ait altlıkların hazırlanmasında da yine topografya haritalarından üretilen 10 m çözünürlüklü sayısal yükselti modeli kullanılmıştır. Yükselti parametresi başlığı altında İyidere Havzası'nın hipsometrik eğri ve hipsometrik integral değerleri de hesaplanmıştır. Hipsometrik eğri, rölatif yükselti sınıfları ve bu sınıfların alanlarının toplam havza alanına oranları ile hazırlanmaktadır. Böylece yüksekli sınıflarının havza içerisindeki dağılımı hakkında bilgi vermektedir (Strahler, 1952). Dış bükey bir hipsometrik eğrinin elde edilmesi havzadaki topografyanın genç olduğunu göstermektedir. Bu durum akarsuların akım gücünün fazlalığına da işaret etmektedir. Tam tersi olarak iç bükey hipsometrik eğri ise daha olgun topografya ve nispeten güçsüz akarsu akışlarını göstermektedir (Pérez-Peña vd., 2009; Singh & Singh, 2018; Strahler, 1952). Hipsometrik integral (H_i), hipsometrik eğri altında kalan alanı ifade etmektedir (Strahler, 1952).

Hipsometrik eğriyi matematiksel olarak ifade etmeye yarar ve aşağıdaki eşitlik (2.2) ile hesaplanmaktadır.

$$H_i = \bar{H} - H_{min} / H_{max} - H_{min} \quad (2.2)$$

Formülde bulunan \bar{H} , havzanın ortalama yükseltisini; H_{min} , havzanın minimum yükseltisini; H_{max} ise havzanın maksimum yükseltisini ifade etmektedir (Pike & Wilson, 1971).

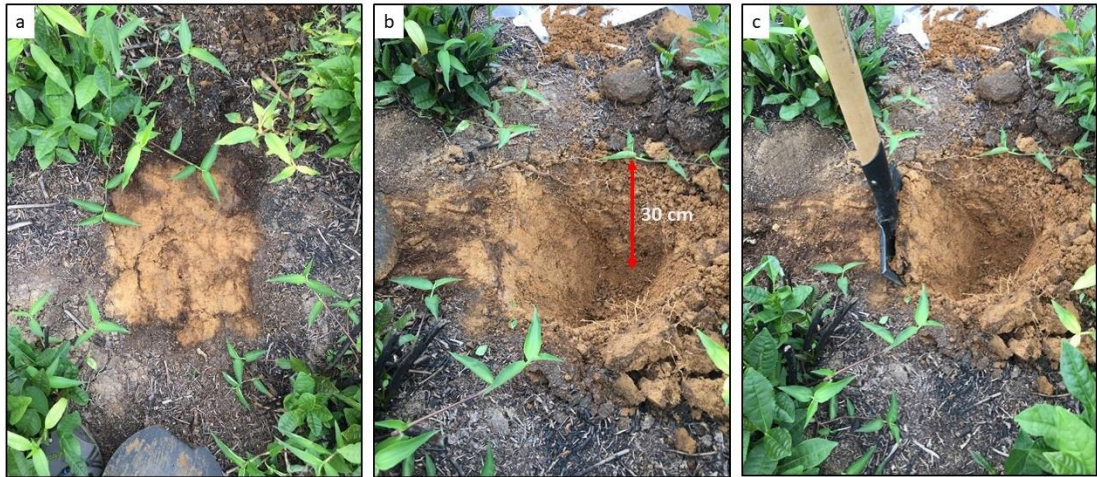
Topografik Nemlilik İndeksi ArcMap yazılımı içerisindeki mekânsal analiz araçları kullanılarak üretilmiştir. Topografik Pozisyon İndeksi ise Dilts (2015) tarafından geliştirilen “topography tools” eklentisi kullanılarak üretilmiştir. Arazi Pürüzlülük İndeksi Quantum GIS yazılımı kullanılarak üretilmiştir. Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi ve Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi ise RStudio ortamında Whitebox paketi (Lindsay, 2016) kullanılarak üretilmiştir. Bu indekslerin formülleri, izahları ve önemleri, tezin bir sonraki bölümünde ilgili kısımda detaylıca açıklanmıştır. Bu bilgiler ile parametreye ait değerlendirmelerin bir arada verilmesinin anlaşılabilirliği artıracaklığı düşünüldüğünden bu yola başvurulmuştur.

Litoloji verisinin üretiminde Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanmış olan 1:100.000 ölçekli jeoloji paftaları (Trabzon C30-D30, Tortum D31) kullanılmıştır.

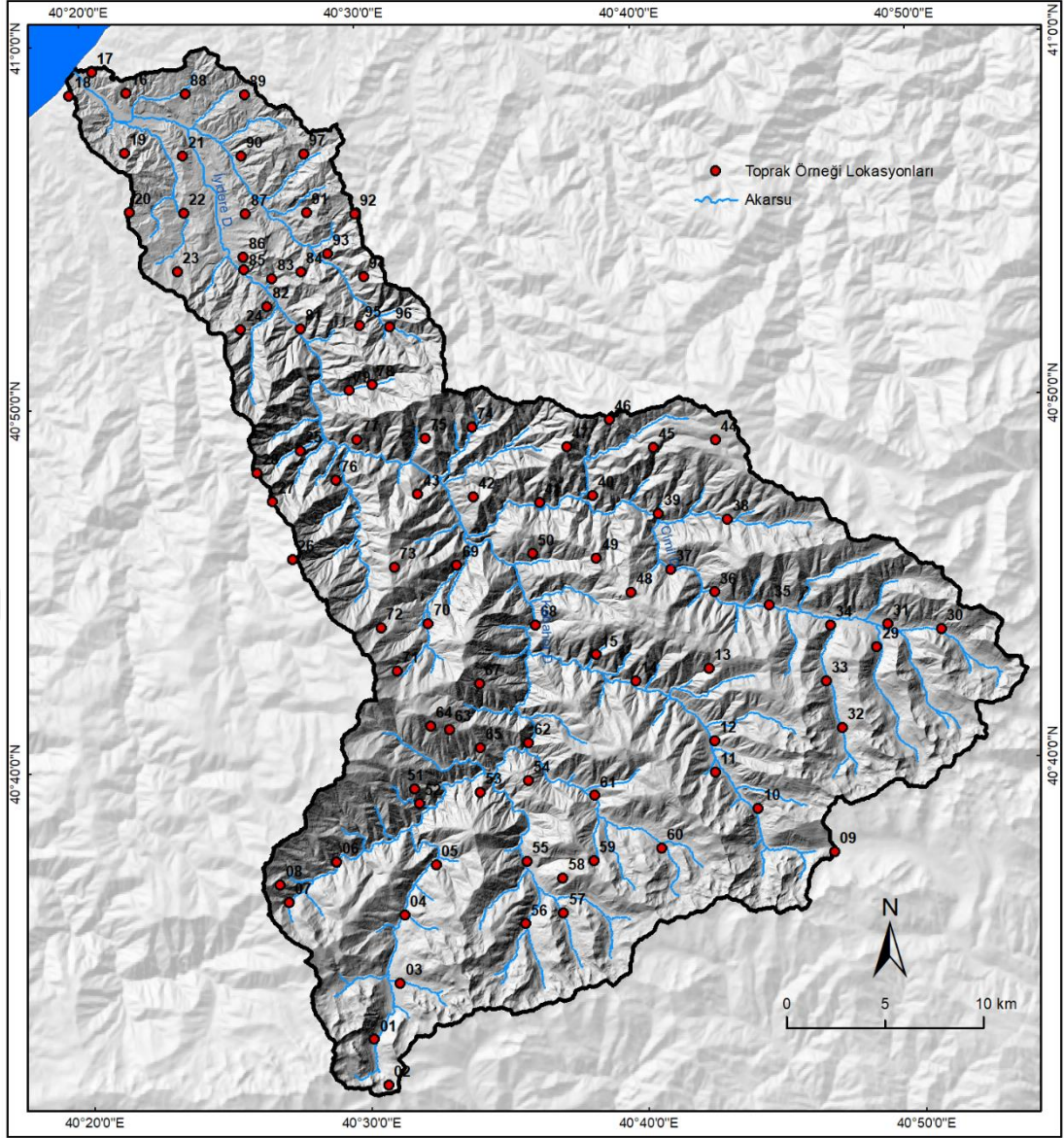
Arazi örtüsü parametresine ait harita T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı bünyesinde hazırlanan amenajman planları içerisindeki meşcere haritalarından üretilmiştir. Uzaktan Algılama yöntemleriyle sahadaki arazi örtüsünün genel eğilimi tespit edilebilirdi. Nitekim kontrolü sınıflandırma, kontrolsüz sınıflandırma ve vejetasyon indeksi kullanılarak uydu görüntülerinden arazi örtüsü verisi üretme yolu denenmiştir. Ancak amenajman planlarından üretilen arazi örtüsü, sahayı daha gerçekçi yansıttığından tercih edilmiştir. Çalışma sahasında tarım arazileri ile geniş yapraklı ormanların ve çayır alanların, yerleşme alanları ile yüksek seviyelerdeki kayalık alanların yasıma değerleri birbirlerine yakın olduğundan uzaktan algılama ile üretilen arazi örtüsü verisinde karışıklık olabilmektedir. Amenajman planlarından üretilen arazi örtüsü verisinin doğruluk değerlendirmesi yapılmıştır. Bu kapsamda havza içerisinde rastgele 200 nokta belirlenmiş ve bu noktadaki gerçek arazi örtüsü ile amenajman planlarında sınıflandırılmış arazi örtüsü kıyaslanarak doğruluk

değeri elde edilmiştir.

Toprak tekstürü verisinin hazırlanması amacıyla havzadan sistematik örnekleme yöntemiyle numunelerin alınması planlanmıştır. Bu amaçla havza 3 km kenar uzunluğuna sahip kareler bölünmüş ve karelerin köşe noktalarından toprak örnekleri alınmıştır. Havza içerisinde arazi koşulların oldukça sarp ve bitki örtüsünün yaya ulaşımına dahi izin vermediği yerlerde ofis çalışmasıyla belirlenen karelaj köşe noktalarında ulaşılmamıştır. Tam ulaşılamayan noktalara en yakın yerden ve eşdeğer yükseltilerden örnekler alınmaya çalışılmıştır. Havzanın yukarı kesimlerinde toprak örtüsünün olmadığı alanlarda da sistematik karelaj örneklemesinin dışına çıkılmak zorunda kalınmıştır. Envanter üretimi sürecinde fazla sayıda heyelanın bir arada tespit edildiği alanlarda da karelaj örneklemenin dışına çıkılarak fazladan numune alınmıştır. Bu kapsamda İyidere Havzası içerisinde 97 farklı noktadan toprak örnekleri alınmıştır (Şekil 2.8). Bu noktaların koordinat, yükselti, morfolojik birim ve arazi örtüsü özellikleri kayıt altına alınmıştır. Koordinat ve yükselti bilgileri el tipi GPS yardımıyla belirlenmiştir. Toprak örnekleri 0-30 cm derinlikten alınmıştır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7. Toprak örneklerinin alınması a) Toprağın üst kısmındaki organik materyal temizlendi. b) 30 cm derinliğinde V şeklinde çukur açıldı. c) Açılan çukurun kenarından dikey bir kesit olarak örnek alındı.



Şekil 2.8. Toprak örneklerinin alındığı lokasyonların haritası

Araziden alınan 97 toprak örneğinin tekstürel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; oda sıcaklığında kurutma ve eleme işlemlerinden sonra Bouyoucos (1951) hidrometre yöntemi ile örneklerin kum, mil (silt) ve kil miktarları belirlenmiştir (Şekil 2.9). SPSS 20 paket programı ile toprak tekstürü değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri hesaplanmıştır. GS+7 paket programı yardımıyla toplanan toprak örnekleri arasındaki yersel değişkenlikler, semivariogramlar oluşturularak modellenmiştir. Buradaki amaç kum, kil ve silt dağılış haritalarının üretimi amacıyla yapılacak enterpolasyonda en doğru girdileri (nugget, sill, range) belirlemektir. Semivariogramlar üreterek en iyi modelin seçiminde r^2 ve Artık Kareler Toplamı (Residual Sum of Squares, RSS) değerleri dikkate alınmıştır. r^2 , mesafeye bağlı

değişkenliği; RSS ise ölçüm hatalarını göstermektedir. En iyi model seçilirken r^2 değerinin 1'e, RSS değerinin ise 0'a yakın olması dikkate alınmıştır (Yang vd., 2011). Kum, kil ve silt için ayrı ayrı belirlenen en iyi modele ait parametre değerleri (nugget, sill, range, lag size) kullanılarak ArcGIS 10.2 yazılımında enterpolasyon işlemi (ordinary kriging) yapılmıştır. Bütün bu işlemler sonucunda elde edilen kum, kil ve silt dağılım haritaları kullanılarak SAGA GIS 7.8.1 yazılımında toprak tekstürü haritası üretilmiştir.



Şekil 2.9. Hidrometre okuması yapılmak üzere örneklerin sedimentasyon silindirinde bekletilmesi

Yağış verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiştir. Çalışma sahası içerisinde İkizdere, Kalkandere, Derepazarı ve Çağrankaya meteoroloji istasyonlarının meteoroloji bültenleri ve günlük yağış verileri temin edilmiştir. Bu meteoroloji istasyonları ile ilgili bilgiler Tablo 2.4'de verilmiştir. Bu istasyonlardan yalnızca 2'si uzun yıllardır veri toplamaktadır. Diğer istasyonlar kurulu oldukları alanın yağış klimatolojisi hakkında kesin bilgi verecek zamansal çözünürlüğe sahip değildir. Ancak havza içerisinde yükseltiyle yağışın değişimi hakkında fikir vermesi açısından bu istasyonlarla ilgili de değerlendirme yapılmıştır. Yağış parametresi duyarlılık modeline dahil edilmemiş, yalnızca teorik değerlendirme yapılmıştır. Yıllık ortalama yağış, 0,1 mm'nin üzerinde yağışlı gün sayısının ortalaması, 10 mm'nin üzerinde yağışlı gün sayısının ortalaması ve 50

mm'nin üzerindeki yağışlı gün sayısının ortalama değerleri istasyon verilerinden ayıklanmış ve bunlar üzerinden bir değerlendirme yapılmıştır.

Tablo 2.4. Meteoroloji istasyonlarına ait bilgiler

İstasyon Adı	Yükseltisi	Veri aralığı
Derepazarı (Maltepe Köyü)	397 m	2014 – 2019
Kalkandere	400 m	1964 – 1995 & 2013 – 2019
İkizdere	800 m	1971 – 1996 & 2018 – 2019
Çağrankaya	2230 m	2016 – 2019

Drenaj yoğunluğu ve akarsulara mesafe parametrelerinin verileri 1:25.000 ölçekli topografya paftalarından üretilmiştir. Bu kapsamda 17 pafta (G44b1, G44b2, G44b3, G45a1, G45a4, G45a3, G45b4, G44c2, G45d1, G45d2, G45c1, G45c2, G44c3, G45d4, G45d3, G45c4, F44c4) ArcMap 10.2 programında UTM (Universal Transverse Mercator) projeksiyon sistemine göre koordinatlandırılmış ve akarsular sayısallaştırılmıştır. Bu akarsu verisi kullanılarak drenaj yoğunluğu ve akarsulara mesafe parametrelerinin haritaları üretilmiştir. Toplam akarsu uzunluğunun belirli bir drenaj alanına bölünmesi ile drenaj yoğunluğu hesaplanmaktadır (Cürebal, 2004; Horton, 1932). Yani drenaj yoğunluğu, toplam akış uzunluğunun drenaj alanına oranını ifade etmektedir. Bu bağlamda aşağıdaki eşitlik (2.3) kullanılarak drenaj yoğunluğu hesaplanmaktadır:

$$D_d = \sum L/A \quad (2.3)$$

Formülde bulunan D_d , drenaj yoğunluğunu; L, akarsu uzunluğunu, A ise birim alanı ifade etmektedir. D_d , km/km² cinsinden ifade edilmektedir (Horton, 1932). Drenaj yoğunluğu hesaplanırken havza ya da havza içerisindeki alt havzalar temel alınarak değerlendirmeler yapılmaktadır. Böylece ilgili drenaj alanına ait bir rakam elde edilmekte ve bu rakam üzerinden bir yorum yapılabilmektedir (Avcı & Sunkar, 2018; Cürebal, 2004, 2006; Yesilnacar & Topal, 2005; Yıldırım, 2021). Günümüzde sahip olduğumuz haritalama ve analiz imkanları ile grid temelli bir yoğunluk değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Bu grid temelli değerlendirmelerin yapıldığı çalışmalara ilgili literatürde rastlanmaktadır (Dragičević vd., 2019; Öztürk vd., 2019; Rai vd., 2018; E. K. Sahin, 2011; Shankar & Mohan, 2006). 1 km²'lik gridlerden hareketle elde edilen drenaj yoğunluğu verisi mekânsal dağılışı yansıtır. Bu durum drenaj yoğunluğu ile diğer çevresel bileşenler arasındaki ilişkinin ortaya koyulmasında daha pratik bir sonuç sağlıyor. Bu nedenle, İyidere Havzası'nda da grid temelli drenaj yoğunluğu verisi üretilmiştir. Üretilen bu veri Malik vd. (2011)

tarafından kullanılan 4 sınıfa ayrılarak tematik harita elde edilmiştir.

Yollara mesafe parametresinin hazırlanması amacıyla Karayolları Genel Müdürlüğü ve OpenStreetMap veri tabanından yol verileri temin edilmiştir. Ancak bu kaynaklardan elde edilen verilerde çok büyük eksikler tespit edilmiştir. Özellikle köy ve orman yollarının önemli bir kısmının bu veri tabanında olmadığı görülmüştür. Bu eksik yollar Ortofoto görüntülerinden sayısallaştırılarak yol veri tabanı tamamlanmıştır.

Elde edilen parametre haritalarının sınıflandırılarak tematik haritalara dönüştürülmesi, görsel anlaşılabilirliği artırmanın yanı sıra mekânsal değerlendirmeler ve analizler için de gereklidir. Bu kapsamda tezin amacına uygun sürekli veri içeren parametreler (topografik nemlilik indeksi, akarsu aşındırma gücü indeksi, sediment taşıma kapasitesi indeksi, topografik pozisyon indeksi, arazi pürüzlülük indeksi), Jenks (1967) tarafından geliştirilen doğal kırınım yöntemi (Natural Breaks) kullanılarak sınıflandırılmıştır. Jenks Optimizasyon Yöntemi olarak da isimlendirilen bu işlemde sınıf sınırları, sınıflar içerisinde varyansı en aza, sınıflar arasındaki varyansı ise en üst seviyeye çıkartacak şekilde belirlenmektedir (Osaragi, 2002). Heyelan duyarlılığı çalışmalarında üretilen tematik haritalarda bu yöntemin kullanıldığı görülmektedir (Aditian vd., 2018; Conforti vd., 2012; Maçka, 2021; Singh vd., 2021; Turan vd., 2020; Y. Wu vd., 2020; Zine vd., 2019). Tez kapsamında da bu sınıflandırma tekniği ArcMap yazılımı yardımıyla sürekli veri içeren parametrelere uygulanmıştır. Yöntem yalnızca duyarlılık üzerinde etkili olan çevresel parametrelerin sınıflandırılmasında değil; farklı istatistiksel yöntemler ile üretilen heyelan duyarlılık haritalarının sınıflandırılmasında da kullanılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, çevresel bileşenlere ait sınıflar ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi değerlendirmek için hazırlanan tablolarda heyelan yoğunluğuna yer verilmiştir. Heyelan yoğunluğu verisi ile çevresel bileşenlere ait sınıfların kıyaslanmasının daha doğru bir yaklaşım olduğu düşünölmüştür. Heyelan yoğunluğu aşağıdaki eşitlik (2.4) ile hesaplanmıştır.

$$\text{Heyelan yoğunluğu} = \frac{\text{Sınıftaki heyelanlı alan}}{\text{Sınıf toplam alanı}} \times 1000 \quad (2.4)$$

Çalışma kapsamında kırsal yerleşmelerin bazıları köy bazıları ise mahalle olarak nitelendirilmiştir. Mahalle olarak nitelendirilen kırsal yerleşmeler Trabzon ili sınırları içerisinde. Bu durum Trabzon'un Büyükşehir Belediyesi statüsünde

olmasından kaynaklanmaktadır.

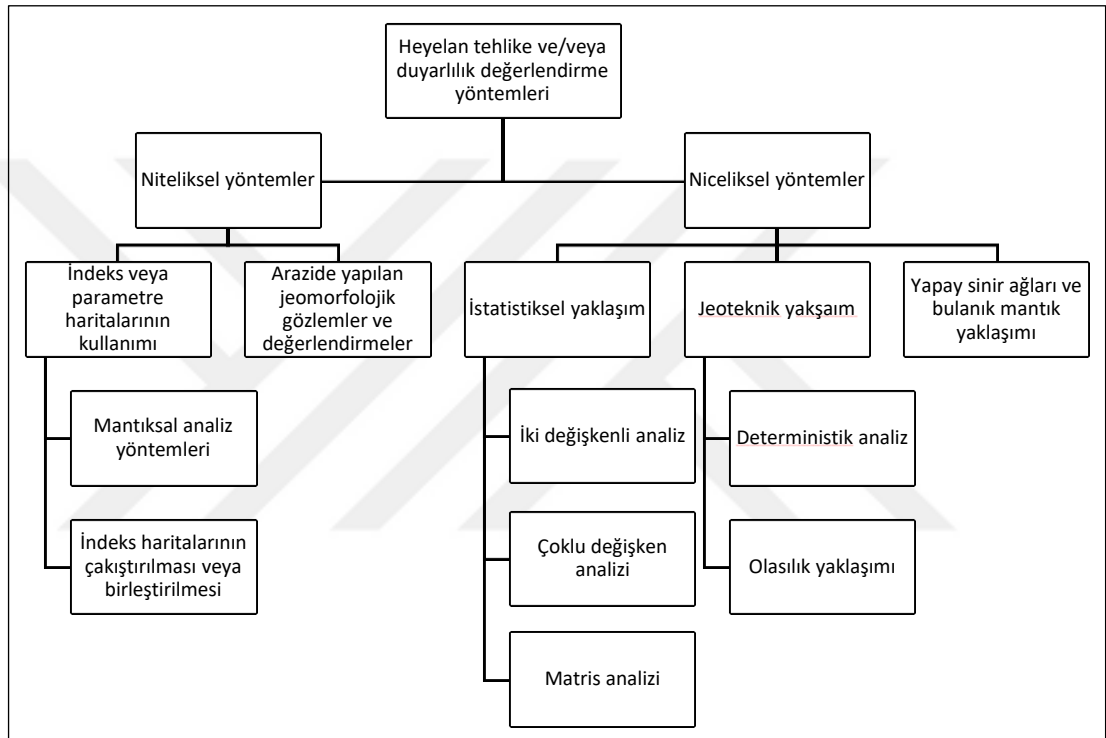
2.3. Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesi

Heyelanlar, sosyo-ekonomik ve çevresel etkileri nedeniyle üzerinde oldukça fazla çalışılan bir afet türüdür. 1975 yılına kadar oldukça sınırlı olan heyelan başlıklı çalışmalar bu tarihten sonra artış göstermiş, 1987 yılından sonra ise yıllık ortalama yayın sayısı 150'yi geçecek şekilde hızlanmıştır (Gokceoglu & Sezer, 2009). Heyelan afetiyle mücadele etme yöntemlerinden birisi olan heyelan duyarlılığı değerlendirmesine benzer çalışmalar ise 1970'li yıllardan itibaren yapılmaya başlanmıştır (Brabb vd., 1972; Cotecchia, 1978; Drennon & Schleining, 1975; Neuland, 1976). 1980-2000 yılları arasında artan teknolojik imkânlar ile duyarlılığın değerlendirildiği önemli çalışmalar yayınlanmaya devam etmiştir (Anbalagan, 1992; Bhandari, 1987; Carrara, 1983; Carrara vd., 1995; Soeters & Van Westen, 1996; van Westen vd., 1997; Varnes, 1984). Literatürde duyarlılık değerlendirmesi içeren yayınların sayısının artması üzerine; yapılan bu yayınlarda kullanılan yöntem ve tekniklerin değerlendirildiği ve karşılaştırıldığı çalışmalar da yapılmıştır (Aleotti & Chowdhury, 1999; Guzzetti vd., 1999; Huabin vd., 2005; Reichenbach vd., 2018). Türkiye'de ise 2002 yılından itibaren heyelan duyarlılığının değerlendirildiği çalışmaların giderek arttığı tespit edilmiştir (Derin & Ercanoğlu, 2018).

Birçok farklı yaklaşım ve yöntem kullanılmasına rağmen heyelan duyarlılığı değerlendirmeleri birkaç temel varsayımdan hareketle yapılmaktadır. Reichenbach vd. (2018) bu varsayımları 4 madde halinde sıralamıştır:

1. Heyelanlar fark edilebilir izler bırakır ve bu izler arazide ya da uzaktan algılama yöntemleri ile tanınabilir, sınıflandırılabilir ve haritalandırılabilir.
2. Heyelanlar ve onların oluşumu fiziksel kurallarla kontrol edilir. Bu kurallar ampirik, istatistik ve deterministik yöntemlerle analiz edilebilir. Doğrudan ya da dolaylı şekilde şev ile bağlantılı olarak heyelana neden olan faktörler, heyelanın mekânsal oluşumunun tahmin edilmesi için toplanabilir, kullanılabilir.
3. Heyelan için mevcut ve geçmiş durum gelecek açısından anahtar rol oynar.
4. Heyelanın mekânsal oluşumu, sezgisel araştırmalardan, çevresel bilgilerin analizinden veya fiziksel modellerden çıkartılabilir. Böylece bir bölge farklı olasılıklara göre sıralanmış duyarlılık sınıflarına ayrılabilir.

Bu varsayımlar temelinde birçok farklı yöntem geliştirilerek kullanılmıştır. Bu yöntemler esasen niteliksel ve niceliksel yöntemler olmak üzere 2'ye ayrılabilir (Aleotti & Chowdhury, 1999) (Şekil 2.10). Nitel yöntemler öznel ve alan tanımlayıcı terimlerle tasvir eder. Nicel yöntemler ise herhangi bir tehlike bölgesinde heyelan olaylarının ortaya çıkmasına ilişkin sayısal tahminler (olasılıklar) üretir (Guzzetti vd., 1999). Niceliksel yöntemler, parametreler ile heyelan olayları arasındaki istatistiksel ilişkiden yararlanmakta, uzman görüşü bu aşamada dahil olmamaktadır. Bu nedenle niceliksel yöntemler objektiftir.



Şekil 2.10. Heyelan değerlendirme yöntemlerinin sınıflandırılması (Aleotti ve Chowdhury, 1999)

Heyelanlar ile hazırlayıcı parametreler arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılmasını sağlamasından dolayı niceliksel yöntemler akademisyenler ve araştırma kurumları tarafından daha çok tercih edilmektedir (Ermini vd., 2005). Bu nedenle bu çalışmada da niceliksel yöntemlerin kullanılması tercih edilmiştir. Bu yöntemler; Frekans oranı, Mantıksal Regresyon, Yapay Sinir Ağları, İstatistiksel İndeks ve Kanıt Ağırlığı Yöntemidir.

2.3.1. Frekans Oranı Yöntemi (FR)

Frekans oranı yöntemi, heyelan tahmini ve değerlendirmesinde en çok kabul gören istatistiksel yöntemlerden birisidir (Mandal & Mondal, 2018). Farklı sahalarda

heyelan duyarlılığının değerlendirildiği birçok çalışmada bu yöntem tercih edilmiştir (Chen vd., 2016; Lee & Dan, 2005; Yılmaz, 2007, 2009). Frekans oranı yöntemi, heyelanlı ve heyelansız alanlar ile çevresel parametreler arasındaki ilişkiyi kantitatif olarak açıklayan iki değişkenli bir istatistiksel yöntemdir. Heyelan olayının gerçekleştiği alanın, toplam alana oranından hareket ile bir sonuç üretilir (Lee & Talib, 2005). Her bir parametre sınıfına ait FR değeri aşağıda belirtilen eşitlik ile üretilir (Eşitlik 2.5).

$$FR = \frac{\frac{Np(LX_i)}{\sum_{i=1}^m Np(LX_i)}}{\frac{Np(X_j)}{\sum_{j=1}^n Np(X_j)}} \quad (2.5)$$

FR, j parametresinin i sınıfının oranını vermektedir. $Np(LX_i)$, X parametresinin i sınıfındaki heyelanlı piksel sayısı; $Np(X_j)$ X parametresindeki piksel sayısı; m, Xi parametresindeki sınıfların sayısı ve n ise çalışma alanındaki parametrelerin sayısıdır (Guo vd., 2015). Her bir parametrenin FR değerleri de toplanarak heyelan duyarlılığı indeksi (LSI) üretilir (Eşitlik 2.6), (Lee & Min, 2001).

$$LSI = \sum FR \quad (2.6)$$

Elde edilen indekste değer birden büyükse, heyelan oluşumu ve faktörün niteliği arasında güçlü bir ilişki olduğunu gösterir. Eğer değer birden küçükse heyelan oluşumu ve faktörün niteliği arasında daha az ilişki olduğunu gösterir (Lee & Pradhan, 2006).

2.3.2. Mantıksal Regresyon (LR)

Mantıksal regresyon, bağımlı bir değişken ile birkaç bağımsız değişken arasında çok değişkenli bir regresyon ilişkisi oluşturulmasını sağlar (Atkinson & Massari, 1998). Kantitatif olarak bir oluşum/ olay ve bunun çeşitli değişkenlerle arasındaki ilişkiyi açıklayabilen bir yöntemdir (Lee & Sambath, 2006). Bu yöntem, bağımlı değişkenin kategorik (var veya yok), bağımsız değişkenlerin ise kategorik, sayısal veya her ikisi birden olduğu durumları analiz etmek için yararlı bir araçtır (Budimir vd., 2015). Daha farklı bir ifadeyle bağımlı bir değişken olarak incelenen olay (çığ, erozyon, heyelan vb.) ile bu olayın ortaya çıkmasına neden olabilecek birden fazla değişken (bağımsız değişkenler; eğim, yükselti, toprak özellikleri gibi) arasındaki gücü anlamlandırmaya çalışan bir yöntemdir. Bu avantajıyla mantıksal

regresyon analizi, heyelan envanteri ile heyelanlardan sorumlu çevresel parametreler arasındaki ilişkiyi bulmak için kullanılan önemli istatistiksel yöntemlerden birisidir (Hemasinghe vd., 2018; Mancini vd., 2010; Mandal & Mondal, 2018). Tez çalışması kapsamında bağımlı değişkeni heyelan, bağımsız değişkenleri ise belirlenen parametreler (yükselti, eğim, bakı vs.) temsil etmektedir. Mantıksal regresyon, yapılmış birçok heyelan duyarlılığı çalışmasında kullanılmıştır (Bai vd., 2011; Conforti vd., 2012; Kavzoglu vd., 2015; Meten vd., 2015; Nandi & Shakoore, 2010; Tekin & Can, 2016).

Mantıksal regresyon, 0-1 aralığında değişkenin oluşma olasılığının (y) hesaplanmasını sağlar. Yani her bir parametrenin heyelan oluşturma olasılığını saptar. Mantıksal regresyon modeli aşağıdaki eşitlikten (2.7) oluşturulur (Conoscenti vd., 2014):

$$Z = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (2.7)$$

Formülde bulunan n bağımsız değişkenleri, β_i ($i=1, 2, \dots, n$) modelin regresyon katsayısını, X_i ($i= 1, 2, \dots, n$) bağımsız değişkenleri ifade etmektedir. Elde edilen Z değerlerine aşağıdaki eşitlik (2.8) uygulanarak sonuç 0 ile 1 arasında değişecek şekilde sonuç elde edilmektedir.

$$P = \frac{1}{1+e^{-Z}} \quad (2.8)$$

Mantıksal regresyon modeline uygun olarak verilerin hazırlanması, değerlendirilmesi ve modelin çalıştırılması R programlama ile yapılmıştır.

2.3.3. İstatistiksel İndeks Yöntemi (SI)

İki değişkenli bir yöntem olan İstatistiksel İndeks, heyelan duyarlılığı haritalamada kullanılan hızlı ve uygun bir kantitatif yöntemdir (Chen vd., 2016). Bu yöntem, herhangi bir parametre grubunun heyelan yerleriyle ilişkilendirilerek ağırlık değerinin hesaplanmasına dayanmaktadır (Zhang vd., 2016). Ağırlık değeri, ilgili parametre ve alt gruptaki heyelan yoğunluğunun, dikkate alınan toplam alandaki heyelan yoğunluğuna oranının doğal logaritması olarak tanımlanmaktadır (Van Westen, 1997). Bu yöntem heyelan duyarlılığının değerlendirildiği birçok çalışmada kullanılmıştır (Çevik & Topal, 2003; Chen vd., 2016; Pourghasemi vd., 2013). İstatistiksel İndeks Yönteminin formülü (Eşitlik 2.9), (Van Westen, 1997):

$$W_i = \ln \left(\frac{Densclas}{Densmap} \right) = \ln \left(\frac{\frac{Npix(Si)}{Npix(Ni)}}{\frac{\sum Npix(Si)}{\sum Npix(Ni)}} \right) \quad (2.9)$$

W_i parametre sınıfının (litolojik birim, eğim sınıfı gibi) ağırlığını ifade etmektedir. $Densclas$, parametre sınıfındaki heyelan yoğunluğu; $Densmap$; tüm çalışma sahasındaki heyelan yoğunluğunu; $Npix(Si)$ parametre sınıfındaki heyelan içeren piksel sayısını; $Npix(Ni)$ parametre sınıfındaki toplam piksel sayısını ifade etmektedir (Van Westen, 1997). W_i değerinin pozitif olması ilgili parametrenin heyelan oluşumunda göreceli olarak daha etkin olduğu, negatif olması ise bu etkinin daha az olduğu anlamına gelmektedir.

2.3.4. Kanıt Ağırlığı Yöntemi (WOE)

Kanıt Ağırlığı yöntemi potansiyel maden alanları, gaz ve petrol kaynakları, yangın, habitat, heyelan gibi farklı konu başlıkları altında kullanılan jeo-istatistiksel bir yöntemdir (Fan vd., 2011). Bu yöntem veri odaklı bir yöntemdir ve bu nedenle yeterli veri mevcut olduğunda uygulanabilir. Gelecekte yaşanacak bir olayın olasılığı, geçmişte olayın yaşandığı alandan hareketle tahmin edilir (Regmi vd., 2010). Bu kapsamda heyelan duyarlılığını haritalama mantığı ile bu yöntemin örtüşmesinden dolayı pek çok çalışmada kullanılmıştır (Avcı, 2016; Chen vd., 2016; Guo vd., 2015; Othman vd., 2018). Yöntem Van Westen vd. (2003) tarafından matematiksel olarak ifade edilmiştir (Eşitlik 2.10, 2.11, 2.12).

$$W^+ = \ln \left[\frac{\frac{A1}{A1 + A2}}{\frac{A3}{A3 + A4}} \right] \quad (2.10)$$

$$W^- = \ln \left[\frac{\frac{A2}{A1 + A2}}{\frac{A4}{A3 + A4}} \right] \quad (2.11)$$

$$C = W^+ - W^- \quad (2.12)$$

Formülde bulunan A1 belirlenen bir alt sınıftaki heyelanlı piksel sayısını, A2 belirlenen sınıf dışındaki toplam heyelanlı hücre sayısını, A3 belirlenen sınıftaki heyelansız hücre sayısını ve A4 belirlenen sınıf dışındaki toplam heyelansız hücre sayısını belirtmektedir. A1+A2 heyelan hücre sayısının toplamını, A3+A4 ise sahadaki toplam hücre sayısını ifade etmektedir. C ise W^+ ile W^- arasındaki farktan bulunur ve ağırlık kontrastı olarak ifade edilir. Bir parametre sınıfında fazla sayıda

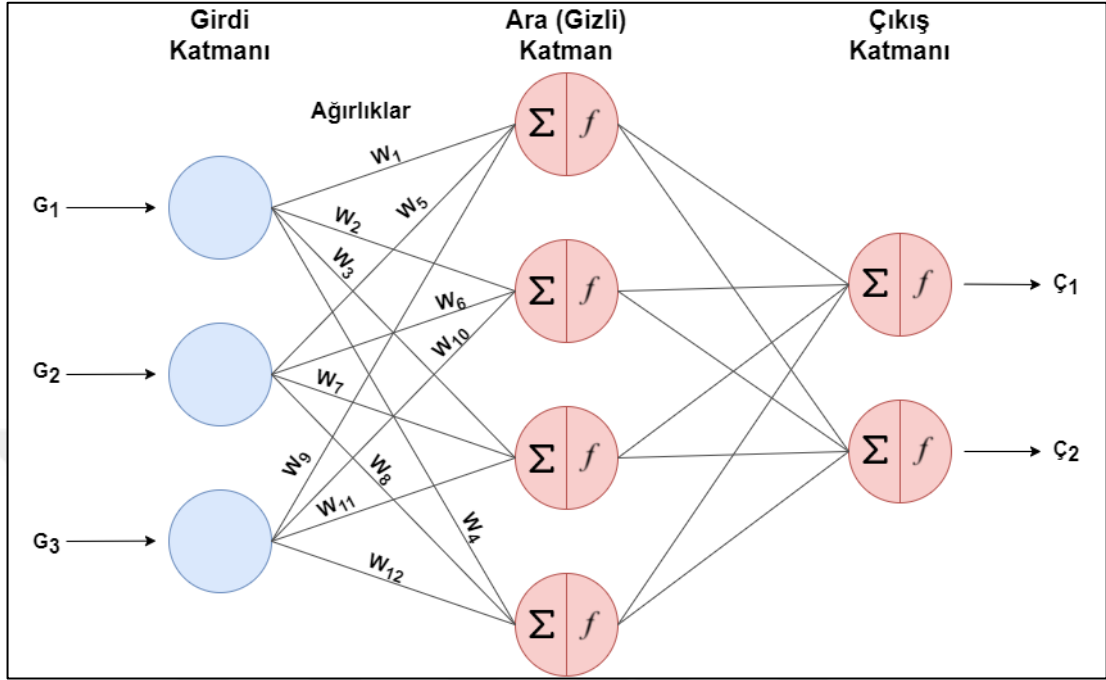
heyelan tespit edildiğinde W^+ pozitif değere; W^- ise negatif değere sahip olur. Tam tersi olarak bir parametre sınıfında sınırlı sayıda heyelan gerçekleştiğinde W^+ değeri negatif, W^- değeri ise pozitif olur (Bonham-Carter, 1994'den akt: Iliia & Tsangaratos, 2016). C değeri heyelan olayı ile tahmin değişkeni arasındaki konumsal ilişkiyi verir. Bu değerlerin sifıra eşit olması alt sınıfın heyelan açısından önemsiz olduğunu, pozitif ve negatifliği ise ilişkinin yönünü belirtmektedir (Polykretis & Chalkias, 2018; Vakhshoori & Zare, 2016). Her bir gride ait farklı parametre sınıfları üzerinden elde edilen C değerleri toplanarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

2.3.5. Yapay Sinir Ağları (ANN)

Yapay Sinir Ağları (ANN), heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde kullanılan niceliksel yöntemlerden biridir. ANN, biyolojik sinir sistemlerinden esinlenerek geliştirilmiş matematiksel ve bilişsel bir veri işleme modeli olarak tanımlanmaktadır (Polykretis vd., 2014). Oldukça karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel bilgi işleme gücüne sahip bir insan beyni gibi ANN, oldukça kompleks sistemlerin basitleştirilmiş bir aynasının üretilmesini sağlar (Nefeslioglu vd., 2011). ANN ile bir çeşit sınıflandırma temelli makine öğrenme süreci işletilmektedir. Burada sınıflandırma, elimizde var olan bilgilerin sınıflarının bilinmesi durumunda, yeni gelen bilgilerin sınıflarının tahmin edilmesi işlemidir. Bu danışmalı öğrenme sürecinde sınıfı belli olan örneklerden öğrenen sistem, sınıfı belli olmayan verileri kullanarak sınıfı tahmin eder (Bilgin, 2018). Heyelan çalışması özelinde düşünüldüğünde envanter üretimi ile heyelanlı alanlar belirlenmektedir. Heyelanlı alanlardaki çevresel bileşenlerin değerleri ANN sistemine verilerek hangi çevresel koşullarda heyelanların gerçekleştiğini sistemin öğrenmesi beklenir. Daha sonra sistem, heyelan ile ilgili her hangi bir kaydın olmadığı alanda heyelan gerçekleşme ihtimalini tahmin eder. Bu tahmin değerleri, heyelan duyarlılık değerlerini oluşturur.

Yapay sinir ağları yapısı üç ana katmandan oluşmaktadır (Şekil 2.11). Bunlar; girdi katmanı, ara katmanlar ve çıktı katmanıdır. Girdi katmanı, gelen bilgileri ara katmana aktarmaktan; ara katman, girdiden gelen bilgileri işleyerek çıktı katmanına aktarmaktan sorumludur (Öztemel, 2003). Ara katman birden fazla sayıda olabilir ve birden fazla nöron içerebilir. Bunları sayısı hususunda bir standart yoktur (Alp, 2019). Bu nedenle çalışma kapsamında farklı sayılarda katman ve nöron kullanılarak modeller üretilmiş ve bunlar içerisinden seçim yapılmıştır. Bu seçimin yapılmasında ANN modellerinin doğruluk değerleri dikkate alınmıştır. Doğruluk değerlerinin

hesaplanması amacıyla farklı ağ yapısındaki her model için karışıklık (confusion) matrisi kurulmuştur (Tablo 2.5). Her model için oluşturulan tablolardan elde edilen veriler ve eşitlik 2.13 kullanılarak doğruluk değerleri üretilmiştir.



Şekil 2.11. Yapay Sinir Ağı örnek görseli

Tablo 2.5. Karışıklık matrisi tablosu

	Tahmini Heyelanlı Alan	Tahmini Heyelansız Alan
Gerçek Heyelanlı Alan	TP	FN
Gerçek Heyelansız Alan	FP	TN

$$Doğruluk = \frac{(TP+TN)}{(TP+TN+FP+FN)} \quad (2.13)$$

Girdi katmanında modele verilen değişkenlerde standartlaşma işlemi uygulanmıştır. Bu işlem değişkenlerin büyüklükleri farklı olduğundan dolayı gerçekleştirilmektedir. Standartlaşma işlemi modelin performansını ve tahmin gücünü artırmak için uygulanmaktadır (Kim, 1999; Sola & Sevilla, 1997). Çalışma kapsamında minimum-maksimum standartlaştırma yöntemi (Al-Najjar vd., 2021) kullanılmıştır. Standardize edilen her bir girdi değişkeni belirli ağırlıklar olarak ara katmana, ara katmandan da çıktı katmanına iletilir. Bu iletim aşamasında aktivasyon fonksiyonu (etkinlik işlevi) olarak literatürdeki heyelan duyarlılığı çalışmaları (Can

vd., 2019; Dou vd., 2015; Soma vd., 2019) göz önünde bulundurularak lojistik (sigmoid) fonksiyon tercih edilmiştir. Yine literatürdeki çalışmalar (Harmouzi vd., 2019; Ortiz & Martínez-Graña, 2018; Park vd., 2013; Shahri vd., 2019) göz önünde bulundurularak öğrenme algoritması olarak geri beslemeli/yayılmalı yapay sinir ağı modeli tercih edilmiştir. Farklı mimaride kurulan bütün yapay sinir ağı modellerinde öğrenme katsayısı 0,01; durdurma kriteri olarak hata eşiği 0,01, iterasyon sayısı ise 100.000 olarak ayarlanmıştır. Öğrenme katsayısı, yapay sinir ağı yapısındaki ağırlıkların değişim miktarını; hata eşiği, model eğitiminin durdurulacağı kabul edilebilir hata miktarını; iterasyon, beklenen hata eşiğinin altına düşülmediği takdirde model eğitiminin durdurulacağı tekrar sayısını ifade etmektedir (Öztemel, 2003).

Çalışma kapsamında CBS ortamında hazırlanan çevresel bileşenler ve heyelan envanter haritaları R stüdyo ortamına aktırılmış ve ANN modeli burada kurulmuştur. ANN modeli “neuralnet” paketi (Fritsch vd., 2019) kullanılarak çalıştırılmıştır.

2.3.6. Doğruluk Değerlendirmesi

Çalışma kapsamında kullanılan 5 farklı yöntemin (Frekans Oranı, Mantıksal Regresyon, İstatistiksel İndeks, Kanıt Ağırlığı Yöntemi, Yapay Sinir Ağları) doğruluk/ performans değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme için ROC (Receiver Operating Characteristic Curve-Alıcı İşletim Karakteristik Eğrisi) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, olasılıksal tespit ve tahmin sistemlerinin kalitesini göstermek için kullanılan bir yöntemdir (Jaafari vd., 2014). AUC değeri 0,5 ile 1,0 arasında değişmekte, 1 mükemmel performans 0,5 ise kötü performans anlamına gelmektedir (Mandal & Mondal, 2018). 0,5 ile 1,0 arasında değişen AUC değerinin başarı performansı sınıfları Tablo 2.6’da verilmiştir.

Tablo 2.6. AUC değerlerinin sınıflandırılması (Gorunescu, 2011)

AUC Değeri	Niteliği
0,90 – 1,00	Mükemmel sınıflandırma
0,80 – 0,90	İyi sınıflandırma
0,70 – 0,80	Makul sınıflandırma
0,60 – 0,70	Zayıf sınıflandırma
0,50 – 0,60	Yetersiz sınıflandırma



Şekil 3.2. İyidere Havzası'ndan heyelan örnekleri

Çalışma alanında belirlenen heyelanların mekânsal dağılışlarına bakıldığında heyelanların çoğunluğunun havzanın aşağı çığırında olduğu görülmektedir. Özellikle havzanın ağız kısmından kuş uçuşu yaklaşık 10 km içeride heyelanların yoğunlaştığı görülmektedir. Havzanın yukarı kesimlerinde heyelanların yoğunluğu azalmakta, yalnızca vadi içlerinde gözlenmektedir. Kayma ve karmaşık hareket türüne sahip heyelanlar havzanın tamamında dağılış gösterirken akma türündeki heyelanlara havzanın aşağı çığırında rastlanmamıştır.

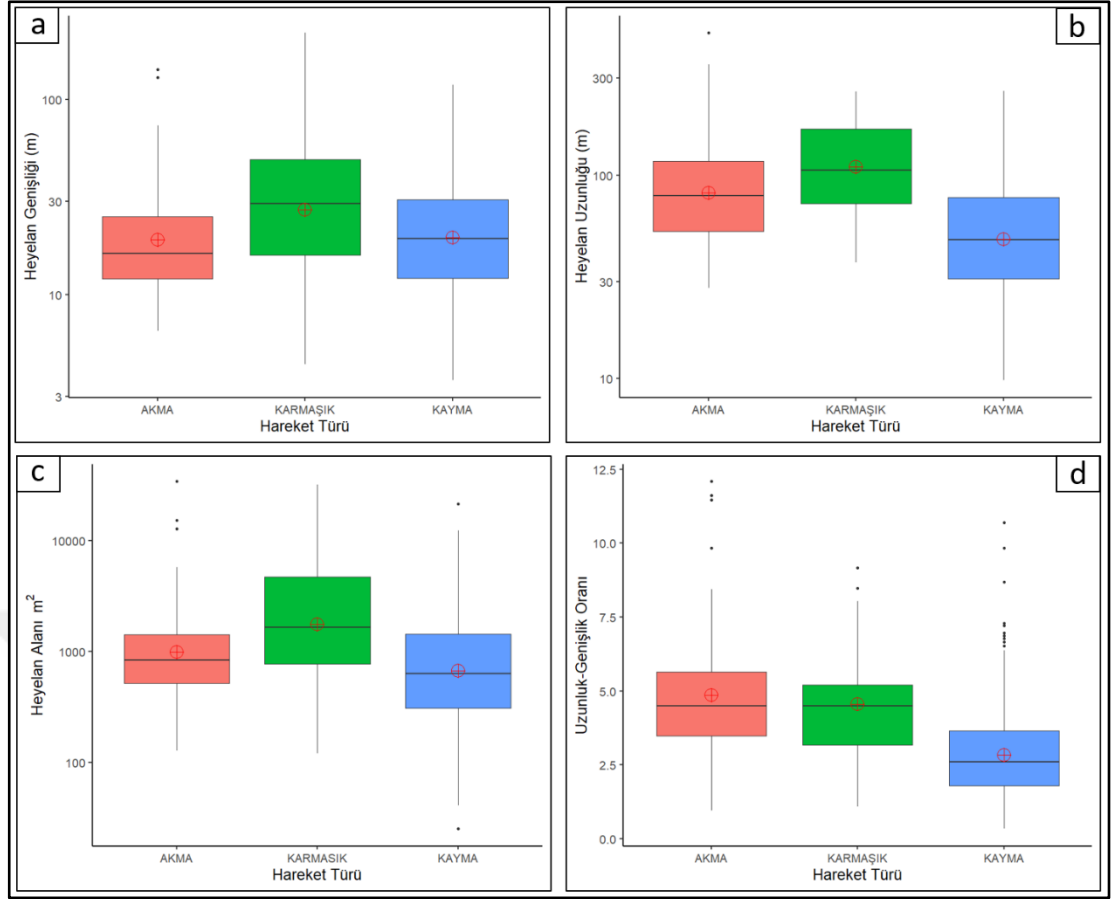
Heyelanların toplam alanı 909.045 m^2 'dir. Çalışma kapsamında oluşturulan envanterin orta ölçekli bir envanter olması nedeniyle heyelanların toplam alanının havza alanı oranı düşük olmakla birlikte, yine heyelan alanlarının küçük olması nedeniyle heyelan konumları nokta veri olarak gösterilmiştir (Şekil 3.1). Belirlenen

heyelanların ortalama alanı 1546 m²'dir. En büyük heyelanın alanı 34.090 m², en küçük olanının ise 25 m²'dir. Cornforth (2004) tarafından önerilen heyelanların alansal büyüklerine göre sınıflandırma değerleri dikkate alındığında İyidere Havzası'ndaki heyelanların önemli bir çoğunluğu (391) küçüktür (Tablo 3.1). Çok büyük ve olağanüstü büyük sınıfta heyelanlar tespit edilmemiştir.

Tablo 3.1. Heyelanların alansal sınıfları (Cornforth, 2004) ve bu sınıflardaki heyelan sayıları

Açıklama	Alan (m ²)	Heyelan Sayısı
Çok küçük	< 200	87
Küçük	200 – 2.000	391
Orta	2.000 – 20.000	107
Büyük	20.000 – 200.000	3
Çok büyük	200.000 – 2.000.000	0
Olağanüstü büyük	> 2.000.000	0

Heyelanların hareket türlerine göre alansal büyüklerinin temel istatistiksel değerleri de hesaplanmıştır (Tablo 3.2; Şekil 3.3.c). Ortalama alanı en büyük olan hareket türü karmaşık heyelanlardır. Sahada kayma veya çökme hareketi ile başlayan kütle hareketleri, toprağın da suya doymun olmasıyla akma şeklinde devam etmektedir. Özellikle yağışla tetiklenip bir yüzey boyunca hareket eden kütle, kayma yüzeyi topuğunu aştıktan sonra sahip olduğu akışkanlıkla birikme zonu boyunca da kütleli hareket ettirerek daha büyük alanda etkili olmaktadır. Bu bağlamda kayma ve akma hareketlerinin birlikteliği ile oluşan karmaşık hareket türündeki heyelanların alansal boyutları daha fazladır. Ortalama alansal boyutu en fazla olan hareket ikinci hareket türü de akmalardır. Akma hareketinde kütleler yamaç boyunca vadi içlerine kadar hareket edebilecek akışkanlığa sahiptir ve bu nedenle büyük alanlarda etkili olabilmektedirler. Nitekim İyidere Havzası'nda en büyük alana sahip heyelan akma türündedir. Kayma hareketinde ise makaslama direncinin azaldığı bir yüzey boyunca hareket eden kütle, kayma yüzeyi topuğunu aştıktan sonra depolanmakta ve birikme zonu oluşturmaktadır. Akmalara kıyasla kaymaların daha kısa mesafe hareket etmesi sonucunda etki ettikleri alan daha küçük olmaktadır. İyidere Havzası'nda da ortalama alanı en düşük olan heyelan türünün kaymalar olması bu izahı kanıtlamaktadır.



Şekil 3.3. Heyelanların alansal ve boyutsal özelliklerine ait kutu grafikler. Heyelan alanı, genişliği ve uzunluğu logaritmik (\log_{10}) ölçekte verilmiştir. \oplus :ortalama değeri ifade etmektedir.

Tablo 3.2. Hareket türlerine göre heyelanların alansal özelliklerinin temel istatistik bilgileri

	Tümü	Kayma	Akma	Karmaşık
Envanter Sayısı (n)	588	503	55	30
Ortalama (m^2)	1546	1.319	2.380	3.822
Maksimum (m^2)	34.090	21.420	34.090	31.969
Minimum (m^2)	25	25	128	121

Heyelanların uzunlukları da değerlendirilmiştir (Tablo 3.3; Şekil 3.3.b). Belirlenen 588 heyelan içerisinde en uzun olanı 499,59 m, en kısa olanı ise 9,82 m'dir. Heyelanların ortalama uzunluğu ise 66,77 m olarak hesaplanmıştır. Hareket türlerine göre heyelanların uzunluk değerleri kıyaslandığında, alansal özelliklere benzer sonuçlar çıktığı görülmektedir. Ortalama uzunluğu en fazla olan hareket türü karmaşık heyelanlardır. Kayma ve çökme hareketi ile başlayan kütle hareketlerinin akma şeklinde devam ederek uzun yol kat etmesi sonucunda ortaya çıkan karmaşık hareket türüne sahip heyelanlar daha yüksek uzunluk değerlerine sahiptir. Akma hareket türündeki heyelanlarda kütlelerin sahip olduğu akışkanlık neticesinde uzun yol

kat etmektedir. Karmaşık ve akmalara kıyasla kayma hareket türündeki heyelanlar havza içerisinde ortalama uzunluğu en az olanıdır.

Tablo 3.3. Hareket türlerine göre heyelanların uzunluk özelliklerinin temel istatistik bilgileri

	Tümü	Kayma	Akma	Karmaşık
Envanter Sayısı (n)	588	503	55	30
Ortalama (m)	66,77	59,28	101,82	125,91
Maksimum (m)	499,59	258,57	499,59	257,32
Minimum (m)	9,82	9,82	27,96	37,28

Heyelanların genişlik değerleri hesaplandığında 588 heyelanın ortalama genişliği 25,17 m olarak tespit edilmiştir (Tablo 3.4.). En geniş ve en dar heyelanların ölçüleri ise sırasıyla 218,56 m ve 3,64 m'dir. Hareket türlerine heyelan genişlikleri incelendiğinde ortalama genişlik en fazla karmaşık hareket türüne sahip heyelanlarda görülmüştür (Şekil 3.3.a). Maksimum genişlik değeri de yine karmaşık hareket türündeki heyelanda ölçülmüştür. Kayma ve akma hareket türündeki heyelanların ortalama genişlik değerleri birbirine yakındır. Kayma hareket türünün ortalama genişliği 24,36 m, akma hareket türünün ise 25,34 m'dir.

Tablo 3.4. Hareket türlerine göre heyelanların genişlik özelliklerinin temel istatistik bilgileri

	Tümü	Kayma	Akma	Karmaşık
Envanter Sayısı (n)	588	503	55	30
Ortalama (m)	25,17	24,36	25,34	38,38
Maksimum (m)	218,56	118,64	141,89	218,56
Minimum (m)	3,64	3,64	6,50	4,39

Heyelanların şekilsel özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla uzunluk-genişlik oranları hesaplanmıştır (Tablo 3.5; Şekil 3.3.d). Belirlenen heyelanların tamamının uzunluk-genişlik oranının ortalaması 3,12'dir. İyidere Havzası arazisinin sahip olduğu yüksek eğim değerleri ve heyelanları tetikleyen unsurun yağış olması, heyelanların genişliklerine göre ortalama 3 kattan daha fazla uzunluk değerine sahip olmasına neden olmaktadır. Hareket türü dikkate alındığında uzunluk-genişlik oranı en yüksek değere sahip olan akma türündeki heyelanlardır. Maksimum uzunluk-genişlik oranı da yine akma türündedir. Akma türündeki heyelanların akışkan bir kütleyle sahip olması ve yamaçlardan vadi içlerine kadar hareket edebilmesi neticesinde uzunluk-genişlik oranı yüksektir. Kayma hareket türüne sahip heyelan kütleleri, akış yönü istikametinde daha kısa mesafe hareket ettiğinden dolayı ortalama uzunluk-genişlik oranı en düşük olan hareket türü

kaymalardır. Minimum ortalama uzunluk-genişlik oranı değeri de kaymalarda tespit edilmiştir.

Tablo 3.5. Heyelanların uzunluk-genişlik oranı özelliklerinin temel istatistik bilgileri

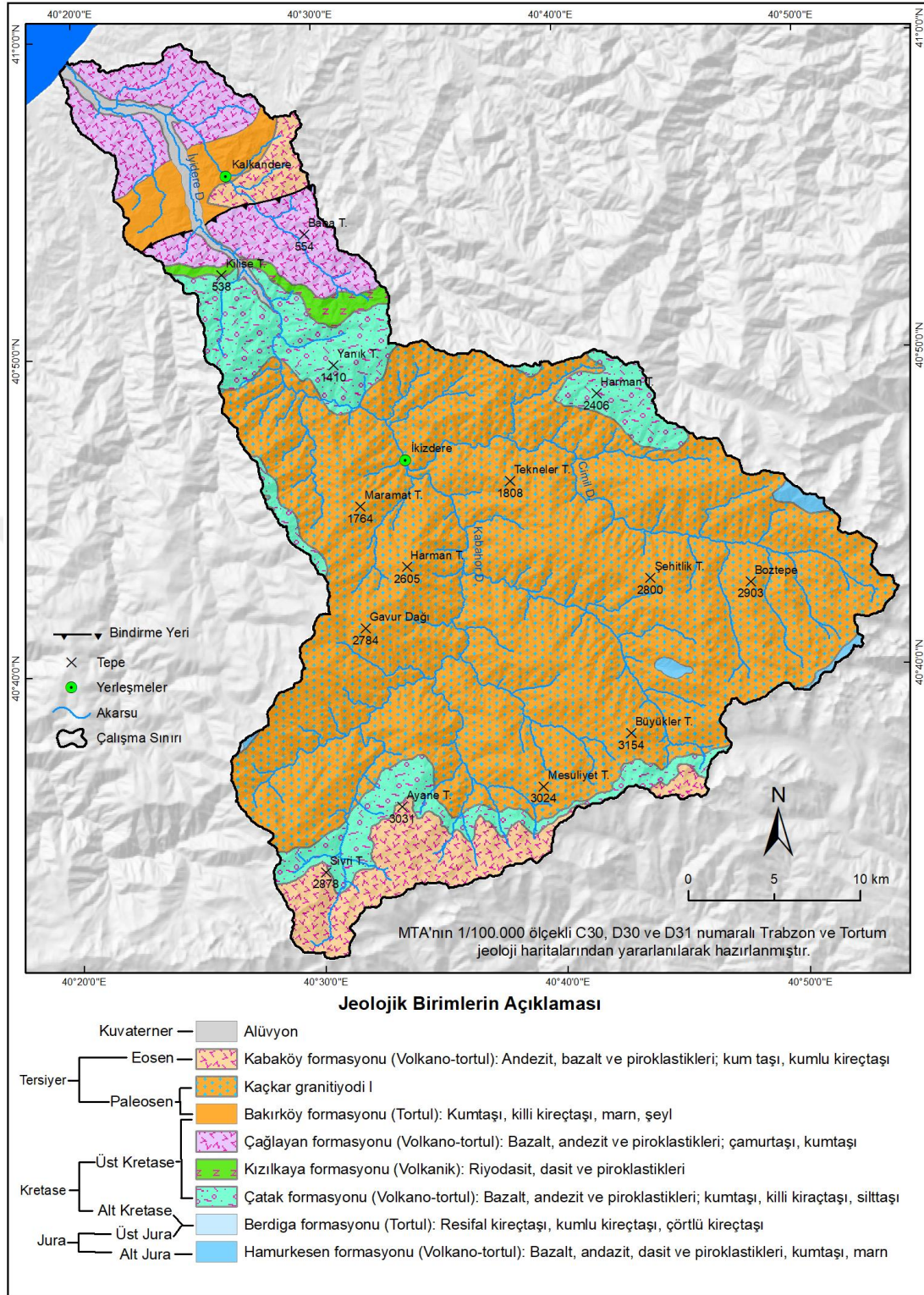
	Tümü	Kayma	Akma	Karmaşık
Envanter Sayısı (n)	588	503	55	30
Ortalama	3,12	2,84	4,87	4,57
Maksimum	12,09	10,70	12,09	9,18
Minimum	0,35	0,35	0,97	1,09

Çalışma kapsamında belirlenen heyelanlar, orta ölçekli bir envanter üretimi kapsamında tespit edilmiş, kayma yüzeyi ana kaya seviyesinin üzerinde bulunan sığ karakterli heyelanlardır. Belirlenen 588 heyelanın sığ karakterli olmasından dolayı bu aşamadan sonra heyelanlar ile heyelanlar üzerinde etkili parametreler arasındaki değerlendirme yapılırken hareket türü ayırımına bakılmamıştır.

3.2. Heyelan Duyarlılığı Üzerinde Etkili Parametreler

3.2.1. Litolojik Özellikler

Heyelanların anlaşılmasında litolojik birimler önemli bir çevresel bileşendir. Bu nedenle litolojik formasyonların dağılışı ve özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Eski bir ada yayı olan Doğu Karadeniz Dağları, Karadeniz'in güneydoğusu boyunca 500 km uzunluğunda 100 km genişliğinde bir alanda yayılmaktadır (Duman vd., 2007). Bu dağ sırasında bulunan İyidere Havzası içerisinde farklı jeolojik zamanlara ait litolojik birimler bulunmaktadır (Şekil 3.4). Bu birimler yaşlıdan gence doğru sıralanarak açıklanmıştır. Bütün birimlerin açıklaması bitirildikten sonra bu birimler ile heyelanlar arasındaki niceliksel ilişki değerlendirilmiştir.



Şekil 3.4. İyidere Havzası Jeoloji Haritası

3.2.1.1. Alt Jura Yaşlı Birimler

3.2.1.1.1. Hamurkesen Formasyonu

Çalışma sahasındaki en yaşlı istif olan Alt Jura (Liyas) yaşlı birim Ağar (1977) tarafından Hamurkesen formasyonu olarak adlandırılmıştır. Genellikle mor, yeşilimsi gri renkli bazalt, andezit, dasit, lav ve piroklastlardan oluşur (Güven, 1998b). Birim içerisinde volkaniklerin olduğu kesimler yüzeysel alterasyon nedeniyle kahve-kırmızı renklerde de görülür (Dokuz, 2000). Killi kireçtaşı, şeyl ve kumtaşı ara tabakaları da birim içerisinde bulunmaktadır. Birim içerisindeki bazaltlar intergranüler, mikrolitik ve porfirik dokulu olup bol olivinlidir (Güven, 1998b).

Hamurkesen formasyonu, İyidere Havzası'nın güneyinde genellikle su bölümü çizgisi çevresinde nispeten dar alanlı olarak yüzeylemiştir (Şekil 3.4). Formasyonun havza içerisindeki yüzeylediği toplam alan 6,62 km²'dir ve havzanın %0,63'üne karşılık gelmektedir.

3.2.1.2. Üst Jura-Alt Kretase Yaşlı Birimler

3.2.1.2.1. Berdiga Formasyonu

Formasyon Pelin (1977) tarafından Alucra'daki (Giresun) Berdiga Dağları civarında adlandırılmıştır. Berdiga formasyonu volkana-tortul istifler arasında yer alan karbonatlardan oluşmuş Üst Jura-Alt Kretase yaşlı bir istiftir (Güven, 1998a). Literatüre göre şu özellikleri taşıdığı belirtilmiştir: Genellikle gri renkli killi kireçtaşı, çörtlü kireçtaşı ve kumlu kireçtaşı kayaçlarını barındırmaktadır. Yüzeylediği alanlarda Üst Kretase-Paleosen yaşlı granitoidlerle kesilen kireçtaşlarının dokanaklarında manyetit ve hematit içeren zonlar gelişmiştir (Güven, 1998a, 1998b). Bu durum formasyon sınırında yer yer kontakt metamorfizmanın gerçekleştiğini göstermektedir. İyidere Havzası içerisinde Kabahor deresi alt havzasının batısındaki sınırında çok küçük bir alanda (0,11 km²) yayılış göstermiştir (Şekil 3.4).

3.2.1.3. Üst Kretase Yaşlı Birimler

3.2.1.3.1. Çatak Formasyonu

Çatak formasyonu, Maçka ilçesi güneyinde Çatak köyü civarında Güven (1993) tarafından adlandırılmıştır. Formasyon, neritik kireçtaşları (Berdiga formasyonu) üzerine uyumlu olarak gelen bazik karakterli, Üst Kretase yaşlı volkano-tortul bir istiftir (Güven, 1998b). İstif bazalt, andezit bileşimli lav ve

piroklastik kayaçları ile kumtaşı, silttaşı, marn, şeyl ve kireçtaşıdan oluşmaktadır (Demirbağ vd., 2018). Formasyon özellikleri literatürde (Alan vd., 2016; Güven, 1998a, 1998b) şu şekilde izah edilmiştir: Genel olarak gri-yeşil renk tonlarının hâkim olduğu birimde lav, tuf ve breşlerden oluşan volkanik seviyeler koyu gri ve siyah ayrıştığında ise kahve renklidir. Lavlar genellikle çatlaklı, kırıklı ve boşluklu olup etkin bir şekilde ayrışmıştır. Breş ve aglomeralar içerisinde sedimenter çakıl ve bloklar gözlenebilir. Kurşuni gri renkli kumtaşı, marn ve şeyller ise düzenli ince tabakalanmalıdır. Yer yer kırmızı-borda renkli mikritler ve rekristalize kireçtaşları görülmektedir. Formasyonunun, çökel istife bazik volkanizmanın eşlik ettiği yamaç-havza koşullarında oluştuğu belirtilmiştir.

İyidere Havzası'nda içerisinde Çatak formasyonu, genel itibariyle Kaçkar granitoyidi çevresinde yüzeylenmiştir. Formasyonun havza içerisinde yüzeylendiği toplam alan 123,15 km² ve havzanın %11,7'sine karşılık gelmektedir.

3.2.1.3.2. Kızılkaya Formasyonu

Kızılkaya formasyonu ilk kez Güven (1993) tarafından adlandırılmıştır. Riyodasit, dasit ve piroklastlardan oluşan asidik karakterli Üst Kretase yaşlı volkanik bir istiftir olan Kızılkaya formasyonu, Çatak formasyonu üzerine uyumlu olarak gelmiştir ve Çağlayan formasyonu ile uyumlu olarak üzerlenir (Güven, 1998b). Demirbağ vd. (2018) tarafından formasyon özellikleri şu şekilde izah edilmiştir: Dasitik lavlar sarımsı gri, sarımsı bej, grimsi yeşil, pembemsi, beyaz, morumsu renkleri ile prizmatik (sütunsal) kolon yapıları ile dikkat çekerler. Yersel olarak iri kuvars taneleri gözlenen birimde kayaç porfirik dokuludur. Dasitlerde alterasyona çok sık rastlanmakta ve bu altere olmuş alanlar sarımsı kahve renginde gözlenmektedir. Dasitler piritçe de zengin olup, killeşme, kloritleşme, hematitleşme de gözlenmektedir. Riyolitler ise grimsi beyaz renklidir ve dasitlere göre daha az yayılım göstermektedir.

Güven (1998b, 1998a) volkanik bir birim olması ve paleontolojik yaş tayinine yönelik verinin temin edilememesinden dolayı Kızılkaya formasyonunu, alttan ve üstten uyumlu olarak bulunan diğer istiflerin yaşından hareketle Türoniyen-Kampaniyen yaşlı olarak kabul etmiştir. Alan vd. (2019)'lerinin çalışma sahasında Kızılkaya formasyonu içerisinde bulunan mor renkli mikritik kireçtaşlarından alınan numuneler ve birimin alt-üst dokanakları dikkate alınarak Kızılkaya formasyonuna Santoniyen yaşı verilmiştir. Formasyon, asidik volkanizmanın etkili olduğu ada

yayının yamaç önü kesiminde gelişmiş olmalıdır (Alan vd., 2016'dan akt: Demirbağ vd., 2018).

İyidere Havzası'nda Kızılkaya formasyonu, Çatak ve Çağlayan formasyonları arasında kabaca kuzeybatı-güneydoğu istikamette bir şerit halinde uzanmaktadır. Formasyonun havza içerisinde yüzeleendiği toplam alan 11,25 km² ve havzanın %1,06'lık alanına karşılık gelmektedir.

3.2.1.3.3 Çağlayan Formasyonu

Çağlayan formasyonu ilk kez Güven (1993) tarafından adlandırılmıştır. Formasyon bazaltik-andezitik lav ve piroklastik kayalar ile kumtaşı, marn, killi kireçtaşı ara düzeylerinden oluşan Üst Kretase yaşlı volkana-tortul bir istifdir (Demirbağ vd., 2018). Güven (1998a) tarafından formasyona Kampaniyen-Maastrichtiyen, Alan vd. (2019) tarafından ise geç Santoniyen-Kampaniyen yaşı verilmiştir.



Şekil 3.5. Çağlayan formasyonuna (Üst Kretase) ait volkanik kayalar, Fındıklı (Kalkandere) yerleşmesi civarı

Çağlayan formasyonunun özellikleri literatürde (Alan vd., 2016; Demirbağ vd., 2018; Güven, 1998b) şu şekilde açıklanmıştır: Formasyon içerisindeki lavlar yeşil, koyu gri renkli, oldukça sert, kırıklı ve çatlaklı yapıdadır. Bazaltik lavlarda yastık yapıları görülürken, çok nadir de olsa prizmatik (sütunsal) soğuma yüzeylerine

de rastlanır. İyi tabakalanma gösteren tuf ve breşler, kireçtaşı ve lav parçaları içermektedir. Formasyon içerisindeki volkanik kayalar arasında yeşilimsi gri ve bordo renkli kumtaşı, marn ve mikritik kireçtaşı bulunmaktadır. Kumtaşları çoğunlukla volkanik elemanlıdır. Çağlayan formasyonunun bazik volkanizmanın etkili olduğu yer yer sığ, yer yer de derin denizel bir ortamda çökelmiş olabileceği belirtilmiştir.

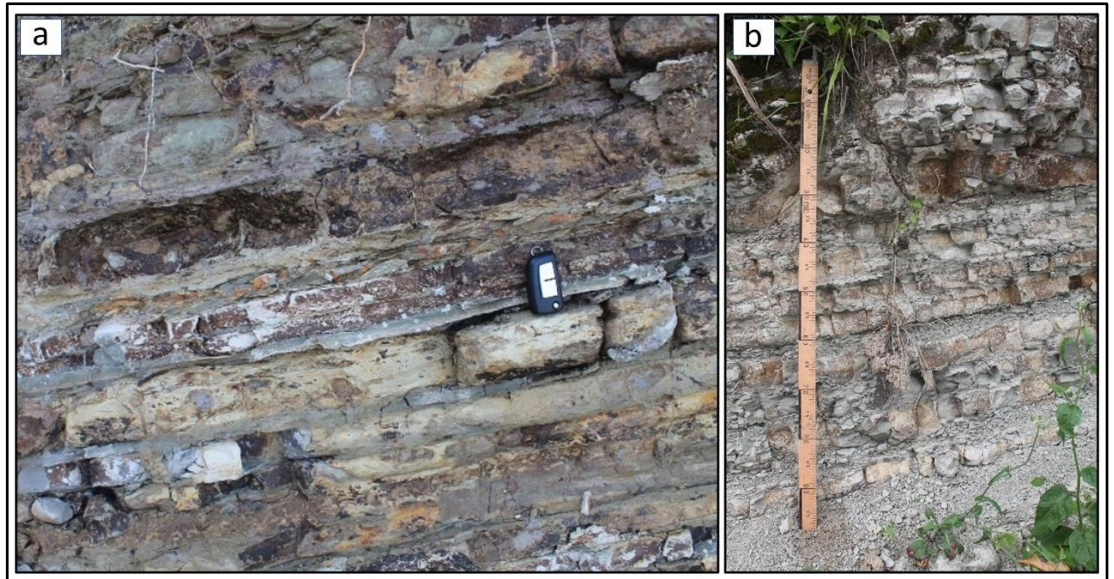
Çağlayan formasyonu, İyidere Havzası'nın aşağı çığırında yayılış göstermektedir. Formasyonun havza içerisinde yüzeleştiği toplam alan 87,02 km²'dir ve havzanın %8,27'sini kaplamaktadır.

3.2.1.4. Üst Kretase-Paleosen Yaşlı Birimler

3.2.1.4.1. Bakırköy Formasyonu

Bakırköy formasyonu Güven (1993) tarafından tanımlanmıştır. Bakırköy formasyonu, volkanik ve volkano-tortul istifleri üstleyen, türbiditik fasiyes çökellerinden müteşekkil Üst Kretase-Paleosen yaşlı sedimanter bir istiftir ve Hayrat ile Kalkandere arasında kabaca kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu, kuzeybatıya devrik bir senklinal içinde korunmuş bir şekilde bulunmaktadır (Güven, 1998b).

Killi, kumlu kireçtaşı, marn, şeyl ve az oranda kumtaşı araldanması ile oluşan Bakırköy formasyonunun litofasiyeslerinin ince tabakaları ve yerel kayma yapıları eğimli bir taban üzerinde çökelmiş olduğunu göstermektedir (Güven, 1998b).



Şekil 3.6. Bakırköy formasyonuna (Üst Kretase-Paleosen) ait birimler (a: Bayırca (Of) yerleşmesi civarı. b: Darılı-Gümüşören (Of) yerleşmeleri civarı)

Bakırköy formasyonu, İyidere Havzası'nın aşağı çığırında, Çağlayan formasyonu ile Kabaköy formasyonları arasında yüzeylemiştir. Formasyonun havza içerisinde yüzeylediği toplam alan 28,22 km²'dir ve havzanın %2,68'ine karşılık gelmektedir.

3.2.1.5. Paleosen Yaşlı Birimler

3.2.1.5.1. Kaçkar Granitoyidi-1

Canik Dağları'ndan Kaçkar Dağları'na kadar kuş uçuşu yaklaşık 500 km uzunluktaki bir kuşak boyunca yüzeyleyen granitoid kütlelerin en iyi mostra verdiği alanlar Kaçkar Dağları'dır (Ağan vd., 2017). Üst Kretase yaşlı birimleri kesen ve Eosen birimleri tarafından örtülen granitoidler Kaçkar Granitoyidi-1, Eosen yaşlı birimlerin içine intrüzyon yapmış olanlar ise Kaçkar Granitoyidi-2 olarak adlandırılmıştır (Güven, 1998b). İyidere Havzası sınırları içerisinde bulunan kütle Kaçkar Granitoyidi-1'dir.



Şekil 3.7. Kaçkar granitoidine (Paleosen) ait birimler ve granit arenaları, Büyükyayla civarı (İkizdere)

Kaçkar granitoyidi kütlesi granit, granodiyorit, tonalit, kuvars monzonit, diyorit ve gabroyik diyorit ana kayaçları ile monzonit, monzodiyorit ve monzo gabro bileşimli anklavlardan oluşmaktadır (Evcimen & Karslı, 2012). Birimdeki kayaç özellikleri Alan vd. (2016) tarafından izah edilmiştir: Granit, monzonit bileşiminde olanlar bej, pembe renklidir ve iri ortoklaz taneleri içermektedir. Alkali feldspat granitler açık yeşilimsi, grimsi renklidir. Kütle içerisindeki gabrolar ise yeşilimsi gri

renkli ve makroskobik olarak taneli dokuludur. Sert ve masifli yapıya sahip kütle çoğu yerde arenalaşmış olarak gözlenmektedir (Şekil 3.7).

İntrüzif bir kütle olan Kaçkar granitoyidi, KD-GB doğrultulu bir antiklinalin çekirdeğine yerleşmiş ve antiklinalin kanatlarında yer alan Alt Jura volkanitleri (Hamukesen formasyonu) ile Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarının (Berdiga formasyonu) kontakt metamorfizma geçirmesine neden olmuştur. Bu dokanak zonlarında demir cevherleşmeleri görülebilmektedir (Güven, 1998b). İyidere Havzası içerisinde Kaçkar granitoyidi içerisine sokulmuş dayklara rastlanabilmektedir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Kaçkar granitoyidi (Paleosen) içerisine sokulmuş dayk. Tulumpınar (İkizdere) köyü civarı

Bölgedeki magmatikler yitim zonu ile ilişkili yay magmatikleridir. Buradaki yitim Neotetis okyanus kabuğunun Pontid kıtası altına dalmasıyla oluşmaktadır. Granitoidlerin, yitim zonundaki okyanusal plakanın hızlı dalışı ile oluşan yüksek ısı ve kısmi ergime sonucu meydana gelen magmatik etkinliğe bağlı olarak sokulum yapmış olabileceği belirtilmektedir (Demirbağ vd., 2018; Gedik vd., 1992; S. Y. Sahin vd., 2004)

Kaçkar granitoyidi-1, İyidere Havzası içerisinde en geniş alana sahip jeolojik birimi oluşturmaktadır. Havzanın yukarı çıkırında yayılım gösteren kütlelerin havza içerisindeki toplam alanı 709,03 km²'dir ve havzanın %67,37'una karşılık gelmektedir.

3.2.1.6. Eosen Yaşlı Birimler

3.2.1.6.1. Kabaköy Formasyonu

Birim, Güven (1990) tarafından Kakaböy formasyonu olarak adlandırılmıştır. Kabaköy formasyonu, Üst Kretase yaşlı birimler üzerine taban konglomerası ile açısız uyumsuz olarak gelen Eosen (Lütesien) yaşlı volkano-tortul bir birimdir (Güven, 1998b). Genel itibariyle andezitik-bazaltik lav ve bunların piroklastiklerinde oluşan birim kumtaşı, kumlu kireçtaşı, marn ara tabakaları da içermektedir (Ağan vd., 2017). Formasyon özellikleri Güven (1998a) tarafından açıklanmıştır: Formasyon tabanında kırmızı-bordo renkli konglomeralar ve kumtaşları, bunların üzerinde marn ve bolca Nummulites içeren sarımsı renkli kumtaşı ve kumlu kireçtaşı tabakaları bulunur. Taban serisi üzerinde ise genel itibariyle düzenli tabakalanma gösteren yeşilimsi gri ve morumsu renkli andezitik, daha az bazaltik lav, aglomera, tüf, tüfit, kumtaşı ve kumlu kireçtaşı ardalanması gözlenmektedir. Prizmatik veya yastık yapıllı lavlara rastlanabilir.

Kabaköy formasyonuna ait volkanik kayalar genelde yoğun hidrotermal alterasyona uğramıştır (Ağan vd., 2017). Birim içerisine sokulmuş granitoid intrüzyonlarının çevresinde, Cu-Mo ve epitermal Au cevherleşmeleri önem arz etmektedir (Güven, 1998a).

İyidere Havzası içerisinde Kabaköy formasyonu, Kalkandere İlçesi'nin doğu-güneydoğusunda ve havzanın güneybatısında su bölümü çizgisi boyunca görülmektedir. Havza içerisinde formasyonun toplam alanı 72,89 km²'dir. Bu alan havzanın %6,92'sine karşılık gelmektedir.

3.2.1.7. Kuvaterner Yaşlı Birimler

İyidere havzasının jeomorfolojik özellikleri nedeniyle akarsular yüksek aşındırma gücüne sahiptirler. Aşındırılan malzemeyi taşıyan İyidere akarsuyu, vadisinin genişlediği ve hızının azaldığı denize yakın düzlük alanlarda bu malzemeyi biriktirmiştir. Kum, mil ve çakıldan oluşan bu güncel birikimler kıyıda yaklaşık olarak kuş uçuşu 18 km havza içerisinde başlamaktadır. Bu durum son buzul döneminde denizlerin günümüzdeki seviyeye göre 125 m kadar çekilmesi (Atalay, 2005) ile havzanın aşağı çıkırında vadinin yarıması ve akabinde buzul sonrası dönemde deniz seviyesinin yükselmesi ile meydana gelen boğulmayla ilişkilidir (Şekil 3.9). İyidere akarsuyunu çevreleyerek denize kadar bir koridor halinde uzanan

bu birimin toplam alanı 14,06 km²'dir ve havzanın %1,33'üne karşılık gelmektedir.



Şekil 3.9. Havzanın ağız kısmındaki kuvaterner yaşlı araziler

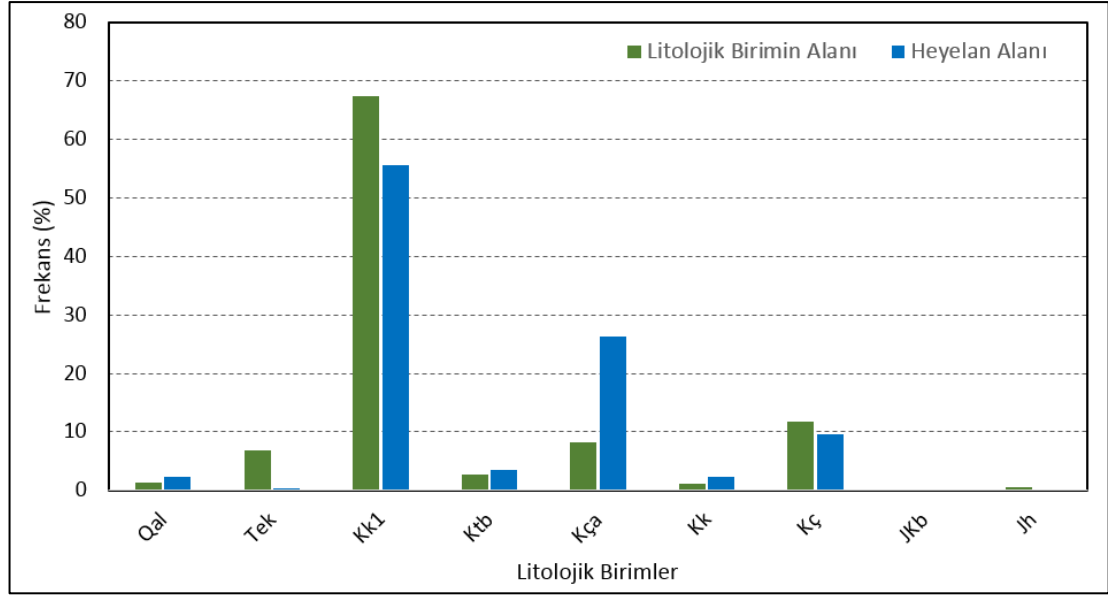
Bir sahanın litolojik özellikleri, o sahanın heyelana karşı duyarlılığına dair önemli bilgiler sağlayabilir (Gökçeoğlu & Ercanoğlu, 2001). Farklı litolojik birimlerin kayma dayanımı ve su iletme kabiliyetleri birbirinden farklıdır ve bu nedenle heyelan duyarlılığı üzerinde etkili olması beklenmektedir (Dai & Lee, 2002). Ayrıca litolojik özellikler bir sahadaki yer şekillerinin oluşumu üzerinde de etki yaratmaktadır (Erinç, 2015). Bu bağlamda litoloji, yer şekillerine (eğim durumu) etki ederek dolaylı yoldan jeomorfolojik süreçlerin bir parçası olan heyelanlara da etki edebilmektedir. Litoloji, toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin de önemli bir belirleyicisidir (Heckman & Rasmussen, 2011). Bu yönüyle de litoloji dolaylı olarak yamaçların kütle hareketlerine karşı duyarlılığını etkilemektedir. Doğu Karadeniz Bölümü'nde topografik yapının uygun olduğu kesimlerde çözülen materyalin önemli bir kısmı ana kaya üzerinde birikerek kalın bir enkaz örtüsü oluşturmuştur (Uzun & Uzun, 2003). Bu enkaz üzerinde de taşların parçalanması ile ortaya çıkan, topraktan farklı olarak içerisinde iri elemanlar bulunan ham toprak yani regolit (Ardos & Pekcan, 1997) oluşmaktadır. Bölgede görülen heyelanların büyük bir kısmı, oluşumunda litolojinin de etkili olduğu, enkaz ve toprak örtüsünü içeren regolitin hareketi ile oluşmaktadır (Uzun & Uzun, 2003). Bu kapsamda İyidere Havzası'nda heyelanlar değerlendirilirken litoloji parametresi de değerlendirmeye alınmıştır.

Volkanik bir istif olan Kaçkar Granitoyidi, İyidere Havzası'ndaki heyelan alanlarının %55,58'ini barındırmaktadır ve bu değer ile en fazla heyelan içeren litolojik birimdir (Tablo 3.6; Şekil 3.10). Kaçkar Granitoyidi havza içerisinde en fazla yayılış alanına sahip birimdir ve bu nedenle de en fazla heyelan alanına sahip birim olması olağandır. Litolojik birimin toplam alanı ve o birimdeki heyelan göz

önünde bulundurulurak değerlendirildiğinde Çağlayan Formasyonu heyelan yoğunluğunun en fazla olduğu (2,74) birimdir. İyidere Havzasının %8,27'sinde yayılım gösteren Çağlayan Formasyonu, İyidere Havzası'ndaki heyelanların %26,29'unu barındırmaktadır. Üst Kretase yaşlı volkana-tortul bir istif olan Çağlayan formasyonu, bazaltik-andezitik lav ve piroklastik kayalar ile kumtaşı, marn, killi kireçtaşı ara katkılarında oluşmaktadır. Heyelan yoğunluğu (1,86) en fazla olan ikinci litolojik birim ise Kızılkaya Formasyonudur. İyidere Havzası'nın %1,07'sinde yayılım göstermesine karşın heyelanların %2,31'ini barındırıyor olmasından dolayı heyelan yoğunluğu bu formasyonda yüksek çıkmıştır. Üst Kretase yaşlı; riyodasit, dasit ve piroklastlardan oluşan volkanik bir istiftir. Heyelan yoğunluğunun en fazla olduğu üçüncü litolojik birim alüvyon arazilerdir. Bu birimde yoğunluğun fazla çıkması, heyelanların vadi içerisinde kadar hareket etmesi ve heyelan eteklerinin alüvyon araziler üzerine gelmesinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.6. Litolojik birimler ile heyelanların alansal verileri

Litolojik Birim			Heyelan Alanı		Heyelan Yoğunluğu	
Adı	Simge	Alan		m ²		%
		Km ²	%			
Alüvyon	Qal	14,07	1,34	20646,70	2,27	1,47
Kabaköy For.	Tek	72,90	6,93	3963,24	0,44	0,05
Kaçkar Granitiyodi	Kk1	709,03	67,37	504754,35	55,58	0,71
Bakırköy For.	Ktb	28,22	2,68	31095,90	3,42	1,10
Çağlayan For.	Kça	87,02	8,27	238769,30	26,29	2,74
Kızılkaya For.	Kk	11,25	1,07	209444,60	2,31	1,86
Çatak For.	Kç	123,16	11,70	88037,87	9,69	0,71
Berdiga For.	JKb	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00
Hamurkesen For.	Jh	6,63	0,63	0,00	0,00	0,00



Şekil 3.10. Litolojik birimler ve heyelanların alansal dağılış grafiği.

3.2.2. Toprak Tekstürü

Toprak, kayaların ve organik maddelerin çözülüp parçalanmasından oluşan ve bu nedenle sürekli değişim halinde bulunan yer kabuğunun en üst kısmındaki tabakadır (Ertek, 2018). Anakaya, topografya, iklim, bitki örtüsü ve zaman faktörlerinin etkisinde toprak oluşmaktadır (Atalay, 2011a). Bu oluşum sürecinde kayalar ve mineraller fiziksel parçalanma ve kimyasal ayrışma suretiyle ufalanarak çeşitli irilikte taneciklere bölünürler (Sağlam vd., 1993). Toprağın katı fazını (organik ve inorganik) oluşturan bu taneciklerin boyutları, bunların birbirlerine bağlanma durumları ve agregat sistemleri toprağın fiziksel özelliklerini ifade eder (Atalay, 2011a). Toprağın su tutma kapasitesi, havalanması, geçirgenliği, plastikliği, köklerin toprağa girişi, bitki besin maddelerinin toprakta tutulması ve toprak kuru ve ıslak iken basınca direnci gibi özellikler toprağın fiziksel özellikleri ile ilgilidir (Ergene, 1997). Toprağın fiziksel özellikleri içerisinde önemli başlıklarından birisi toprak tekstürüdür. Toprağı oluşturan kum (2-0.02 mm), silt (0.02-0.002 mm) ve kil (<0.002 mm) boyutundaki tanelerinin yüzde oranları toprak tekstürünü ifade eder (Brohi vd., 1997). Toprak tekstürü, toprak kohezyonunu, su depolama kapasitesini, su akış hızını ve dolayısıyla hidrolik iletkenliği etkiler (Demiralay, 2010; Ließ vd., 2012). Toprakların hidrolik iletkenlikleri de heyelan açısından önemli bir toprak özelliğidir (Altun vd., 2016). Bu kapsamda heyelanlar üzerindeki etkisi göz önünde bulundurularak toprak tekstürü birçok çalışmada değerlendirmeye dahil edilmiştir

(Achu vd., 2020; Aditama, 2019; Cornforth, 2004; Gómez & Kavzoglu, 2005; Intarawichian & Dasananda, 2010; H. G. Kim vd., 2015; Kitutu vd., 2009; S. Lee vd., 2004; Saro Lee vd., 2003; Ma, 1994; Yalcin, 2007; Yaprak vd., 2018).

Heyelanlar ile çevresel bileşenler arasındaki ilişkilerin irdelendiği çalışmalarda toprak tekstürünün duyarlılık üzerinde en etkin parametrelerden birisi olduğuna yönelik saptamalar yapılmıştır (Kitutu vd., 2009; Mohammady vd., 2012; Nandi & Shakoor, 2010; Roy vd., 2019). Toprak tekstür sınıflarının hangilerinin duyarlılık üzerinde daha etkin olduğu hususunda ise kesin bir yargıya varılamamaktadır. Ağır bünyeli toprak tekstürüne sahip alanların daha yüksek heyelan duyarlılığına sahip olduğunu yönelik bulguların (Mokhtari & Abedian, 2019; Nahayo vd., 2019; Nsengiyumva vd., 2019; Wati vd., 2010) aksine; hafif bünyeli toprak tekstürüne sahip alanların daha yüksek heyelan duyarlılığına sahip olduğuna dair saptamalar da yapılmaktadır (Kornejady vd., 2018; S. Lee & Min, 2001; Patanakanog, 2001; Yeon vd., 2010). Hafif bünyeli topraklarda duyarlılığın daha yüksek oluşu toprak geçirgenliği ile ilişkilendirilmektedir. Bu topraklarda bulunan boşluk yapısı suyun derinlere sızmasına imkan tanımakta ve kayma yüzeyinin oluşmasını sağlamaktadır. Ağır bünyeli topraklarda duyarlılığın daha yüksek oluşu ise toprağın suyu tutması ile ilişkilendirilmektedir. Suyun tutulmasına bağlı olarak toprak hem ağırlaşmakta hem de suya doymun hale gelerek plastik ve likit limit sınırlarını aşmakta, nihayetinde stabilitesini kaybederek hareket etmektedir. Heyelan duyarlılığı ile toprak tekstür sınıfları arasında kesin bir yargının olmayışı çalışılan sahanın topografik özellikleri, iklim özellikleri, bitki örtüsü ve en önemlisi çalışma kapsamında üretilen envanterin özellikleri ilişkilidir. Bu kapsamda İyidere Havzası'nın da toprak tekstürü irdelenmiş, heyelanlar üzerindeki etkisi saha özelinde anlaşılmaya çalışılmıştır.

İyidere Havzası'nın sınırları içerisinde farklı yükselti ve arazi örtü sınıflarından alınan toprak örneklerinin (Tablo 3.8) tekstür oranları tespit edilmiştir. Toplanan toprak örneklerinden elde edilen elde edilen kum, kil ve silt değerlerine ait tanımlayıcı istatistiksel bilgiler de Tablo 3.7'de verilmiştir. İyidere Havzası topraklarında kum boyutundaki taneler en yüksek ortalama değere sahiptir. Ayrıca toplanan örneklerin tekstür sınıflarına bakıldığında da kum oranının yüksek olduğu toprak tekstürü sınıflarının oldukça fazla olduğu görülmektedir (Tablo 3.8). Bu durum ana kayadan kaynaklanmaktadır. Özellikle havzanın yüksek kesimlerinde

yayılış gösteren granitler üzerinde gelişen topraklardaki kum oranının yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 3.11). Kaçkar granitoidleri üzerinde gelişen topraklarda kum içerikleri %86'lara kadar çıkmaktadır. Granitler üzerinde oluşan toprakların kumlu olduğu bilinmektedir (Atalay, 1992; Mater, 2004). Bu durum İyidere Havzası'nda da açıkça gözlenebilmiştir. Havzanın aşağı çığırında ise kaba tekstür sınıfının yanı sıra ince ve orta tekstür sınıfları da yayılış göstermektedir. Kum taşı ve kumlu kireçtaşı ara katkılı volkano-tortul birimlerin (Çağlayan Formasyonu, Kabaköy Formasyonu) yayılış gösterdiği alanlarda kaba bünyeli topraklar yayılış göstermektedir. Killi kireçtaşı, marn ve şeyl barındıran Bakırköy Formasyonu'nun yayılış gösterdiği alanda ise ince ve orta bünyeli tekstürel özellik gösteren topraklar yayılış göstermektedir. Kireçtaşı ve marn kayaçlarının üzerinde kil oranı yüksek toprakların oluştuğu bilinmektedir (Sağlam vd., 1993). İyidere Havzası'nda toprak tekstürünün alansal olarak farklılaşmasında ana kayanın yanı sıra iklim özellikleri de etkili olabilir. Özellikle yağışlar ile ince olan unsurlar farklı alanlara taşınmış ya da toprakta daha derinlere inmiş olabilir.

Tablo 3.7. Ölçülen kum, kil ve silt değerlerine ait tanımlayıcı istatistikler

	Ortalama	En Büyük	En Küçük	Standart Sapma
Kum (%)	63,00	86,40	30,40	10,15
Kil (%)	15,50	53,60	4,88	7,24
Silt (%)	21,48	36,72	6,00	6,24

Tablo 3.8. Toprak örneklerine ait bilgiler

No	Yükselti (m)	Arazi Özelliği	Arazi Örtüsü	Tekstür Sınıfı
1	2529	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
2	2956	Düz	Çayır	Kumlu Tın
3	2431	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
4	2102	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
5	1985	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
6	1964	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
7	2373	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
8	2760	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
9	2702	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
10	2293	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
11	2096	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
12	1910	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
13	2302	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
14	1756	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
15	1603	Yamaç	Orman	Kumlu Tın
16	131	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
17	56	Yamaç	Çay Bahçesi	Killi Tın
18	158	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Killi Tın
19	273	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Killi Tın
20	253	Düz	Çay Bahçesi	Kumlu Killi Tın

Tablo 3.8. (devam)

No	Yükselti (m)	Arazi Özelliği	Arazi Örtüsü	Tekstür Sınıfı
21	194	Düz	Çay Bahçesi	Kumlu Killi Tın
22	123	Yamaç	Çay Bahçesi	Killi
23	219	Yamaç	Çay Bahçesi	Killi Tın
24	441	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
25	592	Yamaç	Tarla	Kumlu Tın
26	2199	Yamaç	Çayır	Tın
27	1366	Düz	Çayır	Kumlu Tın
28	1361	Yamaç	Çalılık	Kumlu Tın
29	2357	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
30	2500	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
31	2159	Düz	Çayır	Kumlu Tın
32	2474	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
33	2354	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
34	2025	Düz	Çayır	Kumlu Tın
35	1862	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
36	1710	Yamaç	Orman	Kumlu Tın
37	1482	Yamaç	Orman	Tınlı Kum
38	1808	Yamaç	Orman	Kumlu Tın
39	1397	Yamaç	Orman	Kumlu Tın
40	1204	Yamaç	Orman	Kumlu Tın
41	941	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
42	996	Yamaç	Orman	Tın
43	910	Düz	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
44	2421	Yamaç	Çayır	Tın
45	2148	Düz	Çayır	Kumlu Killi Tın
46	2227	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
47	1868	Yamaç	Orman	Kumlu Tın
48	2353	Düz	Çayır	Kumlu Tın
49	1831	Yamaç	Orman	Kumlu Tın
50	1134	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
51	2036	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
52	1679	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
53	1738	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
54	1920	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
55	1740	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
56	2194	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
57	2306	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
58	2551	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
59	2512	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
60	2370	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
61	1806	Düz	Çayır	Kumlu Tın
62	1225	Yamaç	Orman	Kumlu Tın
63	2254	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
64	2489	Yamaç	Çayır	Kumlu Tın
65	1809	Yamaç	Çayır	Killi Tın
67	2010	Yamaç	Orman	Kumlu Killi Tın
68	911	Yamaç	Çayır	Kumlu Killi Tın
69	939	Yamaç	Çayır	Kumlu Killi Tın
70	1398	Yamaç	Çayır	Kumlu Killi Tın
71	2287	Yamaç	Çayır	Killi
72	2054	Yamaç	Çayır	Killi Tın
73	1830	Yamaç	Orman	Kumlu Tın

Tablo 3.8. (devam)

No	Yükselti (m)	Arazi Özelliği	Arazi Örtüsü	Tekstür Sınıfı
74	1001	Yamaç	Orman	Kumlu Tın
75	882	Yamaç	Orman	Tın
76	632	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
77	771	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
78	561	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
79	400	Düz	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
81	230	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
82	321	Yamaç	Çay bahçesi	Kumlu Tın
83	233	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
84	575	Düz	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
85	195	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
86	270	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
87	249	Düz	Çay Bahçesi	Tınlı Kum
88	217	Düz	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
89	242	Düz	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
90	195	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
91	306	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
92	511	Yamaç	Çay Bahçesi	Tın
93	420	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
94	619	Yamaç	Çay Bahçesi	Tın
95	750	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Killi Tın
96	501	Yamaç	Çay Bahçesi	Kumlu Tın
97	395	Düz	Çay Bahçesi	Kumlu Tın

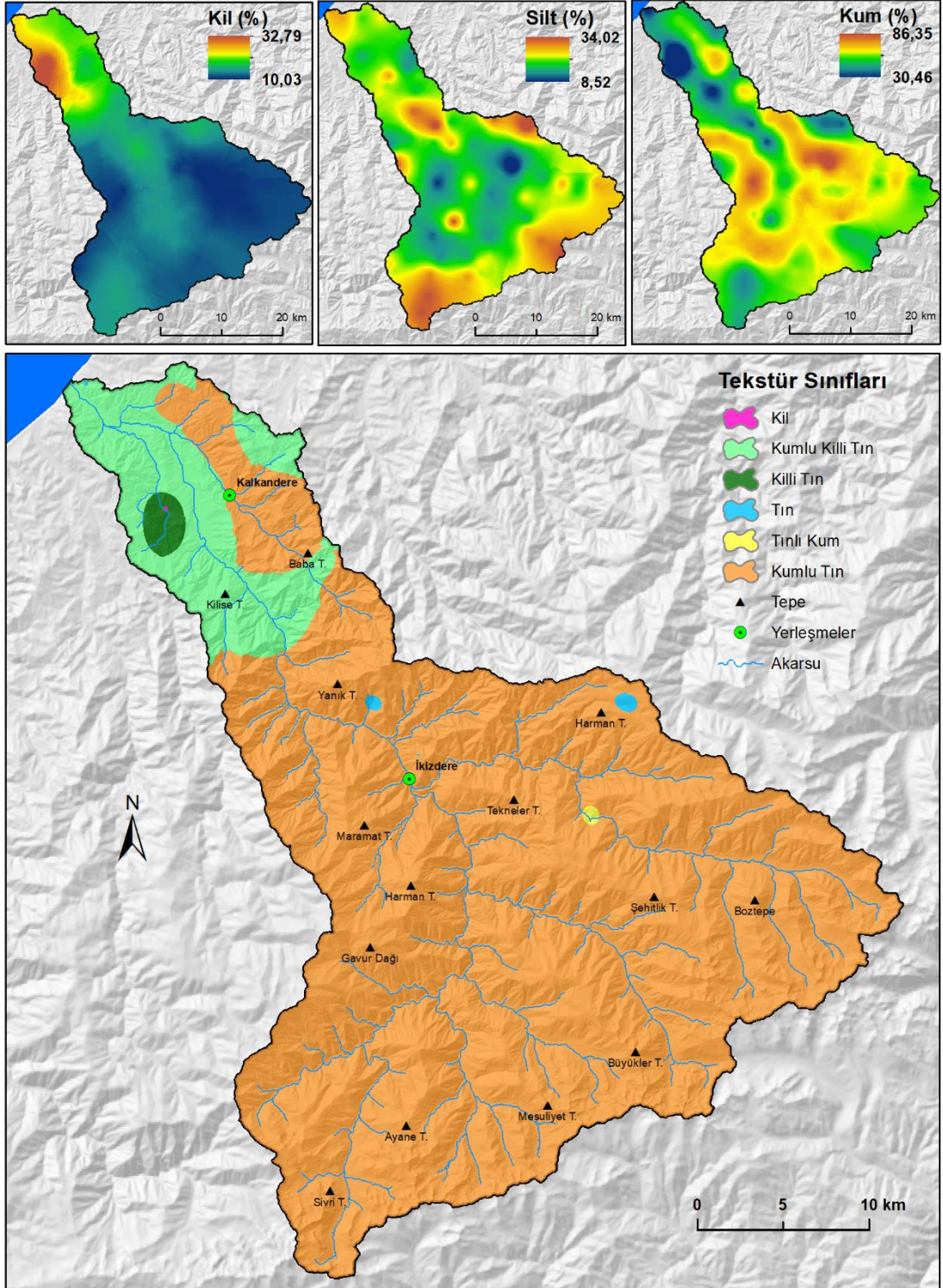
İyidere Havzası'nda belirlenen tekstür değerlerinin haritalanması için öncelikle jeostatistiksel değerlendirme ile en uygun enterpolasyon modeli belirlenmiştir (Tablo 3.9).

Tablo 3.9. Toprak tekstür özellikleri için elde edilen model verilerine ait parametreler

	Model	r^2	RSS	Nugget	Sill	Range	Dağılım ön işlemi
Kum	Küresel	0,836	80,8	0,10	92,29	5790	Normal
Kil	Küresel	0,727	1984	18,30	139,30	91100	Normal
Silt	Üssel	0,853	16,3	7,60	42,91	9600	Normal

Belirlenen model girdileri kullanılarak havzanın toprak tekstür haritaları üretilmiştir. İyidere Havzası'nda belirlenen 6 toprak tekstür sınıfına ait alansal veriler incelendiğinde; en geniş alanlı yayılışa kumlu tın sınıfı (934,88 km²) sahiptir (Tablo 3.10; Şekil 3.12). Havzanın %88,83'ünü bu tekstür sınıfı oluşturmaktadır. Bu tekstür sınıfı %50'nin üzerinde kum, %20'den az kil ve %30'dan az silt içermektedir. İkinci en fazla yayılış alanına sahip toprak tekstür sınıfı ise kumlu killi tınlı arazilerdir ve havzanın %10,21'nde yayılış göstermektedir. Bu tekstür sınıfı ise %20-35 arasında kil, %28'den az silt ve %45'den fazla kum içermektedir. Diğer tekstür sınıflarının

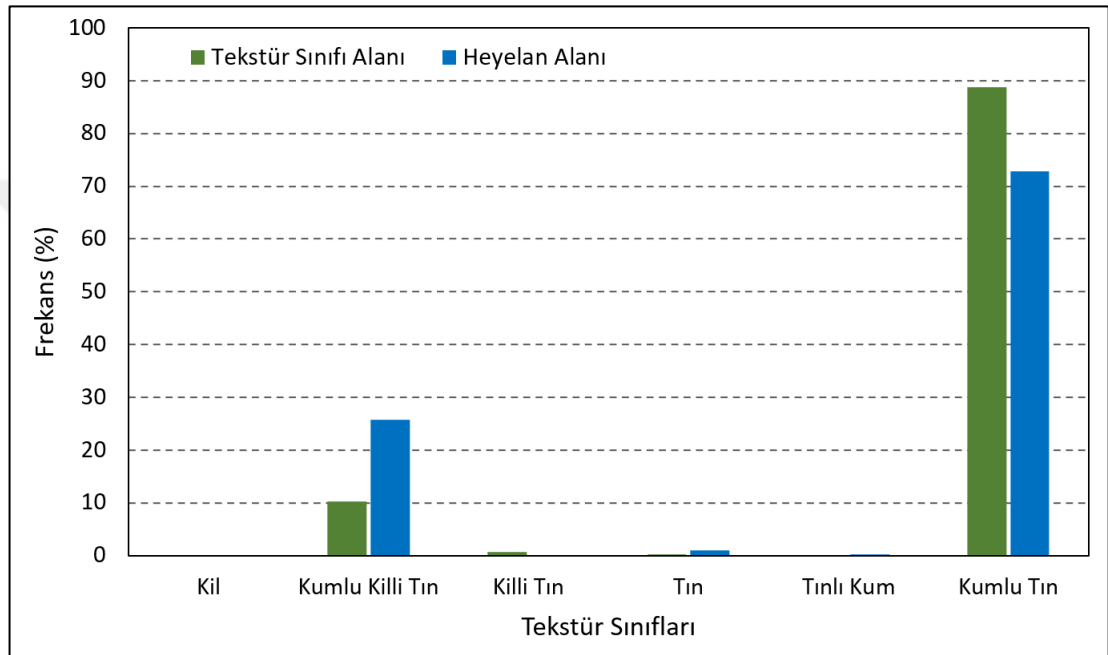
havza içerisinde kapladıkları alan %1,00'dan daha azdır. Tekstür sınıflarının havza içerisindeki yayılışlarının nedenlerine bir önceki paragrafta değinilmiştir.



Şekil 3.11. İyidere Havzası tekstür haritası

Tablo 3.10. Toprak tekstür sınıfları ile heyelanların alansal verileri

Toprak Tekstürü Sınıfı	Tekstür Sınıfı Alanı		Heyelanlı Alan		Heyelan Yoğunluğu
	km ²	%	m ²	%	
Kil	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00
Kumlu Killi Tın	107,46	10,21	234700	25,80	2,18
Killi Tın	7,27	0,69	1400	0,15	0,19
Tın	1,86	0,18	9700	1,07	5,22
Tınlı Kum	0,87	0,08	1800	0,20	2,07
Kumlu Tın	934,88	88,83	662200	72,79	0,71



Şekil 3.12. Tekstür sınıfları ile heyelanların alansal dağılış grafiği

Tekstür sınıfları ile heyelanlar arasındaki niceliksel ilişki incelendiğinde; en fazla heyelan alanı kumlu tınlı topraklar üzerinde tespit edilmiştir (Tablo 3.9; Şekil 3.7). İyidere Havzası'nda tespit edilen heyelanların %72,79'u bu tekstür sınıfı üzerinde yer almaktadır. En fazla heyelan alanını üzerinde barındıran ikinci toprak tekstürü sınıfı ise kumlu killi tınlı topraklardır (%25,80). Tekstür sınıflarının havza içerisinde kapladıkları alanları da göz önünde bulundurarak değerlendirme yapıldığında, kumlu killi tınlı sahalar üzerinde heyelan yoğunluğu daha fazladır. Çünkü bu toprak tekstür sınıfına havzanın %10,21'inde rastlanmasına karşın; heyelanların %25,80'i bu sınıfın sınırları içerisinde tespit edilmiştir. Kumlu tınlı topraklar havzanın %88,83'ünde yayılış göstermektedir. Ancak heyelanların %72,79'u bu tekstür sınıfı içerisinde yer almaktadır. Hesaplanan heyelan yoğunluğu değerlerine bakıldığında da kumlu killi tınlı sınıfın heyelan yoğunluğu (2,18), tınlı

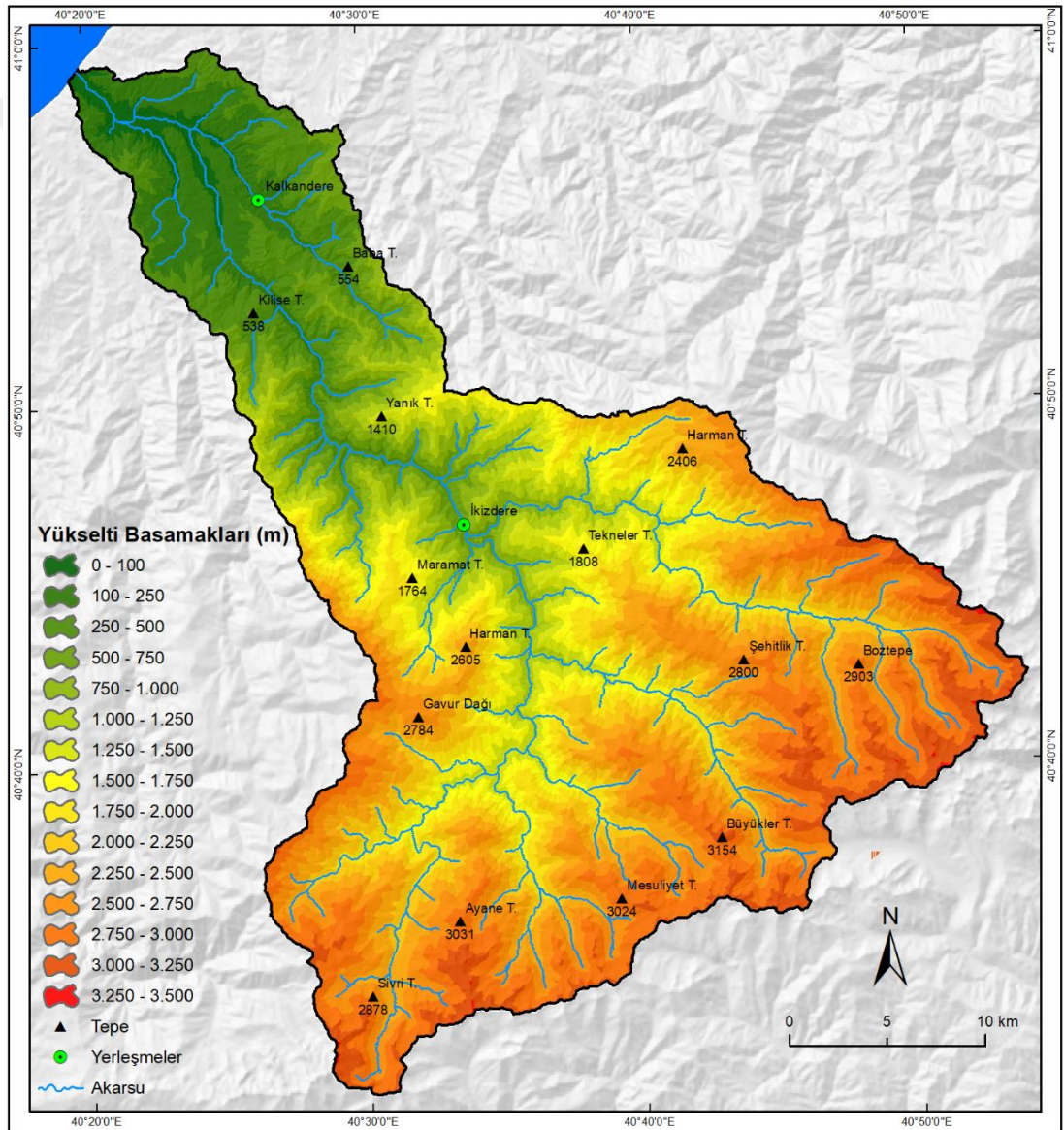
kumlu sınıfın heyelan yoğunluğundan (2,07) daha fazladır. Ancak heyelan yoğunluğu değerleri arasındaki farkın büyük olmayışı, İyidere Havzası'nda heyelanlar üzerinde toprak tekstüründeki farklılığın etkisinin sınırlı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum İyidere Havzası'nda toprak tekstür özelliklerinin çok büyük değişkenlik göstermemesiyle de alakalıdır. Havzanın yüzde 99,04'ünü kapsayan kumlu killi tın ve kumlu tın tekstürü sınıfları orta bünyeli (tınlı topraklar) tekstür grubu içerisine girmektedir. Bu durumda, tekstürün havza içerisinde mekânsal olarak önemli bir farklılık göstermeyişi, tekstür sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi İyidere Havzası özelinde sınırlandırmaktadır. Değerlenen iki tekstür sınıfı dışındaki diğer tekstür sınıflarının kapladıkları alanlar çok küçük olduğundan dolayı kıyaslama yapmanın doğru bir değerlendirme olmayacağı düşünülmektedir.

3.2.3. Yükselti

Belirli bir noktanın deniz seviyesinden olan yükseltisi heyelanlar üzerinde etki yaratmaktadır. Bu bağlamda duyarlılık çalışmalarının hemen hemen hepsinde yükselti parametresi kullanılmakta; heyelanlar ile belirli yükselti aralıkları arasında da ilişkiler saptanmaktadır (Greenbaum vd., 1995; Maçka, 2021; Ozdemir & Altural, 2013; Y. Wu vd., 2020). Göreceli olarak yüksek bölgelerin, alçak bölgelere kıyasla heyelana karşı daha duyarlı olabileceği şeklinde değerlendirmeler yapılmıştır (Gökçeoğlu & Ercanoğlu, 2001). Yapılan çalışmalarda bulunan ilişkiler, çalışılan havza özelinde geçerlidir. Yükselti ile heyelan olayları arasında genel geçer bir ilişki bulunmamaktadır (Gómez & Kavzoglu, 2005).

Yükselti parametresi heyelan aktivitesini dolaylı olarak kontrol edebilir. Yükseltinin artmasına bağlı olarak öncelikle iklim değişmektedir (Türkeş, 2010). İklimin değişmesi beraberinde bitki örtüsünde de değişime neden olmaktadır (Dönmez, 1985). İklim ve bitki örtüsü toprakların özelliklerinin ve toprak oluşum süreçlerinin değişmesine neden olmaktadır (Atalay, 2011a). Yükselti ile birlikte değişen bu çevresel bileşenler de heyelan oluşumunu etkileyebilmektedir. Yağış şekli, miktarı ve süresi gibi öğeleri ile iklim; ormanlık, çalılık ve çayır gibi farklı formasyon özellikleri ile bitki örtüsü; derinliği, geçirimsizliği ve tekstürü gibi özellikleri ile toprak; heyelan aktivitelerini kontrol etmektedir. Bu özellikler de yükselti ile birlikte değişim göstermektedir. Doğal bileşenlerdeki bu değişimin yanı sıra yükselti ile birlikte beşerî faaliyetler de değişmektedir. Yükselti, tarım alanları ve yerleşmeler için sınırlandırıcı bir rol oynamaktadır (Türkan, 2016). Bu bağlamda

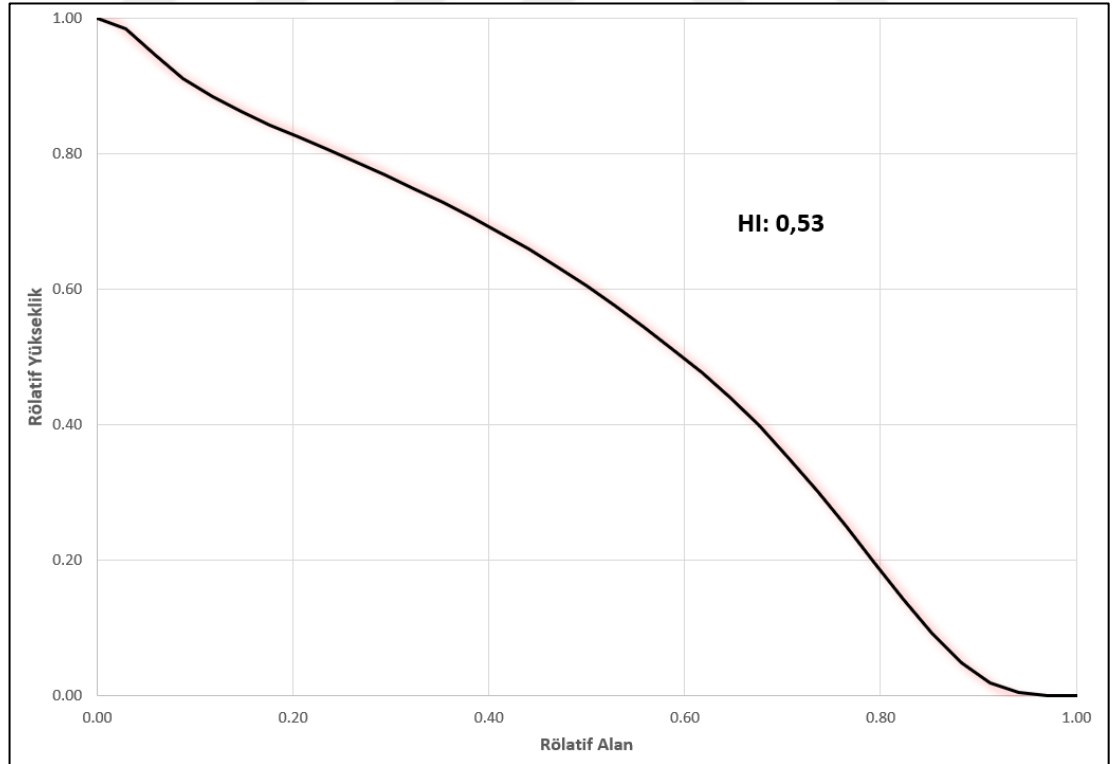
yükseltiye bağı olarak arazi kullanımındaki değişimler de heyelan aktiviteleri üzerinde etki yaratabilmektedir. Yerleşmelerin ve tarım alanlarının yayılışına paralel olarak oluşan karayolu ağları da yamaç duyarlılıklarını artırmaktadır (Uzun & Uzun, 2003). Bütün bu hususlara bakıldığında yükselti parametresinin dolaylı olarak heyelan aktivitelerini etkileme potansiyelinin olduğu açıktır. Ancak bu potansiyel ile ilgili genel geçer ile bir yargıya varılamaz. Her havzanın kendi özelinde değerlendirilerek heyelan-yükselti ilişkisinin ortaya koyulması daha doğru bir yaklaşımdır. Bu bağlamda İyidere Havzası'nda da yükselti sınıfları ile heyelan envanteri ilişkilendirilerek bir değerlendirmeye gidilmiştir.



Şekil 3.13. İyidere Havzası yükselti basamakları haritası

İyidere havzası, jeomorfolojik evrimine Mesozoyik sonundan itibaren kıvrılıp yükselmeyle başlayan, Oligosen sonundaki Alp orojenik hareketleri ile de en şiddetli yükselmeyi yaşayan Kuzey Anadolu Dağları'nın (Atalay & Mortan, 2011) kuzey aklanında bulunmaktadır. Havza sınırları içerisinde yükselti 0 ile 3425 m arasında değişim göstermektedir (Şekil 3.13).

Yükselti sınıfları ve yükselti sınıflarının alansal değerleri havzanın jeomorfolojik evrim süreci hakkında fikir vermektedir. Bu doğrultuda hipsometrik eğri ve hipsometrik integral değerleri kullanılmaktadır. Yüksek hipsometrik integral değeri, topografyanın genç ve derin vadilerle yarılmış olduğunu kanıtlamaktadır (Cürebal & Erginal, 2007). İyidere Havzası'nın hipsometrik integral değeri 0,53 olarak bulunmuştur. Havzanın hipsometrik eğrisi de genel itibariyle dış bükey bir görünüme sahiptir (Şekil 3.14). Dış bükey hipsometrik eğri ve elde edilen integral değeri, havzanın gençlik safhasında olduğunu göstermektedir (Keller & Pinter, 2002). Nitekim İyidere Havzası da derin vadilerle yarılmış, dış bükey hipsometrik eğri ve yüksek integral değeri ile gençlik safhasında olduğunu kanıtlanmış bir sahadır.



Şekil 3.14. İyidere Havzası'nın hipsometrik eğrisi ve hipsometrik integral değeri

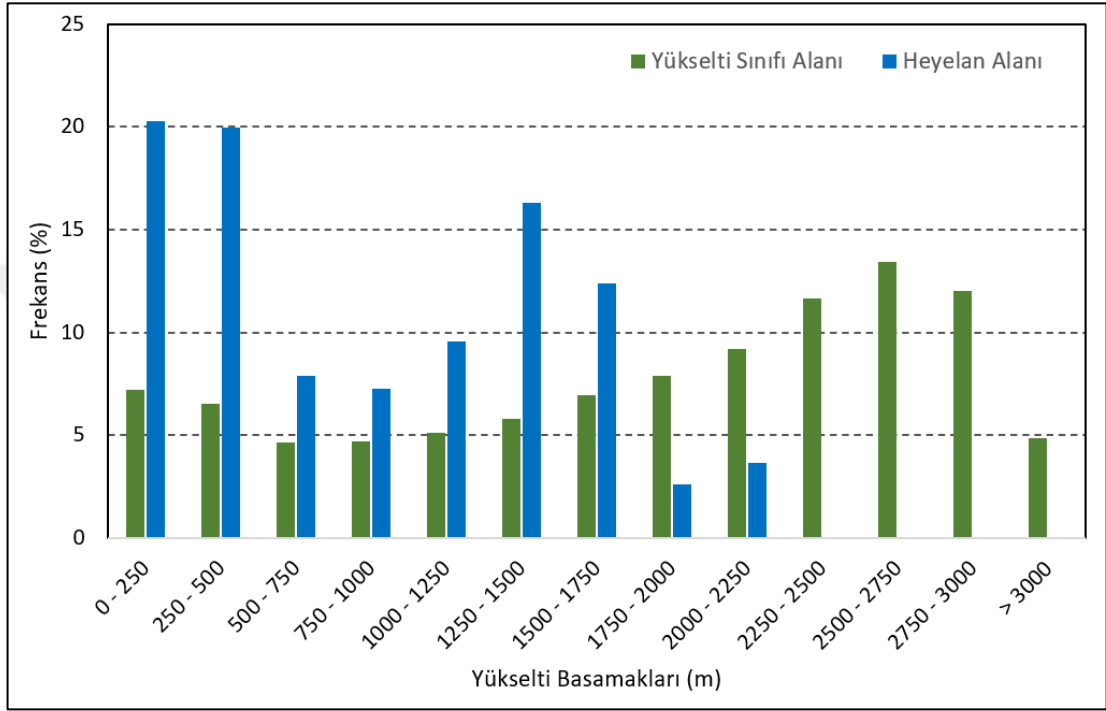
İyidere Havzası'nda heyelanlar ile yükselti arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla 250 m aralıklarla yükselti basamakları haritası oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yükselti sınıfları ile bu sınıflara karşılık gelen heyelanlara ait alansal veriler üretilmiştir (Tablo 3.11). İyidere Havzası'nda en geniş alana sahip yükselti aralığı 2500-2750 m'dir. En küçük alana sahip yükselti aralığı sınıfı ise 500-750 m'dir. İyidere Havzası'nda 2500 m yükseltinin üzerinde heyelanlara rastlanmamıştır. Havza içerisinde belirlenen heyelan alanların yükselti sınıfları içerisinde dağılımlarına oransal olarak bakıldığında; en fazla heyelan 0-250 m yükselti aralığında tespit edilmiştir (Şekil 3.15). Bu yükselti aralığı heyelanların %20,30'unu barındırmaktadır. En fazla heyelan alanı içeren ikinci yükselti aralığı ise 250-500 m'dir ve heyelanların %19,99'unu içermektedir.

Tablo 3.11. Yükselti basamakları ile heyelanların alansal verileri

Yükselti Basamakları (m)	Yükselti Basamakları Alanı		Heyelanlı Alan		Heyelan Yoğunluğu
	km ²	%	m ²	%	
0 - 250	76,15	7,24	184700	20,30	2,43
250 - 500	68,65	6,52	181900	19,99	2,65
500 - 750	48,73	4,63	71600	7,87	1,47
750 - 1000	49,66	4,72	66000	7,25	1,33
1000 - 1250	53,70	5,10	86800	9,54	1,62
1250 - 1500	61,26	5,82	148600	16,33	2,43
1500 - 1750	73,15	6,95	112600	12,38	1,54
1750 - 2000	82,85	7,87	23800	2,62	0,29
2000 - 2250	97,03	9,22	33400	3,67	0,34
2250 - 2500	122,77	11,67	400	0,04	0,00
2500 - 2750	141,20	13,42	0	0,00	0,00
2750 - 3000	126,27	12,00	0	0,00	0,00
> 3000	51,02	4,85	0	0,00	0,00

Havzada tespit edilen heyelanların yaklaşık %40'ının 0 ila 500 m yükselti arasında toplanmasının, yükselti ile beşeri faaliyetler arasındaki ilişkiden kaynaklandığı düşünülmektedir. İyidere Havzası'nda tarımsal aktiviteler ve yerleşmeler gibi insan faaliyetlerinin en fazla olduğu, doğal bitki örtüsünün neredeyse tamamen değiştirildiği alan yükseltinin nispeten az olduğu havzanın aşağı çığırındır. Bu bağlamda yükselti dolaylı olarak heyelan yoğunluğunu etkilemektedir. En fazla heyelan alanı içeren üçüncü ve dördüncü yükselti aralığı ise sırasıyla 1250-1500 m (%16,33) ile 1500-1750 m'dir (%12,38). Bu yükselti aralıkları, havzanın orta kesiminde İyidere ve kolları tarafından topografyanın derin bir şekilde yarıldığı ve

eğim değerinin yüksek olduğu yamaçlara, havzanın yüksek kesimlerinde ise akarsuyun yamaç stabilitesini bozduğu vadi içlerine karşılık gelmektedir. Bu nedenlerle de heyelan oranları yüksektir. Yükselti sınıfının toplam alanı ile o yükselti sınıfındaki heyelanların toplam alanından hareketle üretilen heyelan yoğunluğu değerlerine bakıldığında da sırasıyla yoğunluğun en fazla olduğu yükselti aralıkları; 250-500 m, 0-250 m, 1250-1500 m, 1500-1750 m’dir.



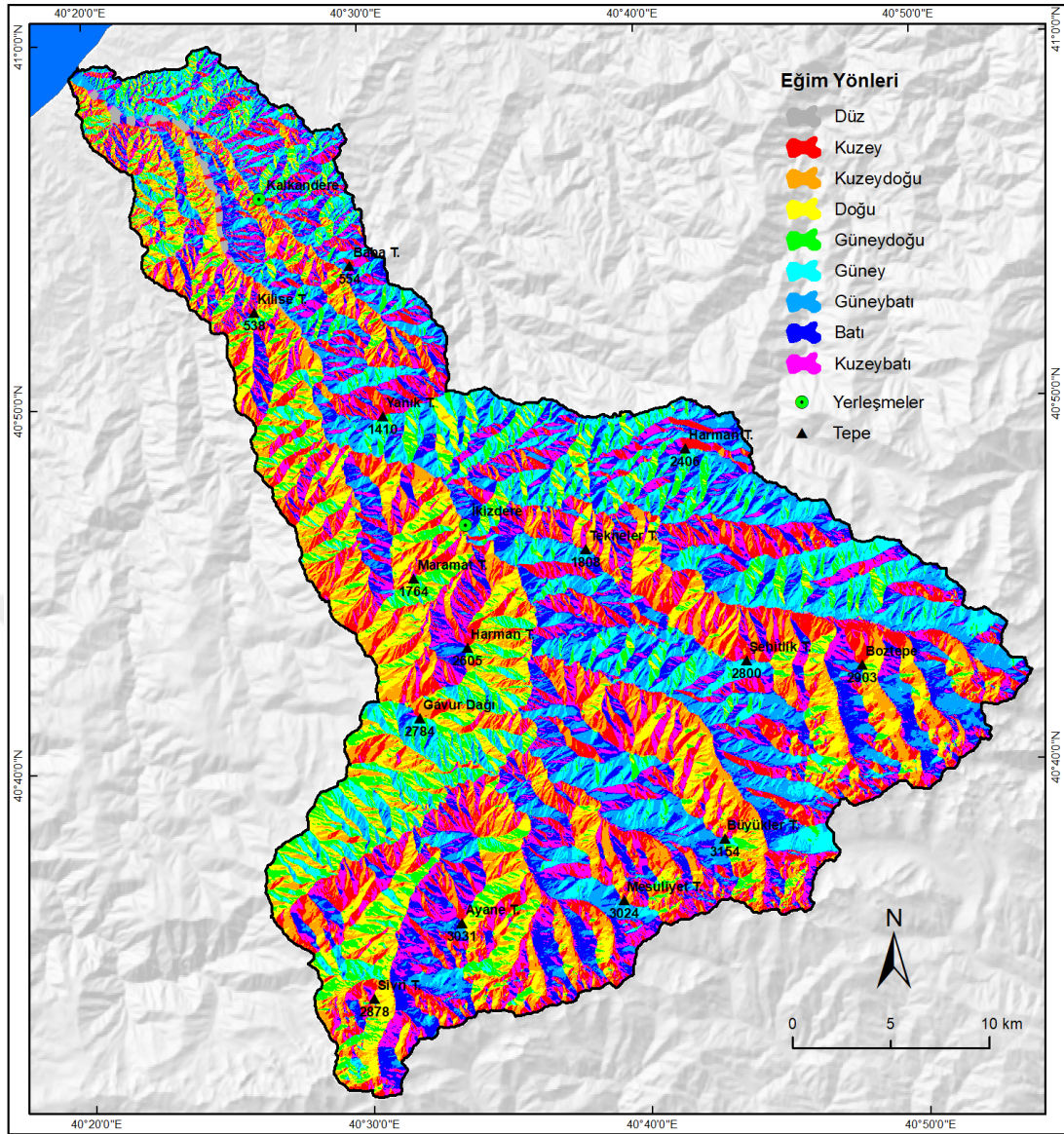
Şekil 3.15. Yükselti basamakları ve heyelanların alansal dağılışı grafiği

3.2.4. Bakı

Bakı (eğim yönü), eğimli bir topografyada arazi yüzeyinin hangi yöne baktığını ifade etmektedir. Heyelan duyarlılık çalışmalarında en çok kullanılan morfolojik parametrelerden birisidir (Dağdelenler, 2013). Bakı ile heyelan oluşma potansiyeli arasında doğrudan bir ilişki bulunmamakla birlikte; bakının kontrol ettiği birtakım koşullar heyelanlarla ilişkilendirilebilir. Çünkü eğim yönü yerel iklim koşulları, kayaçların çözülmesi ve bitki yetişme şartları gibi hususlarda önemli rol oynamaktadır (Hoşgören, 2014). Bu bağlamda düşünüldüğünde bakı koşulları hem heyelanı hazırlayıcı hem de tetikleyici faktörleri etkileyebilir. Ancak bu hususta kesin bir fikir birliği yoktur. Capitani (2013)’nin belirttiği üzere; bazı çalışmalarda heyelan oluşturma potansiyelini anlamak açısından bakı en önemli parametrelerden birisi olarak görülürken (Galli vd., 2008; Saro Lee, 2005; Yalcin & Bulut, 2007),

bazıları heyelan türleri ile sınırlandırmakta (Atkinson & Massari, 1998), bazıları ise heyelanı anlamada hiçbir etkisinin olmadığını savunmaktadır (Ayalew & Yamagishi, 2005; Çevik & Topal, 2003; Ohlmacher & Davis, 2003). Bakının heyelan oluşturma potansiyelini açıklamada bir fikir birliği olmadığı gibi hangi bakı yönünün heyelan oluşturma potansiyelinin daha yüksek olduğu konusunda da bir kesinlik yoktur. Kuzey yarımkürede yapılan çalışmalarda; Lee vd. (2002) güneydoğu, Nagarajan vd. (2000) batı ve kuzeybatı, Choi vd. (2012) doğu ve güneydoğu, Turan ve Dengiz (2017) kuzey, Pourghasemi vd (2013) kuzeybatı yönlerini potansiyeli en yüksek alanlar olarak saptamışlardır. Bunlar gibi bakı yönlerine farklı ağırlıklar veren çalışmaların örnekleri çokça artırılabilir. Bu durum göstermektedir ki; hangi bakı yönünün heyelan oluşumu üzerinde daha yüksek etkiye sahip olduğunun anlaşılması için bakının çalışılan alandaki diğer parametrelerle birlikte değerlendirilmesi ve konumun (özel ve matematik konum) göz önünde bulundurulması gereklidir.

Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü içerisinde yer alan İyidere Havzası'nda bakının değerlendirmeye katılarak heyelan oluşma potansiyeli üzerinde etkisinin olup olmadığını anlaşılması, eğer var ise hangi bakı yönünün baskın olduğunun nedenleri ile izah edilmesi önemlidir. Bu kapsamda İyidere Havzası'na ait bakı haritası üretilmiştir (Şekil 3.16). Bakı haritası incelendiğinde düz alanların havzanın yalnızca %1,1'ini oluşturduğu saptanmış ve bu alanlar bakı-heyelan değerlendirmesi dışında tutulmuştur. Kuzey yönlü yamaçların en fazla alansal dağılışa (%14,49) sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 3.12). Doğu Karadeniz dağlarının kuzey aklanında yer alan havzada bu durum normaldir. Alansal dağılımlarının büyüklüğü açısından kuzey bakıyı sırasıyla; kuzeybatı, batı ve güneybatı bakılar takip etmektedir. Bakı yönlerinin yüzölçümlerine ve bu yüzölçümlerin havza içerisinde kapladıkları alansal orana bakıldığında; bakı yönleri arasında büyük farklar olmadığı görülmektedir. Bu durum kuş uçuşu yaklaşık 60 km mesafede deniz seviyesinden 3000 m yükseltilere ulaşan bir havzanın sık drenaj şebekesi tarafından dar ve derin vadilerle parçalanmış olmasından kaynaklanmaktadır.

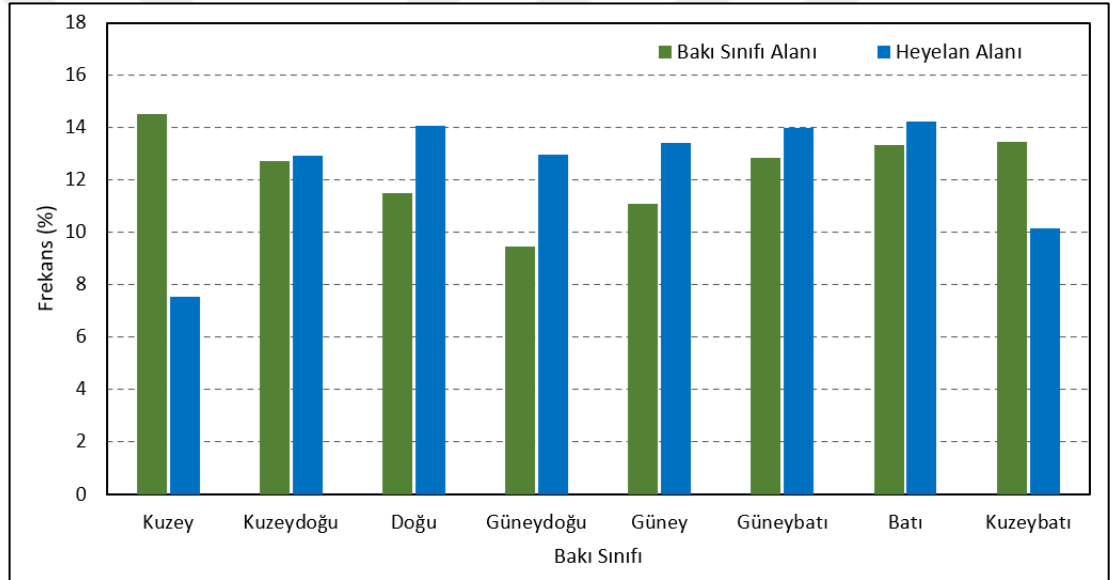


Şekil 3.16. İyidere Havzası bakı haritası

Tablo 3.12. Bakı sınıfları ile heyelanların alansal verileri

Bakı	Bakı Sınıfı Alanı		Heyelanlı Alan		Heyelan Yoğunluğu
	km ²	%	m ²	%	
Kuzey	152,54	14.49	68700	7.55	0.45
Kuzeydoğu	133,74	12.71	117700	12.94	0.88
Doğu	120,96	11.49	127800	14.05	1.06
Güneydoğu	99,63	9.47	117900	12.96	1.18
Güney	116,86	11.10	122200	13.43	1.05
Güneybatı	135,02	12.83	127200	13.98	0.94
Batı	140,20	13.32	129500	14.23	0.92
Kuzeybatı	141,75	13.47	92500	10.17	0.65

İyidere Havzası'nda eğim yönleri ile heyelanlar arasındaki niceliksel ilişki değerlendirildiğinde en az heyelanlı alana ve en düşük heyelan yoğunluğuna kuzey yönlü yamaçlarda rastlanmıştır. Kuzey yönlü yamaçların toplam alanın çok olmasına karşın heyelanlı alanlarının da az olmasından dolayı en düşük heyelan yoğunluğu bu eğim yönünde tespit edilmiştir. En yüksek heyelan yoğunluğuna güneydoğu (1,18), doğu (1,06) ve güney (1,05) bakılı yamaçlarda rastlanmıştır. Kuzey ve kuzeybatı bakı sınıfı hariç diğer bakı sınıfları arasında heyelan yoğunluğu açısından büyük farklar yoktur (Şekil 3.17; Tablo 3.12). Bu bağlamda heyelanlı alanların bakı sınıfları içerisindeki dağılışına bakıldığında anlamlı farklılıkların olmadığı görülmektedir. Bu hususlar göz önünde bulundurularak İyidere Havzası'nda eğim yönü ile heyelanlar arasında bir ilişki olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 3.17. Bakı sınıfları ve heyelanların alansal dağılışı grafiği

3.2.5. Eğim

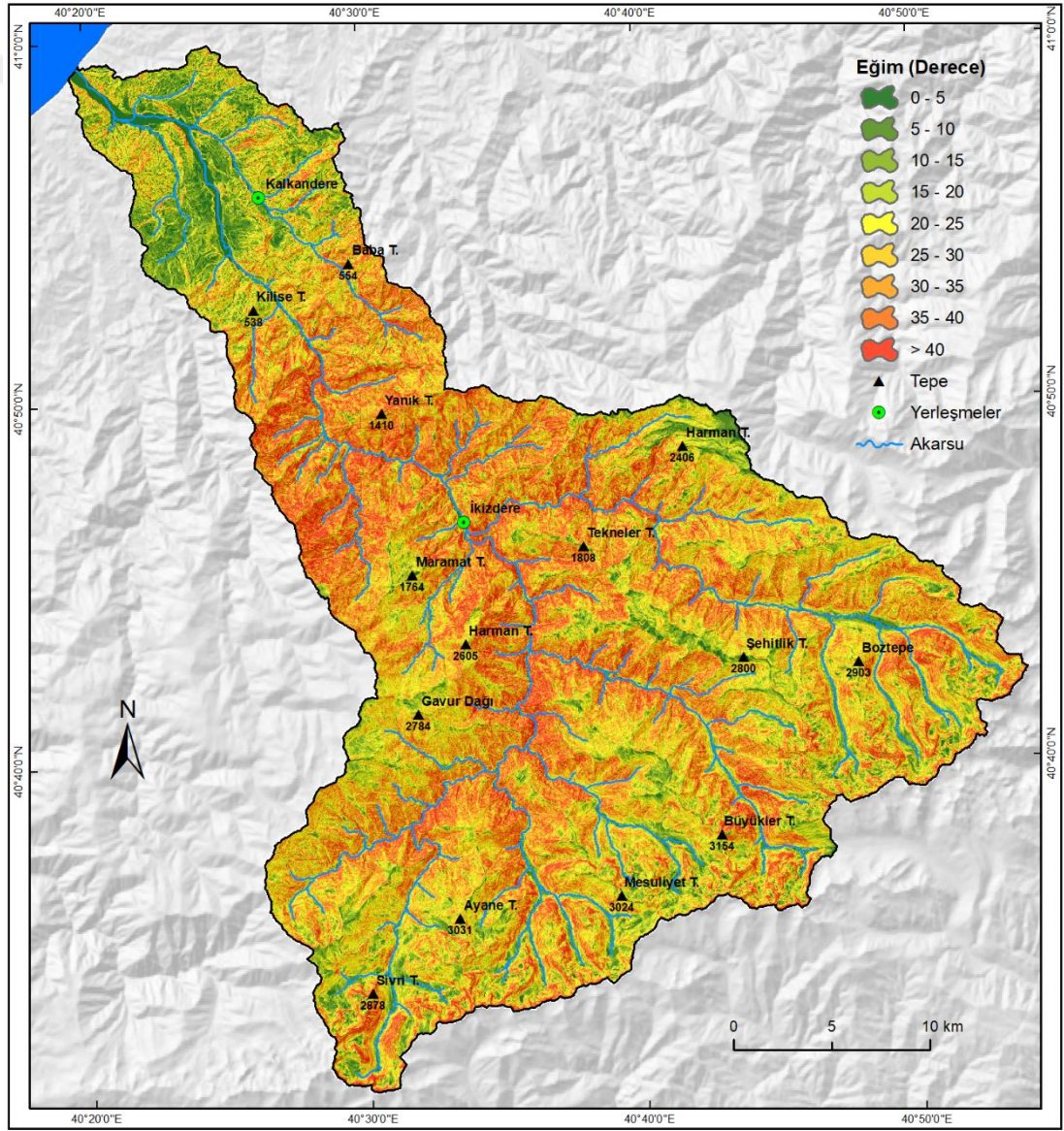
Eğim, topografya yüzeyinin yatay düzlemle yaptığı açıdır. Heyelanların gerçekleşmesine neden olan yerçekimi kuvveti ile doğrudan ilişkisi olan parametre eğimdir. Bu nedenle de duyarlılık çalışmalarında kullanılması akılcıdır. Nitekim eğim, duyarlılık çalışmalarında en çok kullanılan parametre olmuştur (Dağdelenler, 2013; Hasekioğulları & Ercanoğlu, 2012). Niteliksel yöntemlerle heyelan duyarlılığının değerlendirildiği çalışmalarda da eğim parametresi en yüksek ağırlığa sahip girdi olarak modellere dahil edilmiştir (Arca vd., 2019; Bahrami vd., 2020; Mallick vd., 2018). Eğim parametresinin hemen

hemen her çalışmada tercih edilmesi, heyelanı izah etmek hususunda önemli bir çevresel bileşen olmasının yanı sıra günümüzdeki mevcut imkanlar ile hızlı ve kolay bir şekilde üretilebilir olmasından da kaynaklanmaktadır.

Heyelan oluşuma potansiyelinin eğim ile birlikte artacağı belirtilmektedir (Kayastha vd., 2013; Lee & Min, 2001). Bu durum eğim arttıkça yamaçta bulunan malzemenin makaslama direncinin (shear stress) artması ile açıklanır (Lee & Sambath, 2006). Ancak eğim ile yamaçların duyarlılığı arasında karmaşık bir ilişki vardır (Moreiras, 2005). Bu nedenle de yüksek eğimden ziyade belirli eğim aralıklarında en yüksek heyelan frekansına rastlanabilmektedir (Hasekioğulları, 2010). Eğim açısındaki değişimden etkilenen diğer çevresel bileşenler, heyelan oluşma potansiyeli ile eğim açısı arasındaki pozitif korelasyonu bozmaktadır. Eğim, yüzey ve yeraltı su akışını, toprağın su içeriğini, toprak oluşumunu, erozyon potansiyelini ve çok sayıda önemli jeomorfolojik süreci etkiler (Altun vd., 2016; Gómez & Kavzoglu, 2005). Bu etkilerde heyelan oluşma potansiyelini kontrol eder.

Çalışılan saha özelinde belirli seviyelerden sonra eğim açıları arttıkça heyelan duyarlılığı azalır. Meusburger ve Alewell'in (2008) belirttiği üzere; çok yüksek eğimli yamaçlarda toprak örtüsü sürekli olarak yüzeysel erozyona maruz kalarak incelir. Daha ince bir toprak örtüsü de heyelanlara karşı daha az hassastır. Çünkü daha az yerçekimi kuvveti oluşur (Meusburger & Alewell, 2008). Yüksek eğimli yamaçlarda dayanımı yüksek kaya malzemelerin varlığı da heyelan oluşma potansiyelini azaltır (Ercanoğlu, 2005; Santacana vd., 2003). Nispeten dik eğimlerden gelen malzemeler ile oluşmuş daha alçaktaki daha az eğimli alanlarda, yeraltı suyu seviyesi ve olası doygunluğuna bağlı olarak da heyelan oluşma potansiyeli yükselebilmektedir. Bütün bu bilgiler göz önünde bulundurulduğunda; farklı çalışma alanlarında farklı eğim sınıflarının kullanılması ve her çalışmanın eğim sınıfları - heyelan frekansının farklı sonuçlar verdiği görülmektedir (Capitani vd., 2013; Gemitzi vd., 2011; Moreiras, 2005; Yılmaz, 2009). Eğimin yalnızca bir jeomorfolojik parametre olarak kalmayıp dolaylı olarak birçok bileşene etki etmesi eğim-heyelan ilişkisini karmaşıklaştırmaktadır. Bu durum havza özelinde eğim ve heyelan ilişkisinin değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya çıkartmaktadır. Bu sebeple çalışmada İyidere Havzası özelinde üretilen heyelan envanter verisi ile eğim koşulları değerlendirilmiştir.

İyidere Havzası'nda sayısal yükselti modeli kullanılarak tespit edilen en yüksek eğim değeri 73,06°'dir. Üretilen eğim verisi 5'şer derecelik sınıflara ayrılarak tematik harita elde edilmiştir (Şekil 3.18). İyidere Havzası'nda denizden itibaren havza içerisinde kabaca 10 km güneydoğu istikamette gidildikten sonra eğim değerlerinin ciddi bir şekilde arttığı görülmektedir. Akarsuların derin bir şekilde yardığı vadilerin yamaçlarında eğim değeri 25° üzerine çıkmaktadır. Havzanın yukarı mecralarında düşük eğim değerlerinin gözlendiğı sahalara; yer yer akarsuyun geniş bir vadi tabanı oluşturduğu alanlar ile akarsuların akaçlama alanları arasında kalan sırtlardır. Bu sırtlar havzanın en yüksekteki ve en yaşlı aşınım düzlüklerine karşılık gelmektedir.

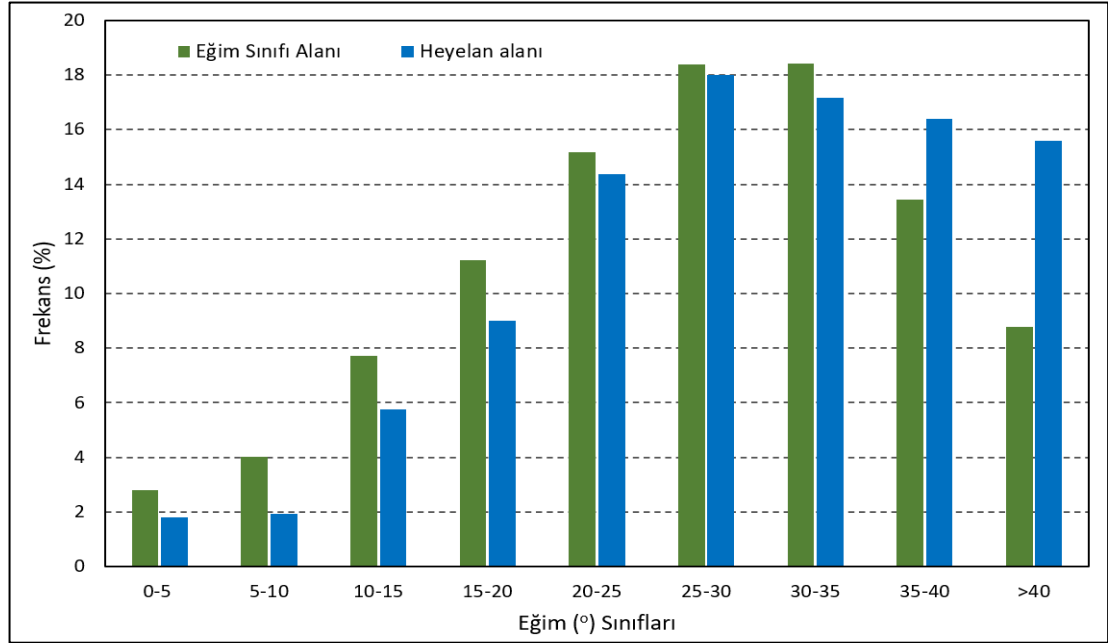


Şekil 3.18. İyidere Havzası eğim haritası.

İyidere Havzası'nın eğim sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişki niceliksel olarak değerlendirilmiştir. Havza içerisinde en az heyelan alanı 0° - 5° arasındaki eğime sahip yamaçlarda tespit edilmiştir (Tablo 3.13). Bu eğim sınıfını da sırasıyla 5° - 10° ve 10° - 15° derece eğim sınıfları takip etmektedir. Asıl kuvvetin yer çekimi olduğu heyelan olayında düşük eğim değerine sahip alanların en düşük heyelan alanına sahip olması beklendik bir durumdur. Havza içerisinde en fazla heyelan alanı tespit edilen eğim sınıfı ise 25° - 30° aralığıdır (Şekil 3.19). İyidere Havzası'ndaki heyelanların %18'i bu eğim aralığında gerçekleşmiştir. En fazla heyelan tespit edilen ikinci ve üçüncü eğim aralığı ise sırasıyla 30° - 35° ile 35° - 40° 'dir.

Tablo 3.13. Eğim sınıfları ile heyelanların alansal verileri

Eğim (°)	Eğim Sınıfı Alanı		Heyelanlı Alan		Heyelan Yoğunluğu
	km ²	%	m ²	%	
0 – 5	29,38	2,79	16300	1,79	0,55
5 – 10	42,51	4,04	17500	1,92	0,41
10 – 15	81,26	7,72	52300	5,75	0,64
15 – 20	118,11	11,22	81900	9,00	0,69
20 – 25	159,66	15,17	130900	14,39	0,82
25 – 30	193,60	18,40	163800	18,00	0,85
30 – 35	193,91	18,43	156200	17,77	0,81
35 – 40	141,55	13,45	149100	16,39	1,05
> 40	92,39	8,78	141800	15,59	1,53

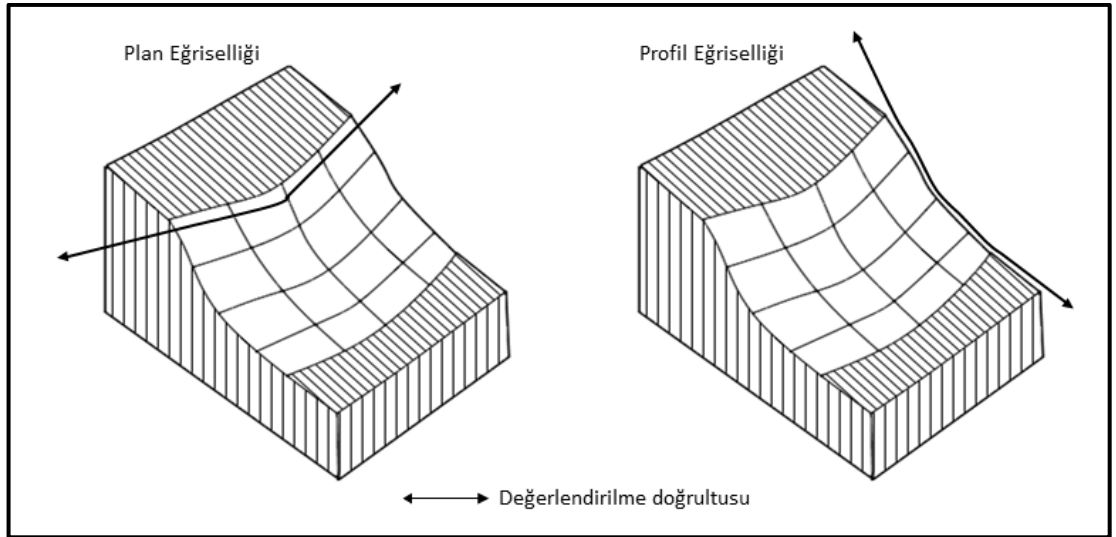


Şekil 3.19. Eğim sınıfları ve heyelanların alansal dağılışı grafiği

İlgili eğim sınıfının toplam alanını da değerlendirmeye tabi tutarak elde edilen heyelan yoğunluğu değerleri üzerinden eğim sınıfları birbiri ile kıyaslanmıştır. Alansal olarak en fazla heyelan 25° - 30° arasındaki eğim sınıfında tespit edilmesine karşın en yüksek heyelan yoğunluğu, eğimin 40° 'nin üzerinde olduğu yamaçlarda tespit edilmiştir. Heyelan yoğunluğu açısından bu eğim sınıfını, 35° - 40° ile 25° - 30° eğim sınıfları takip etmektedir. Genel olarak değerlendirmek gerekirse; İyidere Havzası'nda eğim ile heyelan yoğunluğu arasında pozitif korelasyon bulunmaktadır. Eğim arttıkça bir takım çevresel bileşenlerin değişimine bağlı olarak heyelan miktarının azalabileceği olasılığı İyidere Havzası için geçerli görülmemektedir.

3.2.6. Eğim Şekli (Eğrisellik)

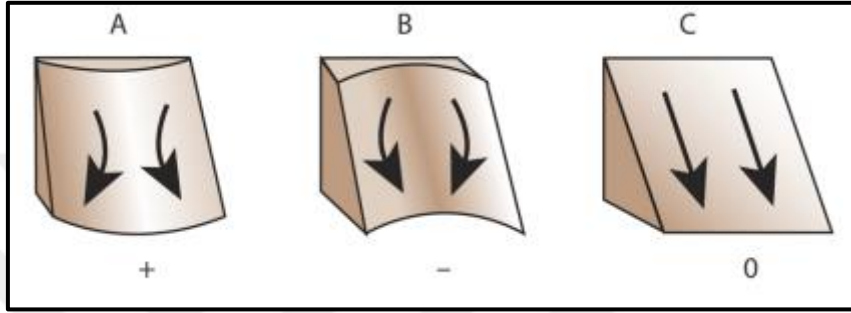
Eğrisellik, yamacın şeklini ortaya koyarak erozyon ve yüzeysel akış süreçlerinin anlaşılmasına yardımcı olan bir parametredir (Rejith vd., 2019). Daha anlaşılır bir ifade ile eğrisellik; topografik açıdan yamaç birimlerinin dış bükey, iç bükey ve düz olma durumlarını ortaya koymaktadır. Bu yamaç birimleri değerlendirildikleri doğrultuya göre profil yamaç eğriselliği ve plan yamaç eğriselliği olarak ayrılmaktadır (Şekil 3.20). Yamaca paralel olarak maksimum eğim değerine sahip hat boyunca saptanan eğri, profil eğriselliği; yamaç eğimine dik yönde saptanan eğrilik ise plan eğriligidir (Şahin, 2017).



Şekil 3.20. Plan ve profil eğriselliğinin değerlendirilmesi (Web 6'den değiştirilerek).

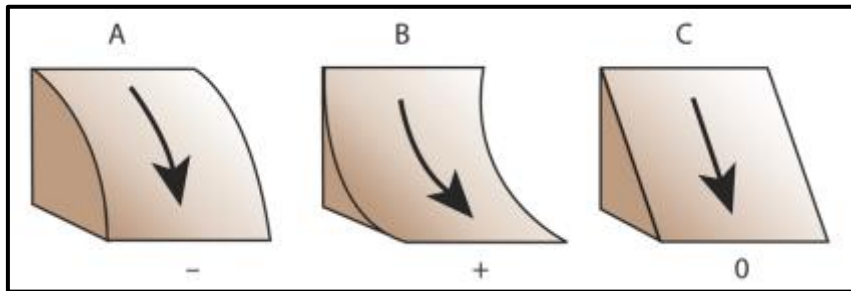
Plan eğrililiğinin yamaç birimleri olan iç bükey, dış bükey ve düz alanlar sırtların ve vadilerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır (Şahin, 2017). Bu üç farklı birim; oyuklar, burunlar ve nispeten düz alanlar olarak da ifade edilmektedir

(Ohlmacher, 2007). Plan eğriliği, uzaklaşan veya yakınlaşan akış alanlarının belirlenmesini sağlamaktadır (Erener & Düzgün, 2007). Yani drenajın yönünü izah etmektedir. Bu durum yamaç boyunca suyun birikme, kanalizasyon, aşındırma gibi durumlarını kontrol eder. İçbükey (yakınsak) alanlar yüksek aşındırma potansiyeline sahipken; dışbükey alanlarda bu potansiyel düşüktür. İç bükey alanlarda suyun birikimi artarken; dış bükey alanlarda azalır. Mekânsal analiz sonucu elde edilen plan eğriliği verisinde pozitif değerler dış bükey (konveks), negatif değerler iç bükey (konkav), sıfır ise düz yamaç birimlerini ifade etmektedir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Plan yamaç eğriliği (Web-7). (A: Dışbükey, B: İçbükey C: Düz)

Profil eğriliği, yamaç üzerindeki suyun akış hızını, sedimentlerin yamaç boyunca taşınmasını kontrol etmektedir (Görüm, 2006). Eğim yönündeki dış bükey yamaçlar aşındırma alanlarını, iç bükey yamaçlar biriktirme alanlarını ifade etmektedir (Wilson & Gallant, 2000). Mekânsal analiz sonucu elde edilen profil eğriliği verisinde negatif değerler dış bükey, pozitif değerler iç bükey, sıfır ise düz yamaç birimlerini belirtmektedir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Profil yamaç eğriliği (Web-7). (A: Dışbükey, B: İçbükey C: Düz)

Eğim şekilleri sedimentlerin yamaç boyunca taşınımı ve suyun yüzeydeki akış yönü, hızı, birikimi gibi unsurları etkilemektedir. Yamaç boyunca suyun akış yönünü, hızını ve birikimini etkilemesi, eğim şekillerinin heyelanlar açısından önemli bir başlık olmasını sağlamaktadır. Bu nedenle de heyelan duyarlılığının

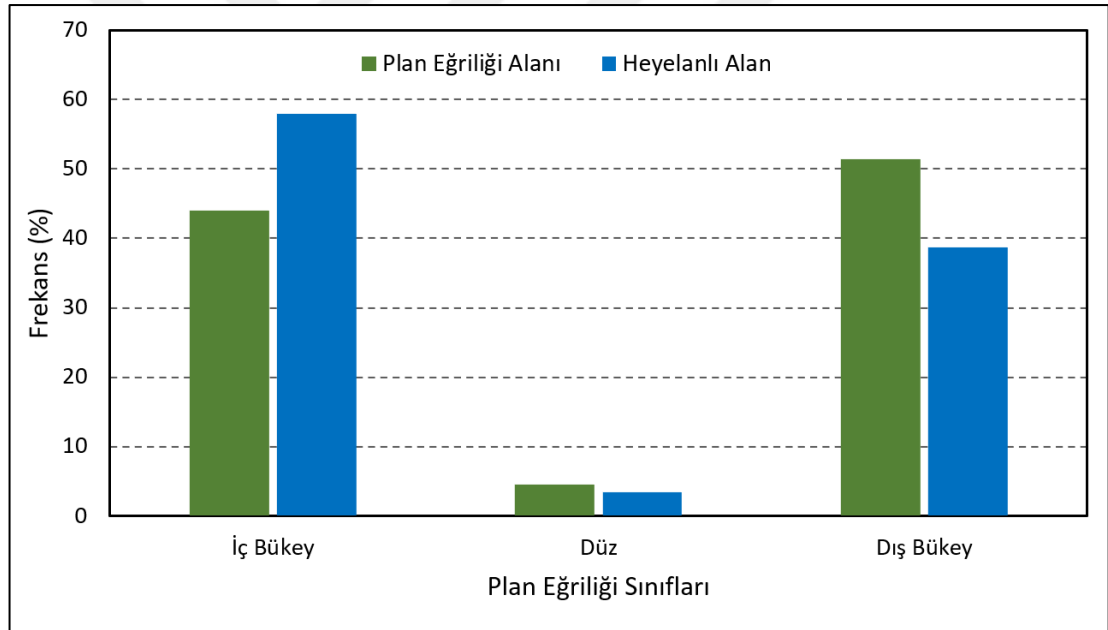
değerlendirildiği çalışmalarda eğim şekli parametresi sıkça kullanılmıştır (W. Chen vd., 2016; Choi vd., 2012; Conforti vd., 2012; Ermini vd., 2005; Hasekioğullari & Ercanoğlu, 2012; Mandal & Mondal, 2018; Meten vd., 2015; Othman vd., 2018). Yamaçlardaki bu düzensizliklerin duyarlılık üzerinde etkili olmasına karşın; iç bükey ve dış bükey yamaçlardan hangisinin heyelanlar üzerinde daha etkili olduğu hususunda bir kesinlik yoktur (Gökçeoğlu & Ercanoğlu, 2001). Nitekim Lee vd. (2002) iç bükey ve düz yamaçların, dış bükey yamaçlara kıyasla daha yüksek heyelan potansiyeline sahip olduğunu belirtmiştir. Bu durumun gelişmesinde yoğun yağışların ardından iç bükey eğimlerin daha fazla suya sahip olması ve bu suyu daha uzun süre tutması neden gösterilmiştir. Benzer değerlendirmeler farklı çalışmalarda da yapılmıştır (Lee & Min, 2001; Lee & Dan, 2005). Özdemir ve Altural (2013) ise dışbükey yamaçlarda heyelan meydana gelme olasılığının daha yüksek olduğunu saptamıştır. Burada; dış bükey yamaçların daha büyük bir gövdeye sahip olmasının daha yüksek kütle hareketi potansiyeli barındırdığı düşünülmektedir. Ayrıca dış bükey morfolojiler, daha düşük kesme direncine sahip birikim malzemelerinin (kolüvyon) varlığını da işaret edebilir. Bu yamaçlarda heyelan oluşuma potansiyelini yükseltir. (Havenith vd., 2006). Dış bükey yamaçlarda yoğun yağışlar nedeniyle tekrarlanan genleşme ve büzülme, eğimli yüzeydeki gevşek malzemenin sürünmesine ve akmasına da neden olabilir (Lee & Pradhan, 2006). Benzer şekilde Guo vd. (2015)'de haritalandıkları heyelanlar ile dış bükey yamaçlar arasında daha yüksek bir ilişki saptamıştır. Yalnızca düz yamaç birimlerinde potansiyelin düşük, dış ve iç bükey yamaçlarda ise heyelan olasılığın yüksek olduğunu belirten çalışmanın (Lee & Pradhan, 2006) aksine; düz yamaçlarda sığ karakterli heyelanların meydana gelme potansiyelinin yüksek olduğu da belirtilmiştir (Nefeslioglu vd., 2011; Ohlmacher, 2007). Bütün bu çalışmalar ortaya koymaktadır ki; yamaç eğrisellikleri ile ilgili kesin ve evrensel bir yargı belirtmek doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Her çalışma alanının sahip olduğu morfolojik özellikleri ve diğer çevresel bileşenlerden hareketle bir değerlendirme yapmak daha doğrudur. Bu çalışmada da üretilen envanter ve eğrisellik verileri üzerinden havzaya özgü bir değerlendirme yapılmıştır.

İyidere Havzası'nda plan yamaç eğriselliği verisi incelendiğinde -22,31 ile 38,76 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Bu değerlerden pozitif olanlar dışbükey, negatif olan içbükey ve sıfır olan yerler düz alanları ifade etmektedir. Bu

içeren birimlerdir. İyidere Havzası özelinde de iç bükey yamaçlarda suyun birikmesi ile nem içeriğinin artması ve kanalize olması ile aşındırma potansiyelini yükseltmesi gibi nedenler bu yamaç birimlerinde daha yüksek heyelan yoğunluğunu beraberinde getirmiştir. İyidere Havzası'nda diğer çevresel parametrelerin de kontrolünde, plan yamaç eğriliği dış bükey ve düz olan birimlerde de heyelanlara rastlanmıştır (Şekil 3.24); ancak iç bükey yamaçlar ile heyelanlar arasındaki ilişki daha belirgindir.

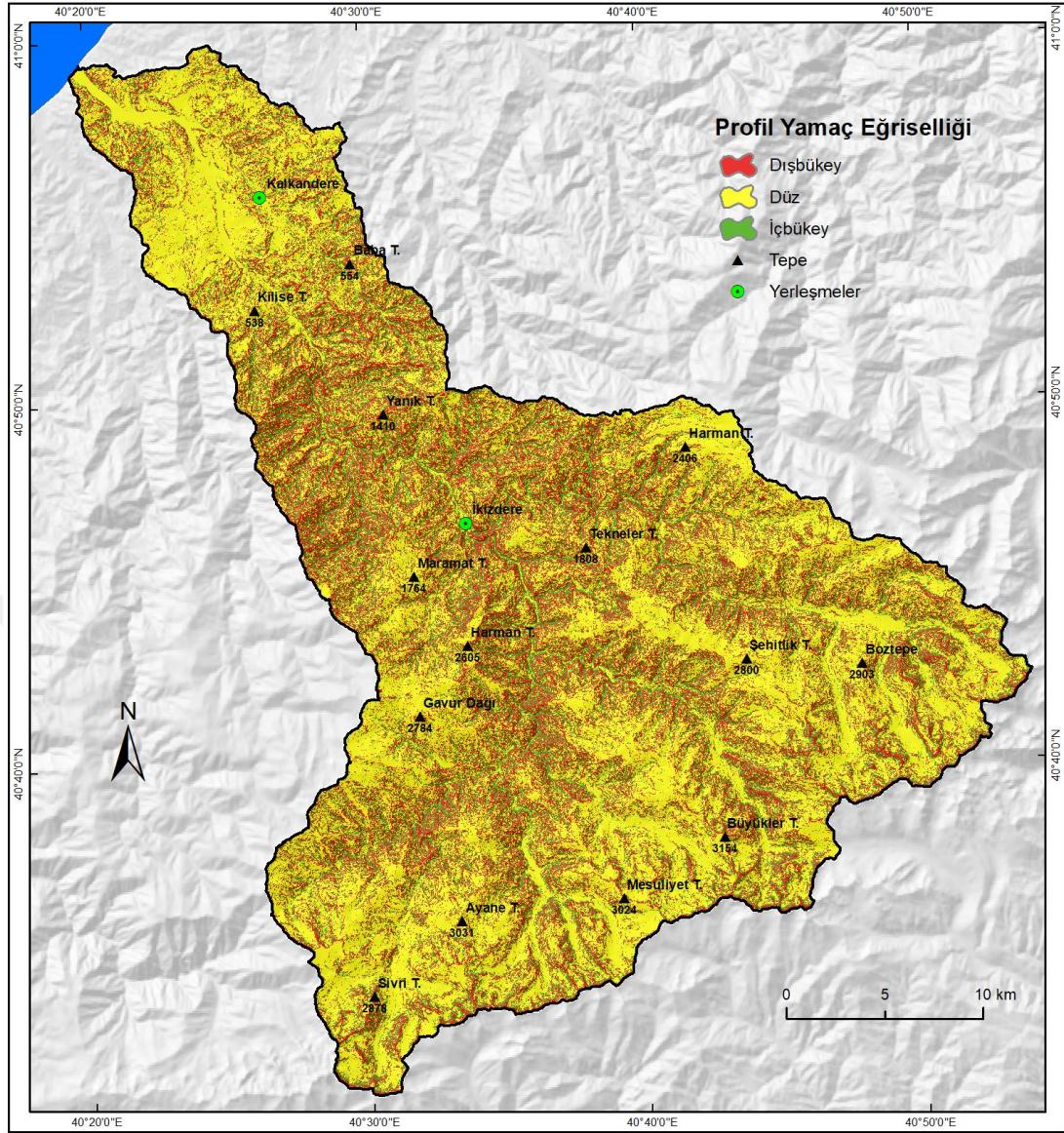
Tablo 3.14. Plan eğriliği sınıfları ile heyelanların alansal verileri

Plan Eğriliği	Plan Eğriliği Sınıfı Alanı		Heyelanlı Alan		Heyelan Yoğunluğu
	km ²	%	m ²	%	
İç bükey	462,74	43,97	527000	57,92	1,14
Düz	48,20	4,58	31200	3,43	0,65
Dış bükey	541,43	51,45	351600	38,65	0,65



Şekil 3.24. Plan eğriliği sınıfları ve heyelanların alansal dağılışı grafiği

İyidere Havzası'nda profil yamaç Eğriselliği incelendiğinde -38,38 ile 35,45 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. İyidere Havzası profil yamaç eğriliği haritası üretilmiştir (Şekil 3.25).



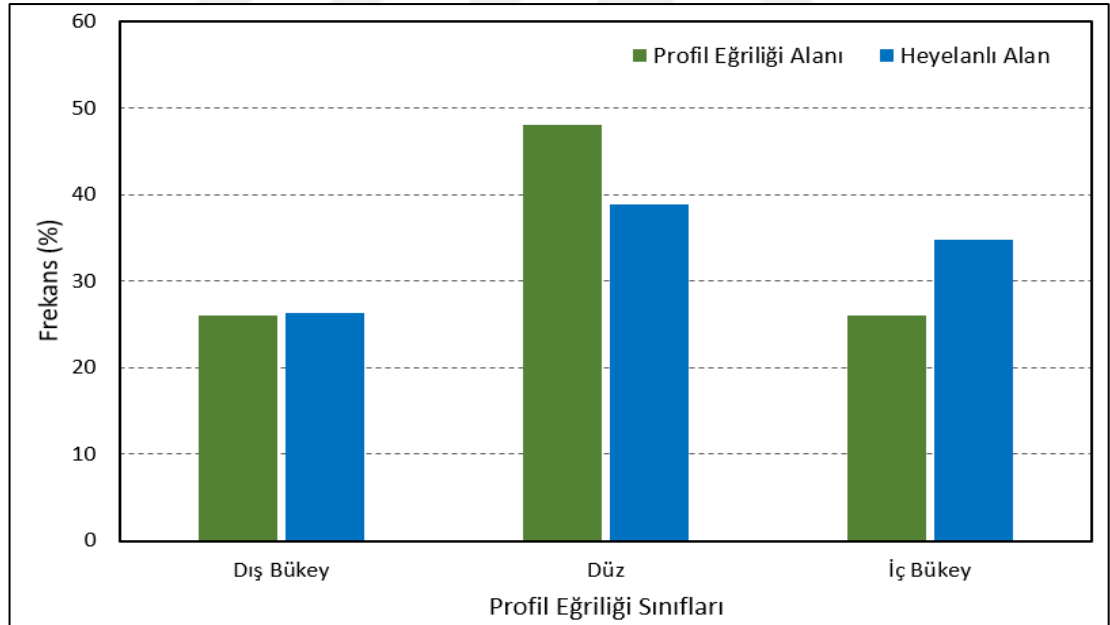
Şekil 3.25. Profil yamaç eğriselliği haritası

Profil yamaç eğriselliği birimlerinin havza içerisinde kapladıklarına alanların oranlarına bakıldığında; %25,97'si dışbükey, %48,02'si düz, %26,01'i ise içbükey yamaç birimlerinden oluşmaktadır (Tablo 3.15). Profil yamaç eğriselliği açısından havza içerisinde en fazla heyelan düz yamaçlarda saptanmasına karşın; heyelan yoğunluğunun en düşük olduğu sınıfta düz profilli eğim şekil sınıfıdır (Tablo 3.15; Şekil 3.26). En yüksek heyelan yoğunluğuna profil yamaç eğriselliği iç bükey olan birimlerde rastlanmıştır. İyidere Havzası'nda bu durumun gelişmesinde yamaçtaki regolitin su içeriği etkili olmaktadır. İç bükey yamaçlar, dış bükey ve düz yamaçlara nazaran suyun daha fazla biriktiği alanlara karşılık gelmektedir. Havza içerisinde heyelanları tetikleyen en önemli kuvvetin yağış olması dolayısıyla da profil

eğriselliği iç bükey yamaçlar daha yüksek heyelan yoğunluğuna sahiptir. Profil yamaç eğriliği dış bükey olan yamaçlarda da heyelanlar tespit edilmiştir (Şekil 3.26). Dış bükey yamaçlarda heyelanlar, özellikle vadi içlerinde iç bükey yamacı takiben gelişmiş dış bükey yamaçlarda oluşmaktadır. Bu alanlar, çevreden akışa geçen taban sularının biriktiği, vadi içindeki çizgisel akışların da topuk erozyonu yapması neticesinde heyelanların gerçekleştiği alanlardır. Profil yamaç eğriliği düz olan yamaçlarda da heyelan tespit edilmiş ancak bu heyelanların gelişimi ile eğim şekli arasında bir ilişki olduğu düşünülmemektedir.

Tablo 3.15. Profil eğriliği sınıfları ile heyelanların alansal verileri

Profil Eğriliği	Profil Eğriliği Sınıfı Alanı		Heyelanlı Alan		Heyelan Yoğunluğu
	km ²	%	m ²	%	
İç bükey	273,71	26,01	316800	34,82	1,16
Düz	505,32	48,02	353100	38,81	0,70
Dış bükey	273,33	25,97	239900	26,37	0,88



Şekil 3.26. Profil eğriliği sınıfları ve heyelanların alansal dağılışı grafiği



Şekil 3.27. Plan eğriselliği iç bükey olan bir yamaçtan heyelan görüntüsü (Fındıklı köyü, Kalkandere)



Şekil 3.28. Plan ve profil yamaç eğriselliği dış bükey olan bir yamaçtan heyelan görüntüsü (Kızıltoprak Mahallesi, Kalkandere)



Şekil 3.29. Profil eğriselliği dış bükey olan bir yamaçta gerçekleşmiş heyelan görüntüsü (Cevizlik-Yeni Köy arası, Kalkandere)

3.2.7. Drenaj Yoğunluğu

Drenaj yoğunluğu, akarsular tarafından bir havzanın parçalanma seviyesini göstermektedir (Montgomery & Dietrich, 1994; Ng, 2006; Reddy vd., 2004). İklim, litoloji, relief ve yapısal özellikler ile ilişkili olarak gelişen drenaj yoğunluğu, arazi koşullarının incelenmesinde önemli nicel ifadelerden birisidir (Rai vd., 2018). Drenaj yoğunluğu ile birlikte bu özellikler hakkında dolaylı bilgiler elde edilmektedir. Litolojik ünitelerin dayanıklılığı, geçirgenliği gibi hidrojeolojik özellikleri hakkında ipuçları, iklim ve bitki örtüsü hususunda dolaylı değerlendirmeler drenaj yoğunluğu verisi üzerinden yapılmaktadır (Montgomery & Dietrich, 1989; Nag, 1998; Süzen & Doyuran, 2004). Jeolojik yapının dayanıklı kayalardan meydana gelmesi drenaj yoğunluğunun düşük olmasına sebep olabilmektedir (Özşahin, 2008). Düşük drenaj yoğunluğu çatlaklı ve geçirgen kayaların varlığını da göstermektedir. Geçirimsiz

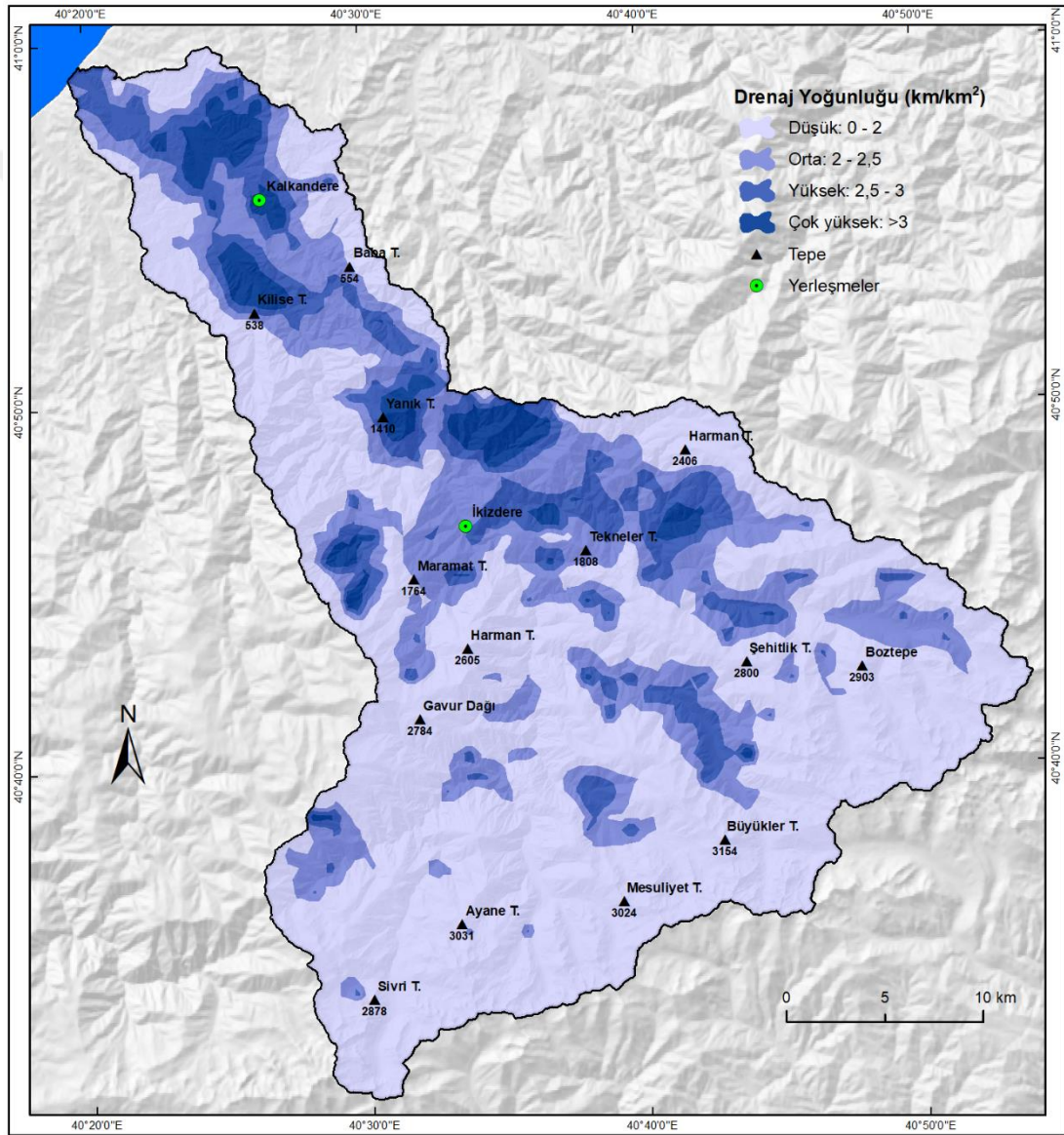
yüzeyle ve seyrek bitki örtüsünün bulunduğu bölgelerde yüksek drenaj yoğunluğu görülmektedir (Nag, 1998). Geçirimli yüzeylerin bulunduğu, yüzeye düşen suların akışa geçmeden sızdığı alanlarda ise düşük drenaj yoğunluğu görülmektedir (Özdemir, 2006). Bitki örtüsünün yoğun olduğu, düşük rölyef değerlerinin bulunduğu alanlarda da düşük drenaj yoğunluğu değerleri görülmektedir (Reddy vd., 2004). Genel olarak değerlendirildiğinde, drenaj yoğunluğu, bir alanın geçirgenliği hakkında fikir vermektedir.

Drenaj yoğunluğunun arazi koşulları hakkında dolaylı bilgiler sağlaması, özellikle de heyelan olaylarını hazırlayıcı ve tetikleyici parametreler hakkında çıkarımlar yapılmasını mümkün kılması, heyelan duyarlılığı çalışmalarında drenaj yoğunluğunu tercih edilebilir bir girdi durumuna getirmektedir. Nitekim drenaj yoğunluğu parametresinin kullanıldığı heyelan duyarlılığı çalışmaları bulunmaktadır (Akgün & Türk, 2010; Çevik & Topal, 2003; Chauhan, Sharma, & Arora, 2010; Chauhan, Sharma, Arora, vd., 2010; Fernández vd., 2003; Nagarajan vd., 2000; Sarkar & Kanungo, 2004; Yalcin, 2008; Yesilnacar & Topal, 2005).

Drenaj yoğunluğu suyun yer altına sızması hakkında fikir vermektedir. Yüksek drenaj yoğunluğu düşük sızma ve yüksek yüzey akışına karşılık gelmektedir (Nagarajan vd., 2000). Düşük drenaj yoğunluğu ise düşük yüzey akışı ve yüksek sızma anlamına gelmektedir. Bu da bir bölgedeki yamaç duyarlılığının artmasına neden olabilmektedir (Chauhan, Sharma, Arora, vd., 2010; Sarkar & Kanungo, 2004). Benzer izahlarla Hong vd. (2007)'de drenaj yoğunluğu ile duyarlılık arasında negatif korelasyon var olduğu varsayımı ile çalışmalarını modellemişlerdir. Bu saptamalardan hareketle drenaj yoğunluğu azaldıkça heyelan duyarlılığının arttığı ifade edilmiştir. Ancak aksi yönde değerlendirmeler de yapılmıştır: Drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda yamaçların duyarlılığının arttığı belirtilmiştir (Akgün & Türk, 2010; Kavzoglu vd., 2014; Sahin, 2011). Bu değerlendirmeler göstermektedir ki; drenaj yoğunluğu ile heyelan arasında kesin bir yargı bulunmamaktadır.

İyidere Havzası'nda Malik vd. (2011) tarafından belirlenen sınıflandırma kullanılarak drenaj yoğunluğu haritası elde edilmiştir (Şekil 3.30). İyidere Havzası'na dair havza temelli değerlendirme daha önce Turoğlu (1997) tarafından yapılmış ve drenaj yoğunluğu $1,371 \text{ km/km}^2$ olarak bulunmuştur. Bu çalışmada havzanın son derece yoğun bir şekilde yarıldığı, eğimin artmasıyla birlikte drenaj

yoğunluğunun arttığı, bitki örtüsünün gür olmasının da yoğunluğu arttırdığı belirtilmiştir. Grid temelli yapılan drenaj yoğunluğu değerlendirmesinde İyidere Havzası'ndaki drenaj yoğunluğunun 0 km/km² ile 5,328 km/km² arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir. Üretilen drenaj yoğunluğu sınıflarının yüzölçümlerinin toplamları ve havza içerisinde kapladıkları alanların oranlarına bakıldığında çok yüksek yoğunluk sınıfının 45,30 km² alan (%4,3) ile en az yüz ölçüme sahip sınıf olduğu görülmektedir (Tablo 3.18). En geniş yüzölçümüne ise düşük drenaj yoğunluğu sınıfı sahiptir.



Şekil 3.30. Drenaj Yoğunluğu Haritası.

Drenaj yoğunluğunun çok yüksek sınıfında ortalama eğim değeri 24,56° olarak saptanmıştır (Tablo 3.16). Çok yüksek drenaj yoğunluğu sınıfında eğim

değerinin standart sapması en yüksektir. Bu durum eğim değerinin en fazla değişkenlik gösterdiği sınıfın çok yüksek drenaj yoğunluğu sınıfı olduğunu göstermektedir. Drenaj yoğunluğu düştükçe eğim değerlerindeki standart sapmanın düştüğü görülmektedir. Bu tablo incelendiğinde drenaj yoğunluğu sınıfları ile eğim istatistikleri arasında büyük farklılıkların görülmediği de açıktır.

Tablo 3.16. Drenaj yoğunluğu sınıflarının yüzölçümü ve eğim bilgileri.

Drenaj Yoğunluğu Sınıfı	Alan (km ²)	Oran (%)	Eğim (°) (Minimum)	Eğim (°) (Maksimum)	Eğim (°) (Ortalama)	Eğim (°) (Std. Sapma)
Düşük	662,09	62,91	0	73,06	23,13	10,13
Orta	229,31	21,79	0	72,67	28,07	10,21
Yüksek	115,77	11,00	0	67,96	26,9	11,55
Çok yüksek	45,30	4,30	0	66,93	24,56	12,14

Ortalama drenaj yoğunluğunun en yüksek olduğu litolojik birim kuvaterner yaşlı alüvyon araziler olarak saptanmıştır (Tablo 3.17). Ancak drenaj yoğunluğu ile litolojik birimler arasında kesin yargıya varılabilecek bir ilişki ise saptanamamıştır.

Tablo 3.17. Jeolojik Birimlere Ait Drenaj Yoğunluğu (km/km²) Bilgileri.

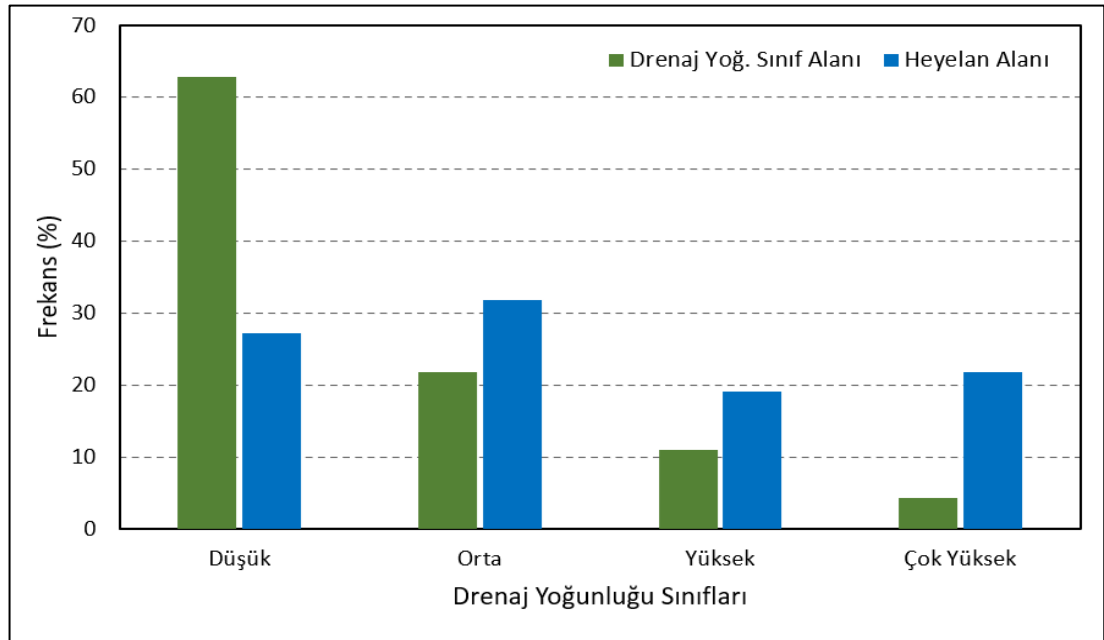
	Alan (km ²)	Ortalama	Minimum	Maksimum	Std. Sapma
Alüvyon	14,06	2,91	1,36	5,32	0,5
Çağlayan Formasyonu	87,02	2,29	0	4,67	0,66
Kızılkaya Formasyonu	11,25	2,27	0	4,08	0,54
Bakırköy Formasyonu	28,22	1,91	0	4,13	0,81
Kaçkar Granitiyodi	709,02	1,75	0	5,38	0,69
Çatak Formasyonu	123,15	1,6	0	4,26	0,69
Hamurkesen Formasyonu	6,62	1,02	0	3,5	0,7
Kabaköy Formasyonu	72,89	0,92	0	4,99	0,73

İyidere Havzası'ndaki drenaj yoğunluğu ile heyelanlar arasındaki mekânsal ilişki değerlendirilmiştir (Tablo 3.18; Şekil 3.31). En fazla heyelan düşük drenaj yoğunluğu sınıfına giren alanlarda saptanmış ancak bu sınıf alanı havzanın %62,91'ini kapsıyor olmasından dolayı önem arz etmemektedir. Çünkü havzada en fazla yayılış alanına sahip drenaj yoğunluğu sınıfı olduğundan dolayı en fazla heyelanın bu sınıf üzerinde saptanması olağandır. Nitekim heyelan yoğunluğunun en az olduğu sınıf düşük drenaj yoğunluğu sınıfıdır. Çok yüksek drenaj yoğunluğu sınıfı İyidere Havzası'nın yalnızca %4,30'unda yayılış göstermesine karşın tespit edilen heyelanların %21,73'ünü barındırmaktadır. Bu nedenle de havzada heyelan yoğunluğunun en fazla olduğu sınıftır. Bütün sınıflar göz önüne alınarak

değerlendirildiğinde; İyidere Havzası'nda drenaj yoğunluğu ile heyelan yoğunluğu arasında pozitif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Bu durum İyidere Havzası'nda akarsu ağının, heyelanların oluşumu üzerinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Akarsuların derine aşındırarak araziye parçalamasına takiben oluşan yamaçlarda, diğer çevresel bileşenlerin de katkısıyla duyarsızlık gelişmekte ve heyelanlar oluşmaktadır. Bu süreç, havzanın jeomorfolojik evrimi açısından beklenen bir sonuçtur. Çeşitli çalışmalarda (Chauhan, Sharma, & Arora, 2010; Y. Hong vd., 2007; Sarkar & Kanungo, 2004); düşük drenaj yoğunluğunun daha fazla suyun yer altına sızması sonucunda gerçekleştiği ve bu sızmalarında yamaç duyarlılığını artırdığı yönündeki bulgular İyidere Havzası özelinde geçersizdir. Çok yüksek drenaj yoğunluğu sınıfının sahip olduğu heyelan duyarlılığı değeri, diğer sınıflardan oldukça yüksektir. Bu durum havzadaki heyelanları anlamada drenaj yoğunluğu parametresinin önemli bir çevresel bileşen olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Tablo 3.18. Drenaj yoğunluğu sınıfları ile heyelanların alansal verileri

Drenaj Yoğunluğu	Drenaj Yoğunluğu Sınıfı Alanı		Heyelanlı Alan		Heyelan Yoğunluğu
	km ²	%	m ²	%	
Düşük	662,08	62,91	247900	27,28	0,37
Orta	229,32	21,79	289800	31,90	1,26
Yüksek	115,77	11,00	173500	19,10	1,50
Çok yüksek	45,30	4,30	197400	21,73	4,36

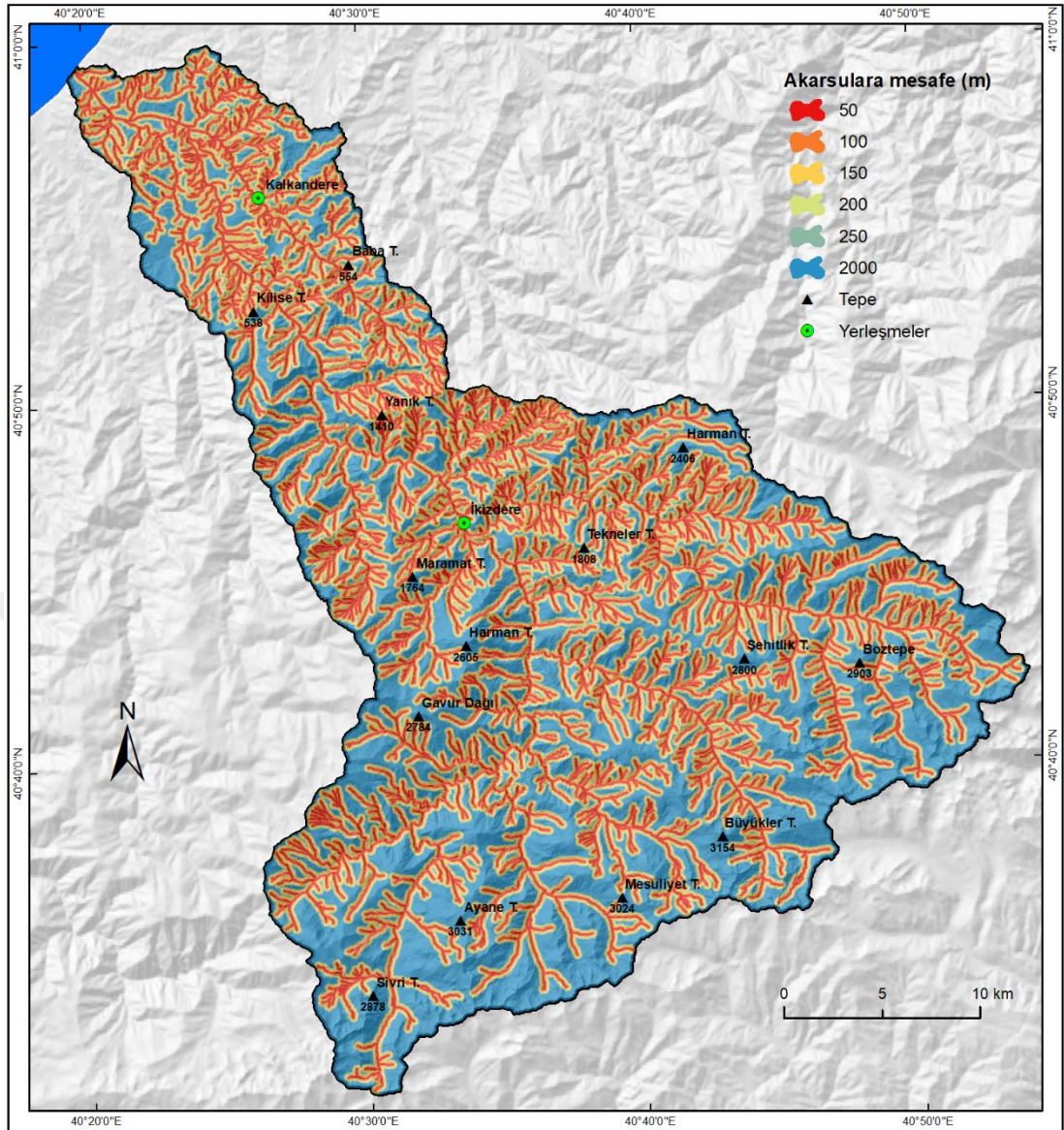


Şekil 3.31. Drenaj yoğunluğu sınıfları ile heyelanların alansal dağılışı grafiği

3.2.8. Akarsulara Mesafe

Akarsular yamaçların duyarlılığına etki etmektedir. Bu nedenle de akarsulara olan mesafe, heyelan duyarlılığının değerlendirildiği çalışmalarda çevresel bileşenlerden birisi olarak birçok çalışmada modele dahil edilmiştir (Akgun vd., 2008; Bahrami vd., 2020; W. Chen vd., 2016; Hemasinghe vd., 2018; Meten vd., 2015; Xu vd., 2012; Yalcin & Bulut, 2007). Buradaki temel mekanizma, yamaçların ya da eski heyelan kütlelerinin topuk kısımlarının akarsular tarafından yarılması ve buna bağlı olarak duyarlılığın artmasıdır. Akarsulara yakın alanlar yeraltı suyu seviyesinin de nispeten daha yüksek olduğu, yamaç malzemesinin suya daha fazla doygun olduğu alanlar olabilmektedir (Gökçeoğlu & Ercanoğlu, 2001; Mandal & Mondal, 2018; Süzen & Doyuran, 2004). Bu husus da yamaçların duyarlılığının artmasına ve akarsulara olan mesafe ile heyelanlar arasında ilişkinin olabilmesine neden olabilir. Nitekim akarsulardan uzaklaştıkça heyelan oluşma ihtimalinin azaldığı, yaklaştıkça arttığı gözlenebilmektedir (Jaafari vd., 2014; S. Lee & Talib, 2005; Mandal & Mondal, 2018; Xu vd., 2012). Akarsulara yakınlığın heyelan oluşumu üzerindeki etkisinin düşük, göz ardı edilebilir seviyede olduğu (Hemasinghe vd., 2018; Van Westen vd., 2003) ya da beklenenin aksine akarsulardan uzaklaştıkça duyarlılığın arttığı (Akgun vd., 2008; Saro Lee & Sambath, 2006) durumlarda gözlemlenebilmektedir. Akarsulara yakın alanlarda, akarsuyun yaptığı topuk aşındırması, suya doygunluk gibi süreçlerin bu alanlarda gerçekleşen heyelanlarda tek başlarına etken oldukları düşünülmemelidir. Eğim, arazi örtüsü, regolit kalınlığı gibi birtakım koşullarında heyelan gerçekleşmesini mümkün kıldığı alanlarda akarsu başrolü almaktadır.

Heyelan duyarlılığı üzerinde akarsulara olan mesafe değerlendirilirken oluşturulacak olan tampon bölgelerin uzaklığı hususunda bir standart yoktur. Çalışma alanı göz önünde bulundurularak bu mesafeler belirlenmektedir. Bu bağlamda İyidere Havzası'nda akarsulara 50'şer metrelik 5 tampon bölge oluşturulmuş ve tematik harita elde edilmiştir (Şekil 3.32).



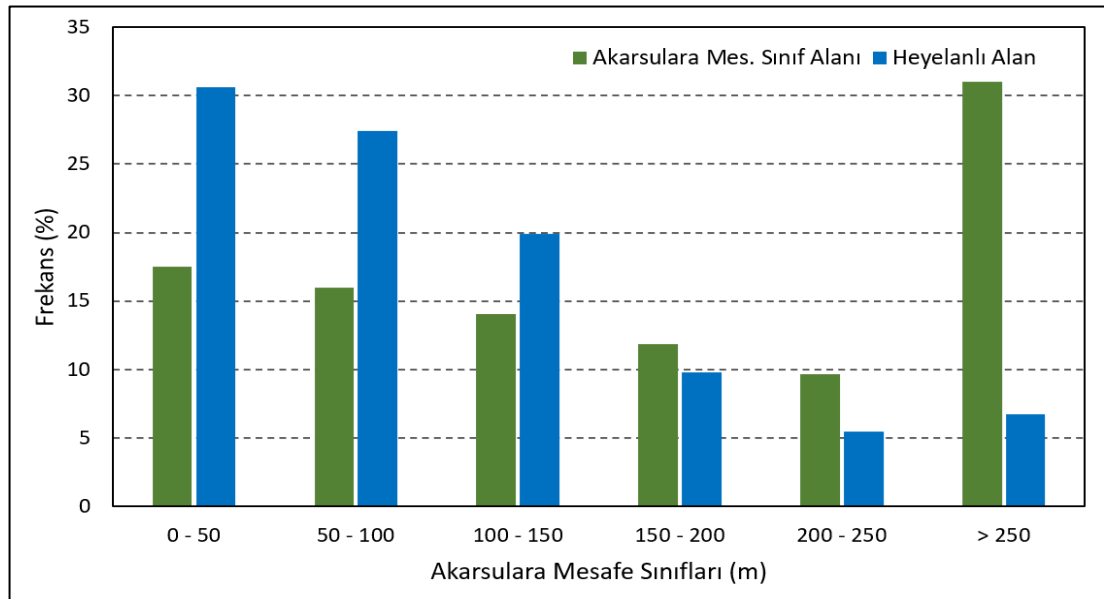
Şekil 3.32. Akarsulara mesafe haritası

Toplam 1890,91 km drenaj ağına sahip olan İyidere Havzası içerisinde belirlenen tampon bölgeler ve bu bölgelerin yüzölçümlerinin alanları Tablo 3.19'de verilmiştir. Bu tampon bölgeler içerisinde belirlenen heyelan alanları ve oranları da aynı tabloda verilmiştir. İyidere Havzası'nda akarsulara olan mesafe ile heyelanlar arasında anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Havza içerisinde belirlenen heyelan alanlarının %30,62'si herhangi bir akarsuya 50 m'den daha yakın mesafededir (Şekil 3.33). Akarsulardan uzaklaştıkça heyelanların da düzenli olarak azaldığı görülmektedir. Belirlenen tampon bölgelerinin alanı ile bu bölgelerde kayıt edilen heyelan alanlarından hareketle heyelan yoğunluğa verisi de üretilmiştir. Bu veri incelendiğinde de en yüksek heyelan yoğunluğunun, akarsulara 0-50 m mesafe

aralıkta; en düşük heyelan yoğunluğu ise akarsulara 250 m'den daha uzak mesafeye sahip alanlarda olduğu görülmüştür. Akarsulardan uzaklaştıkça heyelan yoğunluğunun da düzenli olarak azaldığı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar İyidere Havzası'nda akarsuların yamaçların duyarlılığı üzerinde etkin olduğunu göstermektedir. Havza içerisinde akarsuların, yamaçların topuk kısımlarını oyması ile heyelan duyarlılığını artırdığı anlaşılmaktadır (Şekil 3.34). Akarsular, İyidere Havzası'nın jeomorfolojik gelişimini kontrol eden en önemli dış kuvveti oluşturmaktadır. Denizden havza içerisinde doğru kısa mesafelerde yükseltisi hızla artan sahalar, akarsular tarafından derin bir şekilde yarılmakta ve eğim değerleri yüksek yamaçlar oluşmaktadır. Akarsular, yakın çevresinde oluşturdukları bu yüksek eğimli yamaçlar nedeniyle de heyelanlara neden olmakta; akarsulara mesafe ile heyelanlar arasında anlamlı ilişki çıkmaktadır.

Tablo 3.19. Akarsulara mesafe sınıfları ile heyelanların alansal verileri

Akarsulara Mesafe (m)	Akarsulara Mesafe Sınıf Alanı		Heyelanlı Alan		Heyelan Yoğunluğu
	km ²	%	m ²	%	
0 – 50	183,90	17,47	278600	30,62	1,51
50 – 100	168,43	16,00	249300	27,40	1,48
100 – 150	148,03	14,07	181300	19,93	1,22
150 – 200	124,47	11,83	89300	9,82	0,72
200 – 250	101,36	9,63	49900	5,48	0,49
> 250	326,21	31,00	61400	6,75	0,19



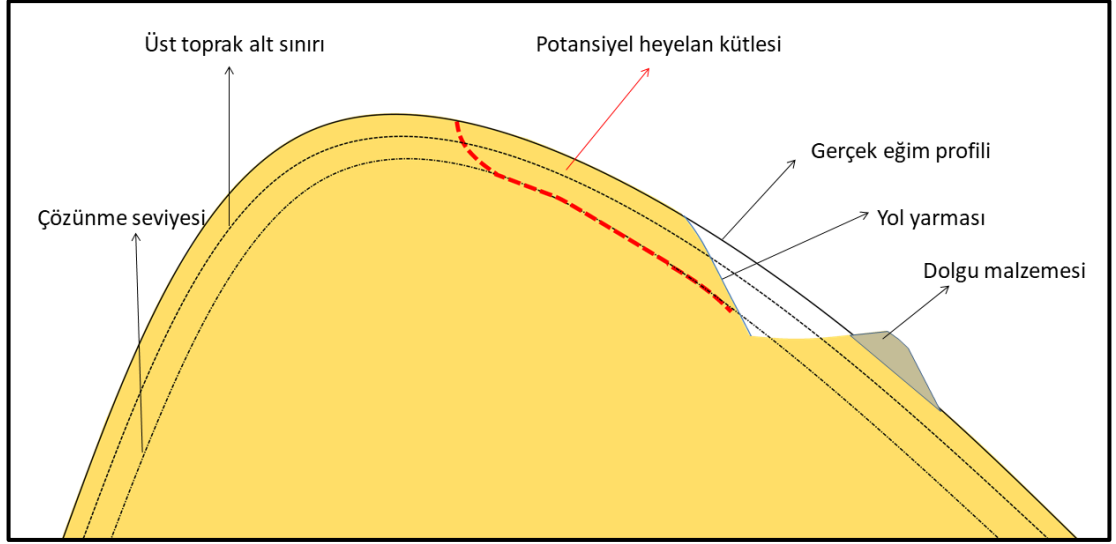
Şekil 3.33. Akarsulara mesafe sınıfları ile heyelanların alansal dağılışı grafiği



Şekil 3.34. Karadere ırmağının batı yamacından bir heyelan görüntüsü

3.2.9. Yollara Mesafe

Heyelan duyarlılığının artmasına neden olan unsurlar arasında doğal etmenler ve insan faaliyetleri nedeniyle yamaçların yanal (lateral) destekten yoksun bırakılması en sık görülenidir (Görcelioğlu, 1991). Doğal etmenlerden en önemlisi olan akarsular bir önceki başlıkta değerlendirilmiştir. Yanal desteği ortadan kaldıran en önemli beşeri unsur ise yollardır (Şekil 3.35). Özellikle eğimin yüksek olduğu yamaçlarda açılan yollar ile topografyanın değiştirilmesi sonucu yolun üst kısmındaki yamaçlarda gerilme, çatlama olmakta ve tetikleyici bir kuvvetin de oluşmasıyla heyelanlar gerçekleşmektedir. Buradaki tetikleyici farklılaşabilir. Yolun açılmasının ardından duyarlılığı artan yamaçlarda şiddetli yağışlar bir tetikleyici kuvvet olabilir. Yol üzerinden araç geçişleri sırasında oluşan titreşimler de kütle hareketini tetikleyebilir. Yollar yeraltı sularının yüzeye çıkmasına da neden olmaktadır. Drenajı bozulan ve şevlerden akarak yol üstünde toplanan sular yolun durumuna göre belirli yerlerde birikerek, özellikle şiddetli yağışları takiben heyelan oluşma potansiyeli yaratabilmektedir (Devkota vd., 2013; Eker & Aydın, 2014; Kavzoglu vd., 2014; Sessions vd., 1987; Uzun, 1992; Yalcin, 2008).

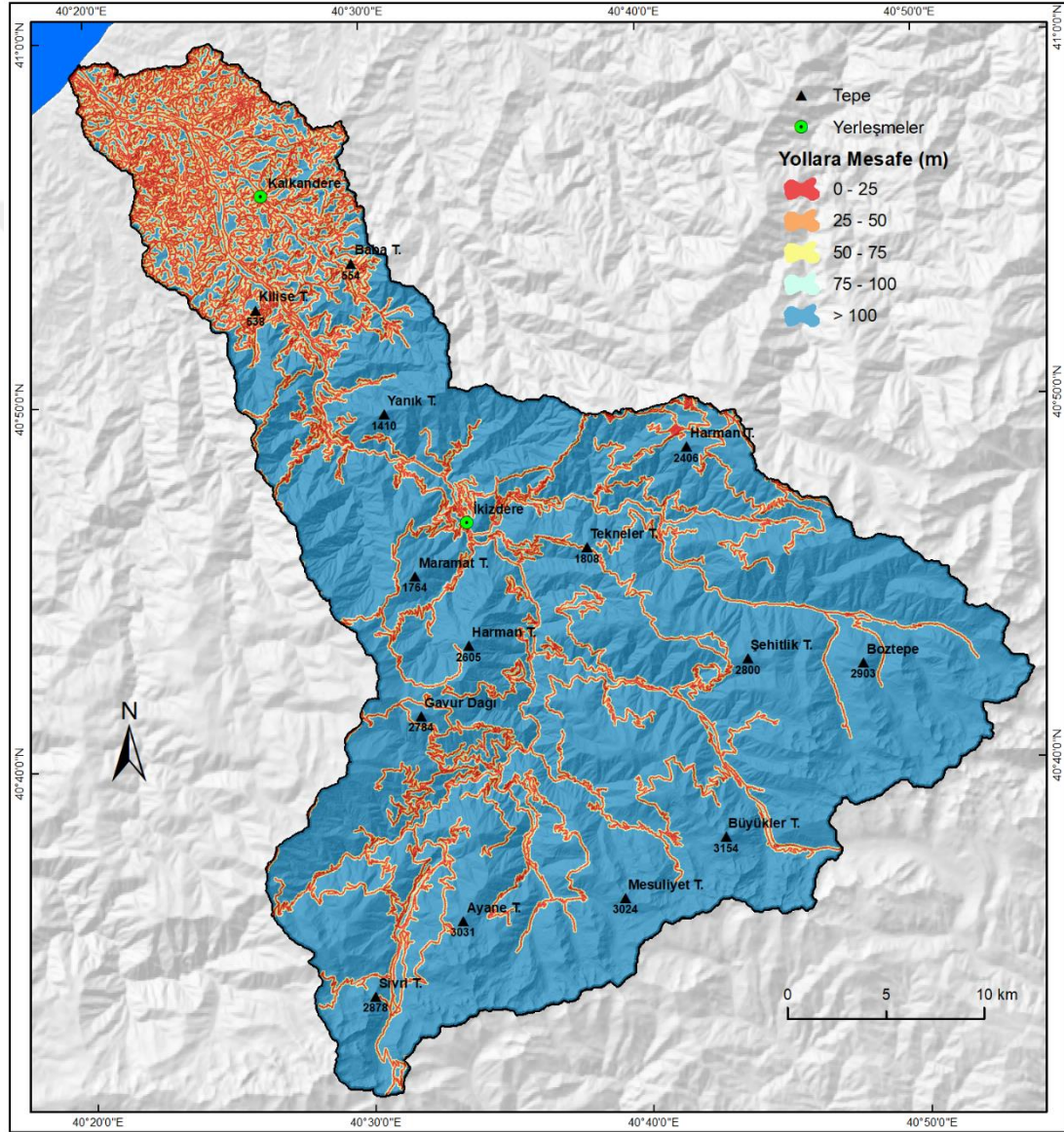


Şekil 3.35. Yolun heyelan oluşumu üzerindeki etkisinin şematik gösterimi.

Heyelanlar yolların yalnızca üst yamaçlarında meydana gelmez. Yolun alt yamaçlarında da benzer veya farklı nedenlerle heyelanlar oluşabilir. Yoldan araçların geçişleri sırasında oluşan ek yük ve titreşim kuvveti, alt yamaçlarda heyelanların gerçekleşmesine neden olabilir. Eğimin yüksek olduğu yerlerde yol açılması sırasında üst yamaçtan koparılan malzeme alt yamaca dolgu yapılır. Özellikle köy ve dağ yollarının bir kısmı bu dolgu malzemesi üzerindedir. Gevşek yapılı ve topografyaya uymayan bu dolgu alanlarında da heyelanlar gerçekleşebilmektedir.

Yamaçlardaki stabiliteinin bozulmasında yolların etkisinden dolayı heyelan duyarlılığının değerlendirildiği birçok çalışmada yollar bir parametre olarak değerlendirmeye alınmıştır (H. Hong vd., 2017; Polykretis vd., 2014; Hamid Reza Pourghasemi, Mohammady, vd., 2012; S Reis vd., 2012; C. J. Van Westen vd., 2003; Yalcin & Bulut, 2007; Zine vd., 2019). İyidere Havzası'nda da yollar önemli bir beşerî bileşen oluşturmaktadır. Yörede çay tarımının başlamışını takiben arazi örtüsü hızla değişmiş, çay bahçelerinin alanı hızla artmıştır. Bu çay bahçelerine ulaşım ve mahsullerin taşınması amacıyla zamanla yeni yollar açılmıştır (Uzun & Uzun, 2003). Nitekim İyidere Havzası sınırları içerisindeki yol ağının toplam uzunluğu 2097 km'dir. Bu da havza içerisinde yaklaşık 2 km/km² yol yoğunluğu anlamına gelmekte ve oldukça yüksek olduğu düşünülmektedir. Özellikle havzanın aşağı çığırında, çay tarımının yapıldığı alanlarda yol ağı çok daha fazla gelişmiştir. Havzanın bu bölümünde 6 km/km² civarında yol yoğunluğu hesaplanmıştır. İyidere Havzası içerisindeki yolların yamaç duyarlılığı üzerindeki etkisini belirleyebilmek amacıyla 0-25 m, 25-50 m, 50-75 m, 75-100 m ve >100 m mesafelerde tampon bölgeleri

oluşturulmuştur (Şekil 3.36). Tampon bölgelerde kullanılacak mesafeler ile ilgili bir standart yoktur. Çalışmalarda gerek sınıf sayısı gerekse sınıflardaki mesafeler farklıdır. Bu nedenle de İyidere Havzası'ndaki yolların tampon bölgeleri oluşturulurken arazi koşulları göz önünde bulundurulmuştur. Yola uzaklığı 100m'den fazla olan bir heyelanın meydana gelmesinde yolun varlığının bir etkisi olmayacağı düşünülmüştür. Oluşturulan tampon bölgelerin kapladıkları alanların yüzölçümleri ve toplam havza alanına olan oranları Tablo 3.20'de verilmiştir.

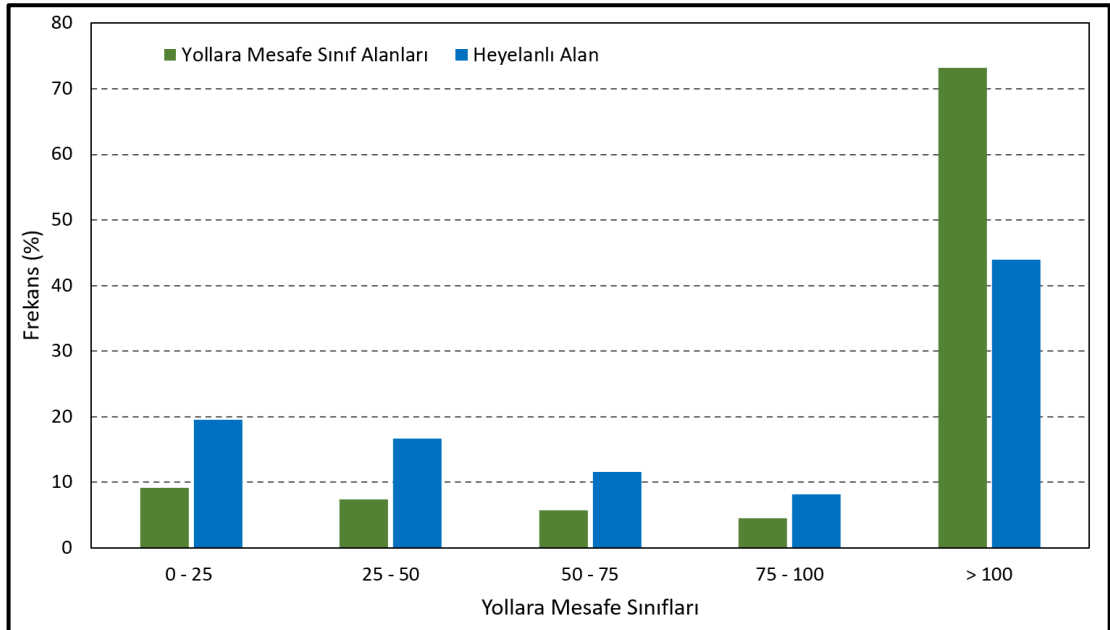


Şekil 3.36. Yollara mesafe haritası

Tablo 3.20. Yollara mesafe verisi ile heyelanların alansal verileri

Yollara Mesafe (m)	Yollara Mesafe Sınıf Alanı		Heyelanlı Alan		Heyelan Yoğunluğu
	km ²	%	m ²	%	
0 – 25	96,28	9,15	177718,17	19,57	1,84
25 – 50	77,42	7,36	151789,32	16,71	1,96
50 – 75	60,37	5,74	105653,48	11,63	1,75
75 – 100	47,51	4,51	74095,10	8,16	1,56
> 100	770,82	73,24	398955,91	43,93	0,51

İyidere Havzası'nda belirlenen heyelan alanlarının %56,07'si yollara 100 m'den daha yakındır (Tablo 3.20). Heyelan sayısı olarak değerlendirdiğimizde ise havza içerisinde envantere kayıt edilen 588 heyelandan 398'i bir yola 100 m'den daha az mesafede gerçekleşmiştir. Geriye kalan 190 heyelan ise bir yola 100 m'den daha uzakta bulunmaktadır. Yolun etkisini kıyaslayabilmek amacıyla heyelan yoğunluğu da hesaplanmıştır. Yollara 100 m'den daha uzak alanlara kıyasla 100 m'den daha yakın alanların 3 kat daha fazla heyelan yoğunluğuna sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda heyelanların oluşumu ve dağılışı üzerinde yolların da etkili olduğunu belirtmek mümkündür. Nitekim yapılan arazi çalışmalarında da yolların çevresinde gerçekleşmiş birçok heyelan gözlenmiştir (Şekil 3.38; Şekil 3.39; Şekil 3.40; Şekil 3.41).



Şekil 3. 37. Yollara mesafe sınıfları ile heyelanların alansal dağılışı grafiği



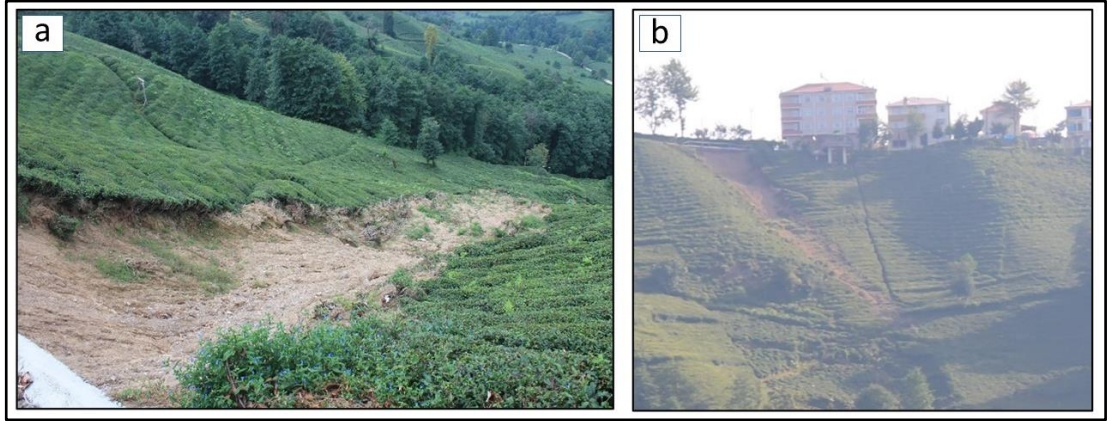
Şekil 3.38. Esenköy (Of İlçesi) mevkiinde gerçekleşmiş bir heyelanın görüntüsü



Şekil 3.39. Fındıklı yerleşmesi (Kalkandere) mevkiinde yolun üstünde gerçekleşmiş bir heyelanın görüntüsü.



Şekil 3.40. Yokuşlu-Yeniköy (Kalkandere) yerleşmeleri arasındaki yolun altında gerçekleşmiş bir heyelan görüntüsü.



Şekil 3.41. Darılı yerleşmesi (Of İlçesi) mevkiinde yolun alt kısmında gerçekleşmiş bir heyelanın üstten (a) ve karşıdan (b) görüntüleri.

3.2.10. Arazi Örtüsü

Arazi örtüsü, doğal ortam ve insan faaliyetlerinin karşılıklı etkileşimi sonucu gelişmiş çevresel durumu ifade eden bir parametredir (Ersayın, 2016). Farklı arazi örtüsü ve arazi kullanım tipleri, yamaçların duyarlılığı üzerinde farklı etkiler yaratabilmektedir. Yerleşme, tarım alanı, orman gibi farklı arazi örtüsü tipleri ile heyelanlar arasında ilişki olduğu varsayımından hareketle duyarlılığının analiz edildiği çalışmalarda arazi örtüsü parametresi de değerlendirilmiştir (Devkota vd.,

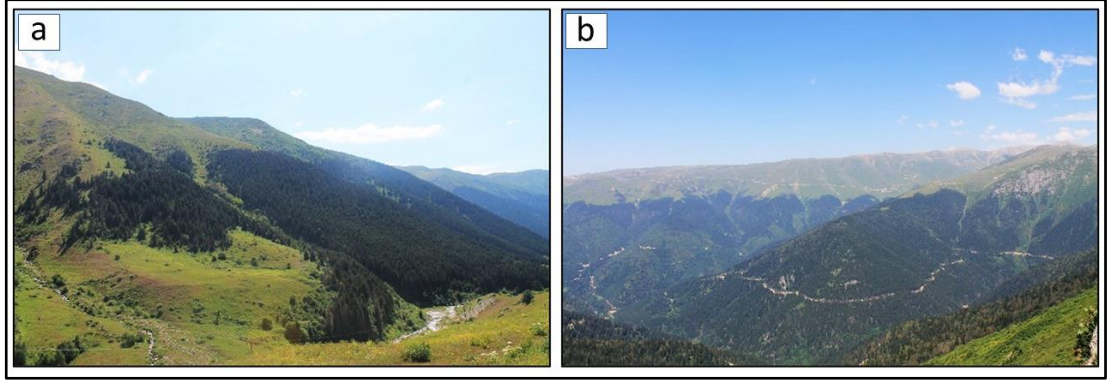
2013; Ercanoğlu & Gökçeoğlu, 2004; Gómez & Kavzoğlu, 2005; Hürlimann vd., 2019; Mohammady vd., 2012; Pisano vd., 2017; P. Reichenbach vd., 2014; Cees J. Van Westen vd., 2008).

Arazi örtüsü sınıfları içerisinde bitki örtüsü yamaç duyarlılığı üzerinde olumlu ya da olumsuz etkiler yaratabilir. Bu durum bitki örtüsünün toprak nem rejiminde yaratacağı değişiklikler ve zemin mukavemeti üzerindeki etkileri ile ortaya çıkar (Wu, 1984). Güçlü, büyük ve derinlere ulaşabilen kök sistemlerine sahip bitki örtüsü yamaçların heyelan duyarlılığını azaltarak olumlu etkiler yaratabilir. Burada kök sistemleri adeta bir mühendislik uygulaması gibi destek kazıkları görevi görmektedir. Böylece kökler zemini güçlendirerek makaslama dayanımını artırır. Özellikle kayma düzlemi oluşturabilecek tabakaları kesen kök sistemleri tabaka sınırlarındaki olası hareketliliğe direnç göstererek duyarlılığın azalmasına katkı sağlayabilir. Diğer taraftan bitki örtüsü yine kökler vasıtasıyla yüzeydeki suların derine sızmasını kolaylaştırarak duyarlılığı artırabilir. Killi tabakalara yüzey suyunun taşınması suretiyle bir kayma düzlemini hazırlayabilir ve duyarlılığı artırabilir. Aksine bitki örtüsü zemindeki suyu emerek buharlaştırıp atmosfere gönderir ve böylece toprak nemini azaltarak duyarlılığı da azaltabilir; ancak bu nemin topraktan fazla alınması ile oluşacak çatlaklardan ani yağışlarla suyun zemine sızması aynı zamanda duyarlılığı da artırabilir. Bitki örtüsü yamaçlarda ek yük oluşturarak da duyarlılığı artırabilir. Duyarlılık üzerine bitki örtüsünün olumlu ya da olumsuz bütün bu etkileri heyelana hazırlayıcı olaylardır. Bitki örtüsü ayrıca heyelan tetikleyici bir kuvvet olarak da rol oynayabilir. Duyarlılığın yüksek olduğu yamaçlarda şiddetli rüzgarların ağaçları, ağaçlarında zemini hareket ettirmesi, heyelanı tetikleyen bir kuvvet oluşturabilmektedir (Gökçeoğlu & Ercanoğlu, 2001; Görcelioğlu, 1991; Gray, 1994; Gray & Leiser, 1982; Uzun & Uzun, 2003; Wu, 1984). Görüldüğü üzere heyelan ve bitki örtüsü arasındaki ilişki oldukça karmaşıktır. Sahanın yapısal özellikleri, kayaç türü, bitki örtüsünün kök sistemi gibi birçok bileşen bitki örtüsü-heyelan ilişkisinde ayrı birer etkindir.

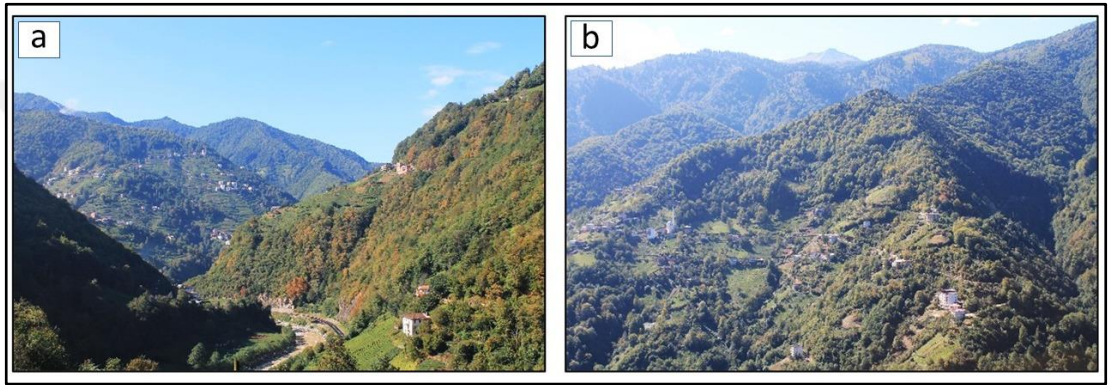
Arazi örtüsü deseni, artan beşeri baskılar sonucu değişim göstermektedir. Bu değişime arazinin yanlış kullanımının eşlik ettiği durumlarda ise afetler daha sık duyulan bir olgu haline gelmektedir (Reichenbach vd., 2014). Arazi örtüsündeki beşerî izleri gösteren en önemli sınıflar tarım ve yerleşme alanlarıdır. Doğal vejetasyonun orman örtüsü olduğu yamaçlarda tarımsal faaliyetlerin yapılması heyelan oluşumunu kolaylaştırmaktadır. Özellikle kökleri derine ulaşmayan tarımsal

bitkiler, hem yamacın su içeriğini azaltmada yetersiz kalmakta hem de toprağın geçirgenliğini artırarak duyarlılık seviyesini yükseltmektedir (Altun vd., 2016). Nitekim tarım alanlarının heyelanlara karşı daha hassas olduğu belirtilmektedir (Devkota vd., 2013; Ercanoğlu & Gökçeoğlu, 2004; Mohammady vd., 2012; Yalçın, 2008). Bir başka arazi kullanım sınıfını oluşturan yerleşme alanları da doğal arazi örtüsünün ve morfolojinin bozulması ile ilave ağırlık yaratması gibi nedenlerle heyelana karşı duyarlı alanlar oluşturmaktadır (Zhang vd., 2016). Doğal ortam üzerinde artan beşerî baskı pozitif geri besleme mekanizması olarak çalışmaktadır. Örnekler üzerinden açıklamak gerekirse; tarım alanları genişlendikçe yeni açılan arazilere yeni yollar yapılmakta, yolun ulaştığı yerlere de yeni evler inşa edilmektedir. Yeni tarım alanları, yeni yolları; yeni yollar da yeni konut alanlarını beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla plansız yapılaşma ve yetersiz altyapı gibi sorunlar heyelan afeti potansiyelini artırmaktadır (Uzun & Uzun, 2003). Özellikle eğimli yamaçlarda konut inşa etmek amacıyla topografyanın doğal şekli bozularak duyarlılık artırılmaktadır. Üstüne bir de inşaat sürecinde ortaya çıkan harfiyatların oluşturduğu gevşek dolgu malzemeleri duyarlılığı daha da artırmaktadır.

İyidere Havzası, Türkiye'nin en fazla yağış alan Doğu Karadeniz Bölümü'nde, Paleo-boreal orman sahasının Kolşik alt bölgesi içinde yer almaktadır. Doğal bitki örtüsünü yaklaşık 2100 m'lere kadar ormanlar oluşturmaktadır. Bu seviye havzanın orman üst sınırını oluşturmaktadır (Şekil 3.42). Deniz seviyesinden yaklaşık 1200 m yükseltiye kadar geniş yapraklı ormanların (Kızılağaç, kestane, gürgen, kayın, ıhlamur) yayılış alanıdır (Şekil 3.43). Daha yüksek seviyelerde karışık ormanlar ve sonrasında ise iğne yapraklı ormanlar (Göknar, ladin, sarıçam) yayılış göstermektedir (Akkemik, 2020; Atalay, 2011b; Şahin, 2006). Genel itibarıyla bu şekilde olması gereken doğal bitki örtüsü, Doğu Karadeniz kıyı kuşağında 1950'lerden sonra çay tarımına geçilmesi ile ciddi şekilde değişmiştir. Yaklaşık 1000 m yükseltiye kadar yer yer yamaçlar teraslanarak çay bahçelerine dönüştürülmüştür (Şekil 3.44; Şekil 3.45). Doğal bitki örtüsündeki bu dönüşüm zemine sızan su miktarını artırmıştır. Daha önce de değinildiği gibi çay bahçelerinin genişlemesi beraberinde yol ağlarının da genişlemesine neden olmuştur. Genişleyen yol ağı ile birlikte plansız ve altyapısız yerleşme alanları daha da dağınık hale gelmiştir. Bütün bu süreçler yeni heyelanların oluşma potansiyelini de artırmıştır (Uzun & Uzun, 2003).



Şekil 3.42. Orman üst sınırını gösteren görseller. Cimil vadisi (a). Homoze Yaylası'ndan kuzeydoğuya, Çağrankaya Yaylasına bakış (b).



Şekil 3.43. Geniş yapraklı ormanlar, tarım alanları ve yerleşmelerin birlikteliğini gösteren görseller. İkizdere Vadisi'nden kuzeye doğru bakış (a). Zafer köyünden Kirazlı köyüne (İkizdere) bakış (b).

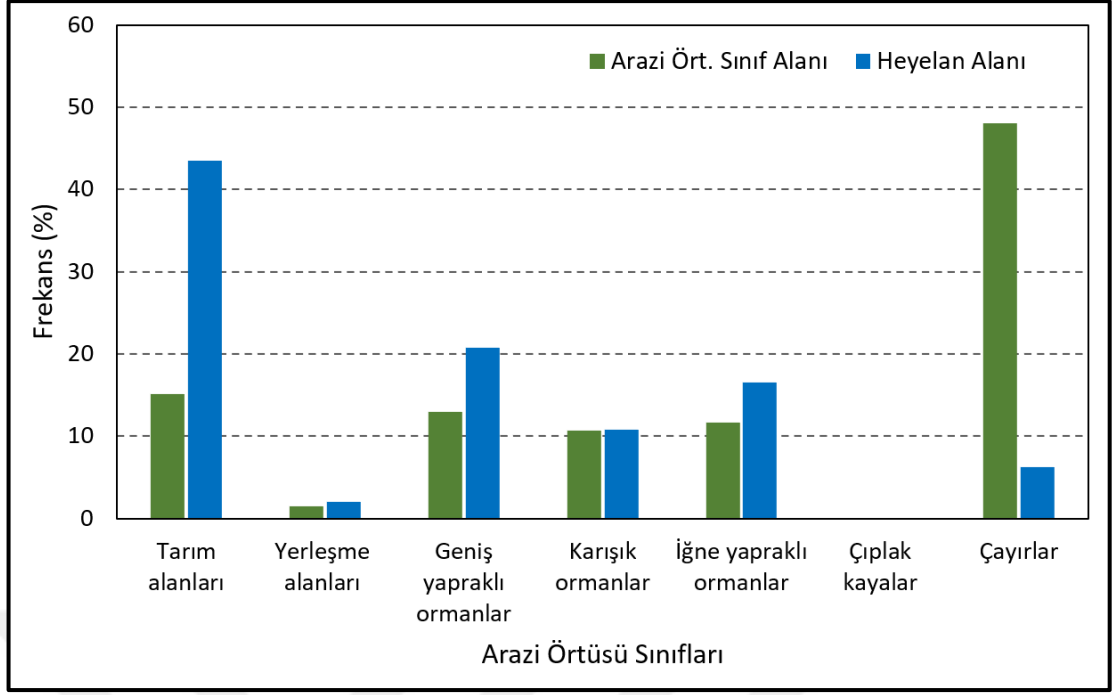


Şekil 3.44. İyidere Havzası'nın aşağı çığırındaki yoğun çay tarımı arazileri (Elmalık Deresi Vadisi, Kendirli Beldesi'nin batısı)

Tablo 3.21. Arazi örtüsü sınıfları ile heyelanların alansal verileri

Arazi Örtüsü	Arazi Örtüsü Sınıf Alanı		Heyelanlı Alan		Heyelan Yoğunluğu
	km ²	%	m ²	%	
Tarım alanları	158,62	15,13	394808,86	43,48	2,48
Yerleşme alanları	15,58	1,49	18870,07	2,08	1,21
Geniş yapraklı ormanlar	135,76	12,95	188695,80	20,78	1,39
Karışık ormanlar	111,64	10,65	97938,48	10,78	0,87
İğne yapraklı ormanlar	121,98	11,64	150767,76	16,60	0,12
Çıplak kayalar	0,93	0,09	0	0	0
Çayırlar	503,60	48,05	57038,39	6,28	0,11

İyidere Havzası'nda arazi örtüsü ile heyelanlar arasındaki niceliksel ilişkiye bakıldığında en yüksek heyelan yoğunluğuna sahip arazi örtüsü sınıfının tarım alanları olduğu görülmektedir (Tablo 3.21). İyidere Havzası'nın %15,13'ü tarım arazisi olmasına rağmen havza içerisindeki heyelanlı alanların %43,48'i bu arazi örtüsü üzerinde yer almaktadır (Şekil 3.46). Havzada yamaçlar teraslanarak çay bahçelerine dönüştürülmüş ve yüzey eğim değeri azalan bu yamaçlarda yağmur sularının zemine sızması kolaylaşmıştır. Ayrıca, arazi yüzeyini bir örtü şeklinde kaplayan çay bitkileri yağmur damlalarının doğrudan toprağa çarpmasını engellemekte ve suların yavaşça zemine sızmasını desteklemektedir. Bu durum zeminin bağ kuvvetinin zayıflamasına ve heyelan için hazır hale gelmesine yol açmaktadır (Karslı vd., 2009; Uzun & Uzun, 2003). Tüm bu hususlar İyidere Havzası'nda tarım alanı arazi örtüsünde heyelan yoğunluğunu yükseltmektedir. Alansal değerler değil de heyelan sayıları dikkate alındığında; envantere kayıt edilen 588 heyelandan 351'i tarım alanları üzerindedir. Geriye kalan 237 heyelan, diğer 6 arazi örtüsü sınıfları üzerinde kayıt edilmiştir. Geniş, karışık ve iğne yapraklı orman arazi örtüsü sınıflarındaki heyelanların toplam alanının, tarım arazisi üzerindeki heyelanların toplam alanından çok olduğu hesap edilmiştir; ancak havzanın yüzde %35,24'ü orman arazisi iken yalnızca %15,13'ü tarım alanıdır. Bu nedenle heyelan alanı orman arazi örtüsünde çok olmakla birlikte heyelan yoğunluğu tarım arazilerine kıyasla düşüktür. Orman arazilerinin tamamı (geniş, karışık ve iğne yapraklı ormanlar) birlikte değerlendirildiğinde heyelan yoğunluğu 1,18'dir. Tarım alanlarındaki heyelan yoğunluğu ise 2,48'dir. Orman arazileri içerisinde gerçekleşen heyelanların %30'unun da yollara 100 m'den daha yakın olduğu hesaplanmıştır. Bu durum ormanlık alanlardaki yamaç duyarlılığının bozulmasında da beşerî faaliyetlerin etkili olduğu göstermektedir.

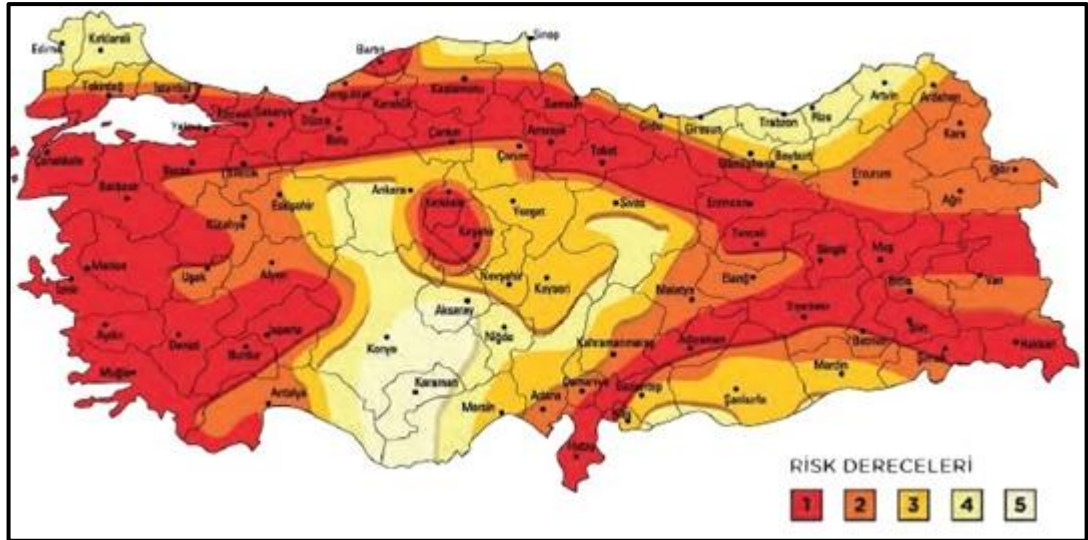


Şekil 3.46. Arazi örtüsü sınıfları ile heyelanların alansal dağılışı grafiği

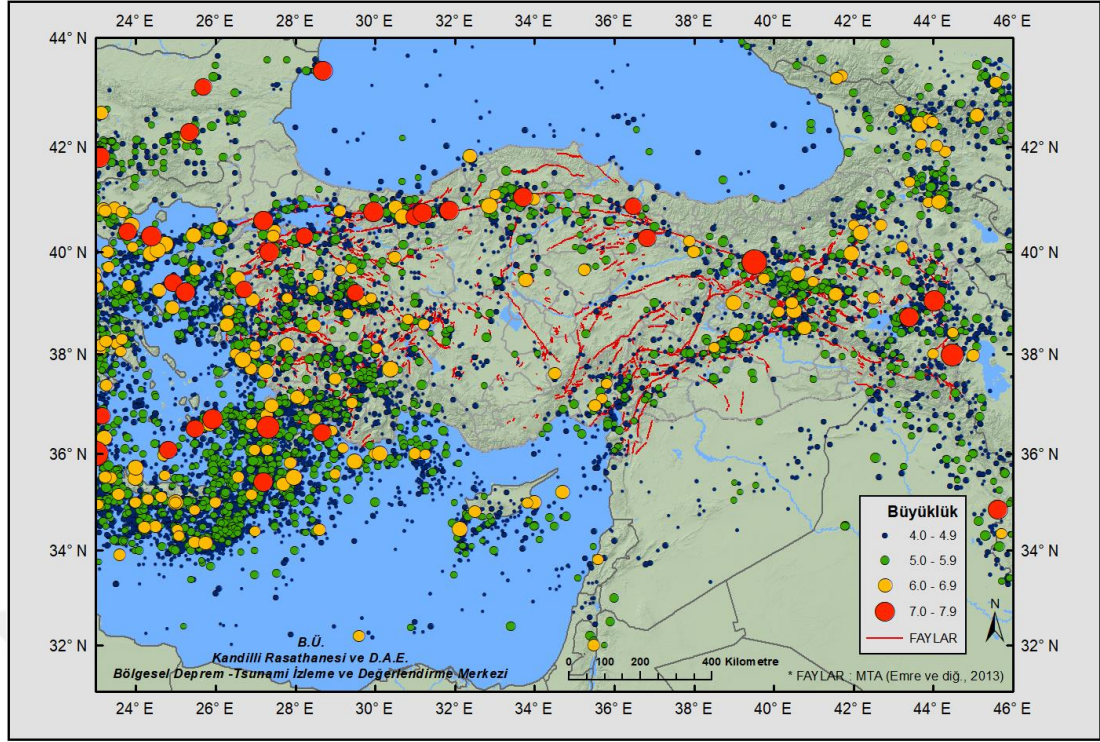
3.2.11. Depremsellik

Deprem, doğal etmen ve süreçlerin etkisi altında yer kabuğunda meydana gelen kısa süreli ani sarsıntıları; depremsellik ise yer kabuğu parçasının deprem şiddeti ve frekansı gibi özellikleri itibariyle deprem üretme kapasitesini ifade etmektedir (Hoşgören, 2014). Heyelan tetikleyici kuvvetlerden birisi olan depremleri temsilen fay hatları, fay hatlarına mesafe, çizgisellik gibi parametreler duyarlılık değerlendirmelerinde kullanılmaktadır (Bahrami vd., 2020; Gemitzi vd., 2011; Hamid Reza Pourghasemi, Pradhan, vd., 2012; Uromeihy & Mahdaviyar, 2000). Nitekim bu parametre ile heyelanlar arasında ilişkinin saptandığı çalışmalar mevcuttur (W. Chen, Hong, vd., 2019; Saro Lee & Dan, 2005; Ozdemir & Altural, 2013). Parametrelerden yalnızca birisi olarak heyelan duyarlılık analizlerine dahil edilmesinin ötesinde doğrudan depremler ile tetiklenmiş heyelan envanterleri üzerinden de analizler yapılmaktadır (García-Rodríguez & Malpica, 2010; Kamp vd., 2008; Lee vd., 2008; Tian vd., 2019; Xu vd., 2012). Faylar, heyelanlar üzerinde tetikleyici kuvvet olmanın yanı sıra hazırlayıcı bir rol de oynayabilmektedir. Yamaçlardaki dengeyi bozarak yüzey geçirgenliğine katkı yaptıkları gözlemlenmiştir (Kanungo vd., 2006). Fay zonundaki kayaçların mekanik ve hidrolojik özellikleri, fay zonunda bulunmayanlardan farklılık göstermekte ve bu durum duyarlılığı etkilemektedir (Reichenbach vd., 2018).

Çalışma sahasını oluşturan İyidere Havzası ve yakın çevresi sismik aktiviteler açısından sakın olan dördüncü derece deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır (Özmen vd., 1997) (Şekil 3.47). Büyüklüğü 4 M'den büyük olan depremlerin haritasına bakıldığında da bölgenin sismik açıdan durgunluğu görülmektedir (Şekil 3.48). MTA'nın bilgi sistemi (Web-8) ve Emre vd. (2018)'lerin yaptığı güncel çalışma incelendiğinde çalışma sahası içerisinde varlığı tespit edilmiş bir diri fay hattı da bulunmamaktadır. Sahip olduğu bu sismik özelliklerin doğal sonucu olarak İyidere Havzası ve yakın çevresinde deprem kaynaklı bir kütle hareketine Türkiye Afet Bilgi Bankası'nda rastlanmamıştır. Görüm ve Fidan (2021)'in çeşitli kaynaklardan derleyerek oluşturdukları Türkiye ölümcül heyelan veri tabanında da İyidere Havzası ve çevresinde gerçekleşmiş deprem kaynaklı bir afet olmadığı görülmektedir. Rize ili içerisinde yapılan değerlendirmelerde de depremlerin heyelanlar üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı açıkça belirtilmiştir (Karsli vd., 2009; Reis vd., 2009). Bütün bu hususlar göz önüne alındığında; İyidere Havzası'nda deprensellik parametresinin heyelan duyarlılığı üzerinde etkisinin yok düzeyinde kaldığı değerlendirilmiştir. Bu nedenle deprensellik, duyarlılık modeline parametrelerden birisi olarak dahil edilmemiştir. Bunun birlikte Türkiye'nin aktif bir deprem kuşağı üzerinde yer aldığı ve bölgeyi etkileyecek büyük bir depremin İyidere Havzası'nda bazı heyelanları tetikleyebileceği değerlendirilmiştir.



Şekil 3. 47. Türkiye'de deprem kuşakları (Özmen vd. 1997)



Şekil 3.48. 1900 - 31 Aralık 2020 Aletsel dönem depremleri ($M \geq 4$) (Kaynak: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü)

3.2.12. Topografik Nemlilik İndeksi (TWI)

Topografya, hidrolojik koşulları kontrol eden önemli bir mekânsal bileşendir. Toprak neminin mekânsal dağılışı, yer altı suyu akışı gibi hususlar üzerinde topografyanın etkisi bilinmektedir (Sørensen vd., 2006). Bu nedenle topografya ile hidrolojik koşullar arasındaki ilişkiyi irdeleyen çalışmalar oldukça uzun zamandır yapılagelmiştir (King, 1899; Tóth, 1963). Bu koşulların matematiksel olarak ifade edilebilmesi amacıyla da indeksler geliştirilmiştir (Condon & Maxwell, 2015). Bu indekslerden birisi de Topografik Nemlilik İndeksidir (Topographic Wetness Index-TWI). TWI, Beven ve Kirkby (1979) tarafından TOP-MODEL akış modeli kapsamında geliştirilmiştir. Bu indeks, topografik anlamda suya doymun alanların lokasyonlarının ve boyutlarının ifade edilmesi amacıyla kullanılan, homojen zemin koşulu varsayımına dayanan bir eşitliktir (Moore vd., 1991). Bu formül (Eşitlik 3.1), topografyanın zemin nemliliği üzerindeki etkisini ortaya koymak ve hidrolojik durumun mekânsal ölçekteki etkilerini hesaplamak için kullanılmaktadır (Othman vd., 2018). Toprak neminin mekânsal dağılımınının saptanmasına yardımcı olmaktadır (Devkota vd., 2013). Bu nedenlerle TWI oldukça farklı çalışma alanlarında da kullanılmaktadır (Besnard vd., 2013; Cohen vd., 2010; Kopecky & Cízková, 2010;

Pei vd., 2010; Raduła vd., 2018). İndeks ile eğime bağlı olarak yamaçlardaki su içeriğinin artma ihtimali saptanabilmektedir. Böylece de yamaçların suya doymun hale gelmesi ve kaymaya karşı duyarlı olabilmesi değerlendirilebilmektedir. Bu durum TWI indeksini heyelan duyarlılığının değerlendirildiği çalışmalarda da sıklıkla başvurulan bir yöntem haline getirmiştir (Brown, 2012; Chen vd., 2016; Cihangir, 2018; Görüm, 2006; Kavzoglu vd., 2015; Nefeslioglu & Gokceoglu, 2011; Nefeslioglu vd., 2011; Ohlmacher, 2007; Othman vd., 2018; Xu vd., 2012).

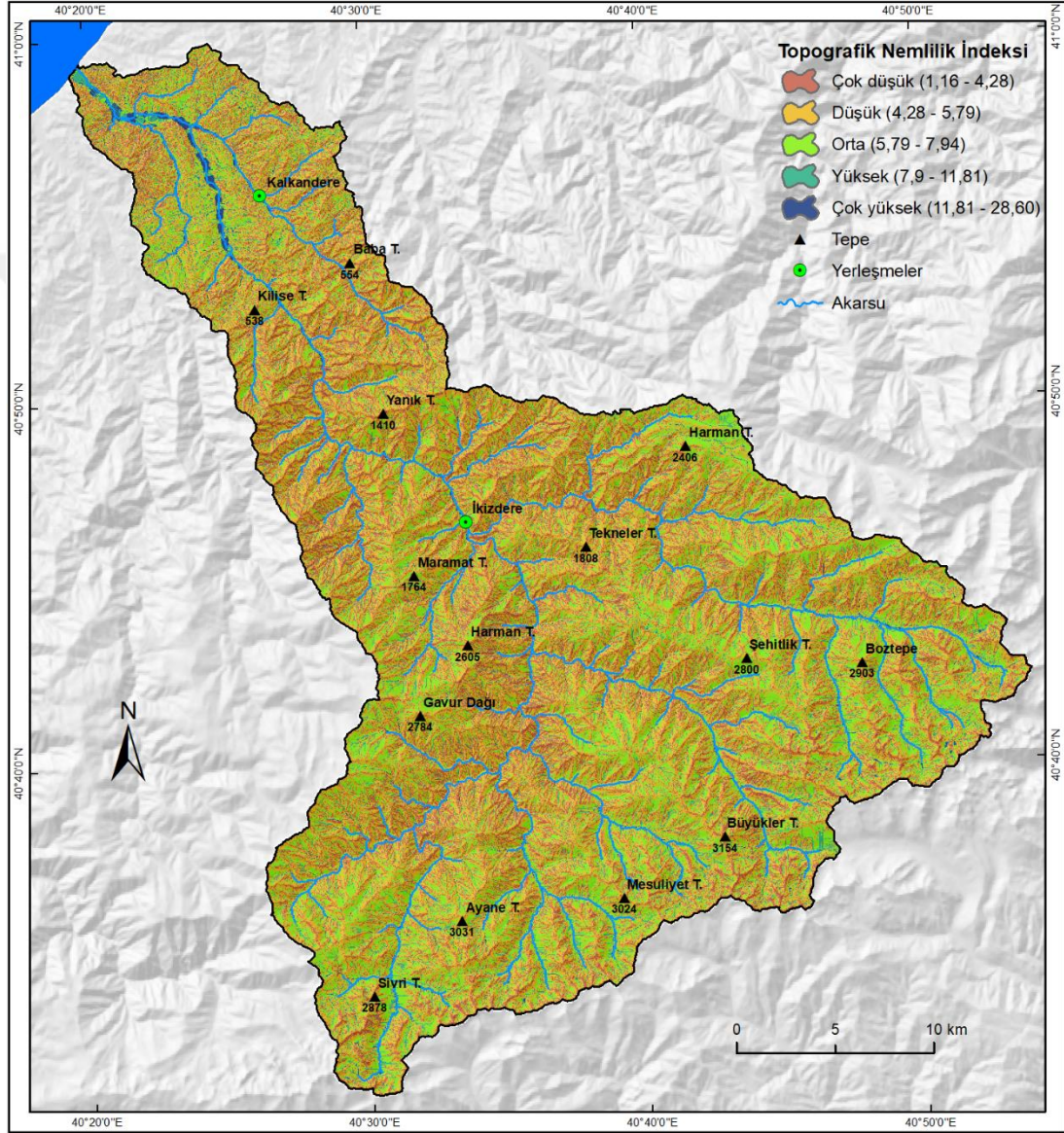
$$TWI = \ln(A_s / \tan \beta) \quad (3.1)$$

Formülde bulunan A_s özgül havza alanını, β ise yamaç eğimini ($^\circ$) ifade etmektedir. Özgül havza alanı, bir birim konturunun akış yukarı yakalama alanı olarak tanımlanır (Yang vd., 2011).

Doğu Karadeniz Bölümü'nde yağışın heyelanların tetiklenmesinde ana aktör olduğu bilinmektedir. TWI'nin de topraktaki su içeriği hakkında dolaylı bir veri sağlaması, su ile topografya arasındaki ilişkiyi açıklamasından dolayı bu çalışmada bir parametre olarak kullanılmıştır. İyidere Havzası'nda TWI değerlerine bakıldığında 1,16 ile 28,60 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Elde edilen TWI haritası "natural breaks" sınıflandırma yöntemi (Jenks, 1967) ile sınıflandırılarak tematik harita elde edilmiştir (Şekil 3.49). Oluşturulan 5 sınıf çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük şeklinde nitelendirilmiştir.

TWI değerinin, eğimin yüksek olduğu yamaçlarda, sırtlarda ve dış bükey yamaç şekline sahip alanlarda düşük olduğu görülmektedir. TWI değerinin yüksek olduğu alanlar ise genellikle vadi tabanlarına ya da havzanın aşağı çığırındaki alüvyal düzlüklere karşılık gelmektedir. Yukarıdaki paragraflarda yapılan açıklamalardan hareketle yürütülen genel kanaat TWI değerinin yüksek olduğu yerlerin heyelan açısından en duyarlı alanlar olacağı yönündedir. Ancak İyidere Havzası'nda TWI değerinin yüksek çıktığı alanlara bakıldığında buraların vadi tabanlarına ya da alüvyal düzlüklere karşılık geldiği görülmektedir. Bu kapsamda en yüksek TWI değerine sahip sınıfın en fazla heyelan alanına sahip olmayacağı açıktır. Nitekim İyidere Havzası'nda heyelanlar ile TWI sınıfları arasında sayısal ilişkiye bakınca bu durum görülmektedir (Tablo 3.22; Şekil 3.50). TWI değerinin en yüksek olduğu sınıf, en düşük heyelan alanını ve heyelan yoğunluğunu barındıran sınıftır. TWI değerinin ikinci en yüksek olduğu sınıf (yüksek TWI sınıfı) ise heyelan

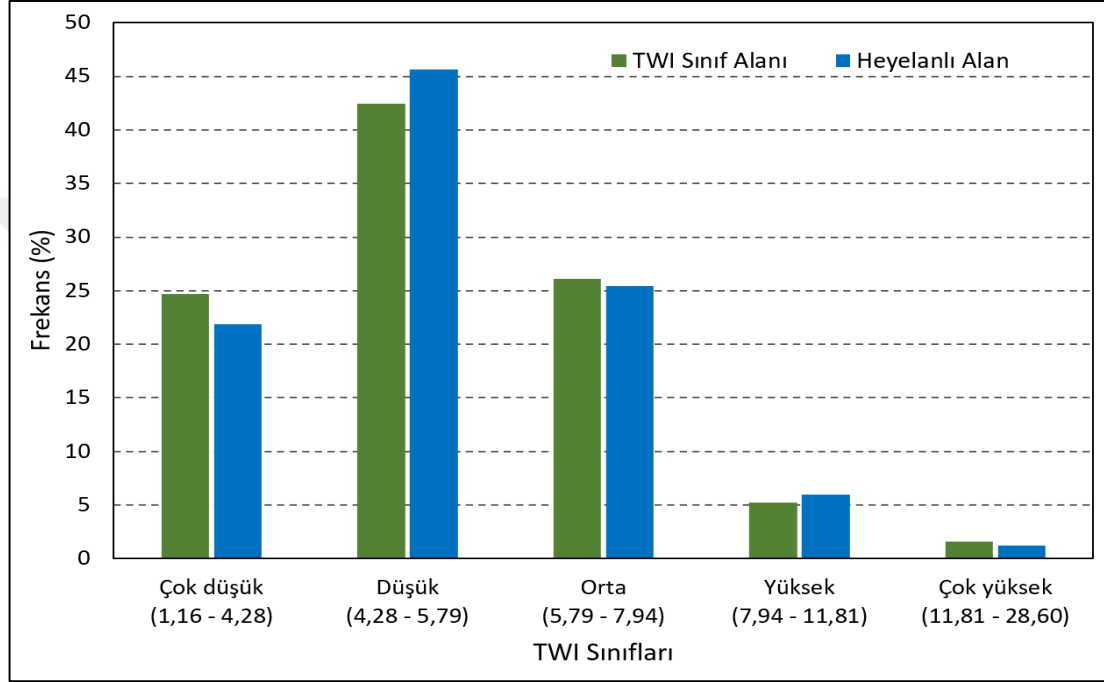
yoğunluğunun en yüksek tespit edildiği sınıftır. Bu sınıf, TWI ile İyidere Havzası'ndaki heyelanlar arasında anlamlı bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak TWI değerleri azalırken heyelan yoğunluğu değerlerinin düzenli olarak azalmadığı görülmektedir. Düşük TWI sınıfı, heyelan yoğunluğunun en yüksek olduğu ikinci sınıftır. Düşük TWI sınıfı eğimin nispeten yüksek olduğu alanlara karşılık gelmektedir. Bu nedenle de bu sınıfta heyelan yoğunluğu yüksek çıkmıştır.



Şekil 3. 49. Topografik Nemlilik İndeksi haritası

Tablo 3.22. Topografik Nemlilik İndeksi sınıfları ile heyelanların alansal verileri

TWI Sınıfları	TWI Sınıf Alanı		Heyelanlı Alan		Heyelan Yoğunluğu
	km ²	%	m ²	%	
Çok düşük (1,16 - 4,28)	260,13	24,72	198900	21,86	0,76
Düşük (4,28 - 5,79)	446,52	42,43	414900	45,60	0,93
Orta (5,79 - 7,94)	274,45	26,08	231100	25,40	0,84
Yüksek (7,94 - 11,81)	54,70	5,20	54000	5,94	0,99
Çok yüksek (11,81 - 28,60)	16,57	1,57	10900	1,20	0,66



Şekil 3.50. Topografik Nemlilik İndeksi sınıfları ile heyelanların alansal dağılış grafiği

3.2.13. Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi (SPI)

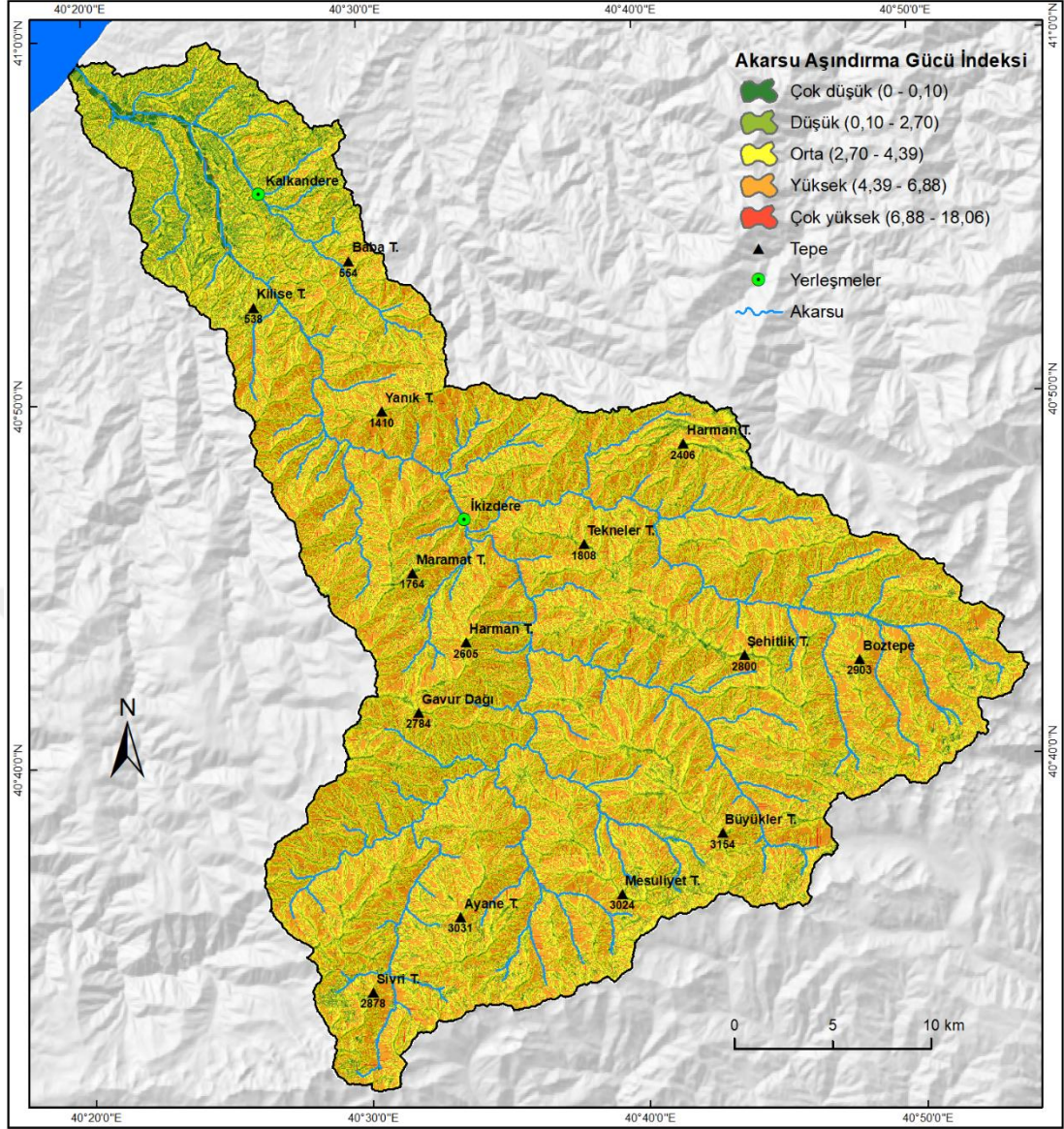
Akarsu aşındırma gücü indeksi (Stream power indices - SPI) sayısal arazi modellerinden üretilen ikincil topografik çıktılardandır. TWI gibi eğim ve özgül havza alanı arasındaki ilişkiden hareketle suyun aşındırma gücü ile ilgili sayısal bilgiler sunmaktadır. Akımın özgül havza alanı ile orantılı olduğu varsayımından hareketle akış halindeki suyun topografyayı erozyona uğratabilme gücünü açıklar (Moore vd., 1991). Farklı bir tanımlama ile SPI, eğim ve erozyon süreçlerini kontrol eden bir indekstir (Nefeslioglu vd., 2008). Bu indeks sayesinde akışın yarattığı aşındırma probleminin yüksek olduğu yerler belirlenmektedir (Cihangir, 2018). İndeks, mekânsal analizlerde kullanışlı oluşu sayesinde farklı çalışma alanlarında da kullanılmaktadır (Cao vd., 2016; Conforti vd., 2011; Hou vd., 2018; Ozdemir, 2011;

Sharma, 2010). Havza alanı ve eğim arttıkça su ve su akışının hızı artmakta, bundan dolayı akışın aşındırma gücü de artmaktadır. Bu bağlamda SPI indeksinde artış heyelan olma ihtimalinde artışa neden olacaktır. Bu durumda SPI indeksi, heyelanı kontrol eden parametrelerden birisi haline gelmektedir. Çünkü herhangi bir sahada oluşmuş bir heyelan topuğunun ortadan kaldırılması veya aşındırılması bu heyelanın tekrar aktivite kazanmasına neden olabilir (Görüm, 2006). Ayrıca akarsu aşındırma gücü indeksinin yüksek olduğu alanların akma tipindeki kütle hareketleri açısından yüksek potansiyele sahip oldukları da belirtilmiştir (Gokceoglu vd., 2005).

$$SPI = A_s \tan \beta \quad (3.2)$$

Formülde (3.2) bulunan A_s özgül havza alanını, β ise yamaç eğimini ($^{\circ}$) ifade etmektedir. Heyelan duyarlılığının değerlendirildiği birçok çalışmada kullanılmış (Devkota vd., 2013; Meten vd., 2015; Nefeslioglu vd., 2008; Van Westen vd., 2008) ve mantıklı ilişkiler saptanmış olmasından (Chen vd., 2016) dolayı bu çalışmada da tercih edilmiştir.

Doğu Karadeniz Bölümü'nde yağışların fazla olması ve buna bağlı olarak akış miktarlarının yüksekliği arazinin şekillenmesinde oldukça etkindir. Bu kapsamda doğayı şekillendiren bir dış kuvvet olarak varlık gösteren akış gücü, etkisini yamaç eteklerini oyarak ve yamaçların stabilitesini bozarak göstermektedir. Bu etki de heyelan oluşma ihtimalini artırmaktadır. Bu ihtimali değerlendirmek amacıyla İyidere Havzası'nda akarsu aşındırma gücü hesaplandığında indeksin 0 ile 18,06 arasında değişim gösterdiği görülmektedir. Elde edilen bu SPI haritası "natural breaks" sınıflandırma yöntemi ile sınıflandırılarak tematik harita elde edilmiştir (Şekil 3.51). Çalışma alanı içerisinde en yüksek SPI değerlerine farklı boyutlardaki havzaların en çukur kesimlerinde, yani akışın toplandığı alanlarda ve çevrelerinde rastlanmıştır. Bu alanlarda SPI değerinin yüksek çıkması akışın kuvvetli, aşındırmanın fazla olduğunu göstermektedir. Üretilen SPI sınıflarının alansal değerleri Tablo 3.23'de verilmiştir.



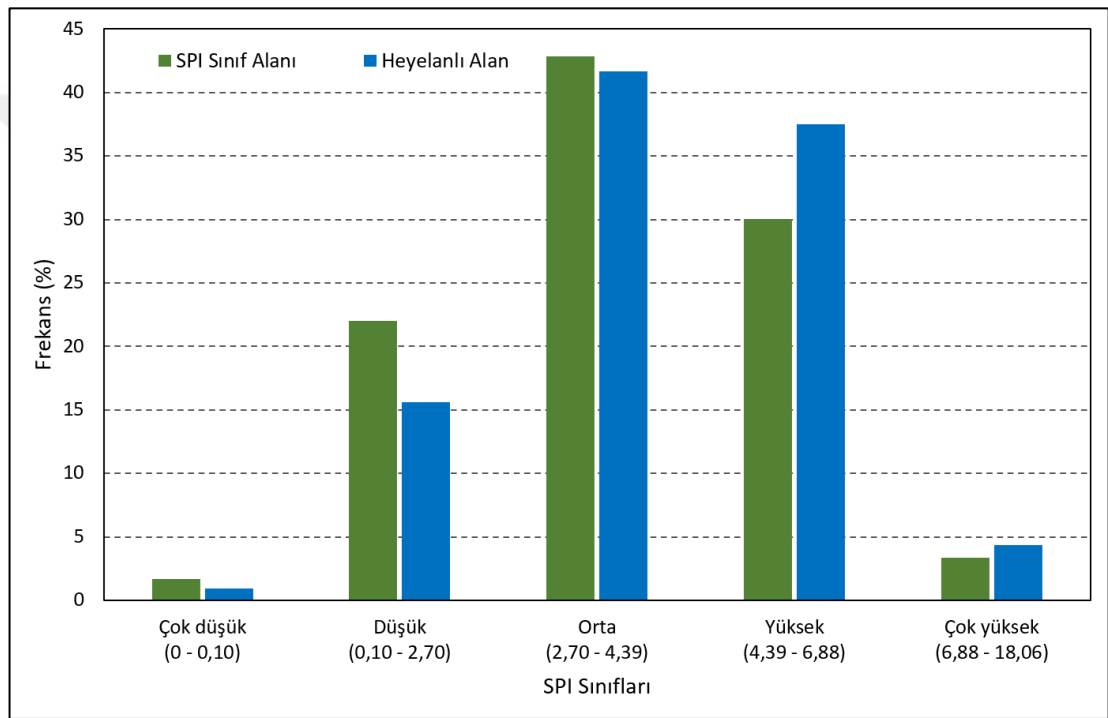
Şekil 3.51. Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi Haritası.

İyidere Havzası'ndaki akarsu aşındırma gücü indeksi sınıflarına göre heyelan dağılımı incelendiğinde; en fazla heyelan orta SPI sınıfında tespit edilmiştir (Şekil 3.52). Bunu sırasıyla; yüksek, düşük, çok yüksek ve çok düşük SPI sınıfları takip etmektedir. Ancak SPI ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi daha doğru anlamak için bu sınıfların havza içerisinde kapladıkları alanlar ile bu sınıflardaki heyelanların toplam alanlarını dikkate alan heyelan yoğunluğu değerleri incelenmelidir. Bu durumda İyidere Havzası'nda SPI değerleri ile heyelanlar arasında pozitif korelasyon olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.23). En yüksek değerlere sahip SPI sınıfı heyelan yoğunluğunun en fazla olduğu, en düşük SPI sınıfı ise heyelan yoğunluğunun en düşük olduğu sınıf olarak belirlenmiştir. SPI değerlerinin düşüne paralel olarak heyelan yoğunluğu değerleri de düşmektedir. Bu durum göstermektedir ki; İyidere

Havzası'nda SPI değerlerinin artması, heyelan oluşma ihtimalini artırmaktadır.

Tablo 3.23. Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi sınıfları ile heyelanların alansal verileri

SPI Sınıfları	SPI Sınıf Alanı		Heyelanlı Alan		Heyelan Yoğunluğu
	km ²	%	m ²	%	
Çok düşük (0 – 0,10)	17,69	1,68	8500	0,93	0,48
Düşük (0,10 – 2,70)	231,90	22,04	142000	15,61	0,61
Orta (2,70 – 4,39)	450,93	42,85	379000	41,66	0,84
Yüksek (4,39 – 6,88)	316,41	30,07	341000	37,48	1,08
Çok yüksek (6,88 – 18,06)	35,43	3,37	39300	4,32	1,11



Şekil 3.52. Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi sınıfları ile heyelanların alansal dağılım grafiği

3.2.14. Topografik Pozisyon İndeksi (TPI)

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanılabilirliği ve sayısal yükselti modellerinin de erişilebilirliğinin artmasıyla arazi yapısının otomatik sınıflandırılmasına yönelik imkânlar da artmıştır. Bu kapsamda ortaya çıkan Topografik pozisyon indeksi (Topografik position index-TPI) eğim durumuna ve arazi şekline bağlı olarak sayısal yükseklik modelinden üretilmekte ve jeomorfolojik ortamın nicel bir şekilde ifade edilmesini sağlamaktadır (Costanzo vd., 2012). Bunu yaparken yükselti basamaklarına ait hücre değerlerini kullanarak arazinin göreceli topografik pozisyonunu vermektedir. Bu işlem, belirli bir nokta (ya da hücre) ile bu noktanın

etrafında, çapı önceden belirlenmiş komşu alan arasındaki ortalama yükselti değerlerinin karşılaştırılması ile yapılır. Elde edilen pozitif değerler hücrenin çevresinden daha yüksek olduğunu, negatif değerler ise daha alçak olduğunu göstermektedir. Sıfıra yakın değerler ise düzlükler, sırtlar veya sabit eğimli yerleri göstermektedir. Yani indeks sayesinde göreceli olarak arazideki tepe, yamaç, vadi tabanı gibi tematik sınıflandırmaların yapılması mümkün olmaktadır. Böylece indeks sayesinde alanın morfolojik sınıflandırılmasında hızlı ve etkili veri sağlanmaktadır (Jenness, 2006; Weiss, 2001).

TPI, jeomorfoloji alanında (Lay vd., 2017; Skentos, 2017; Tağıl & Jennes, 2008) kullanımının yanı sıra oldukça farklı alanlarda da sağlandığı mekânsal veri altlığı sayesinde tercih edilen bir yöntem olmuştur (Gülsoy & Çıvğa, 2016; Güney vd., 2015; Mert & Kıraç, 2017; Mieza vd., 2016; Oruç vd., 2017; Süel, 2019). Heyelan duyarlılığı ile ilgili yapılan birçok çalışmada da TPI parametresi, anlamlı veriler sağlaması nedeniyle değerlendirmeye alınmıştır (Conoscenti vd., 2014; Conoscenti vd., 2016; Costanzo vd., 2012; Othman vd., 2018).

$$TPI = Z_0 - \bar{Z} \quad (3.3)$$

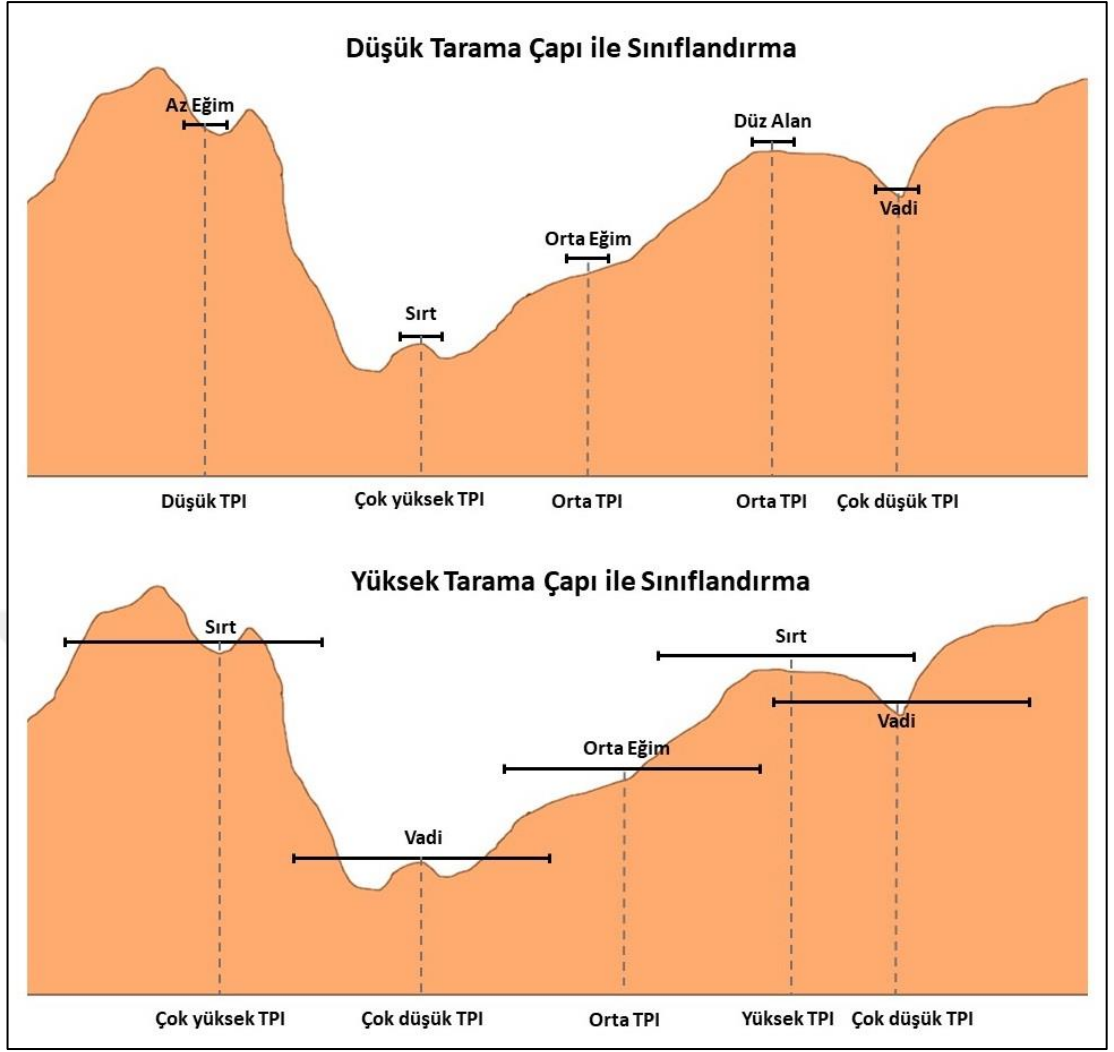
$$\bar{Z} = \frac{\sum h_j}{n} \quad (3.4)$$

Formülde belirtilen Z_0 merkezdeki hücrenin (pikselin) yüksekliğini, \bar{Z} ise çevresindeki belirlenmiş alanın ortalama yükseltisini vermektedir. Altteki formülde bulunan h_j analiz edilen hücrenin çevresindeki hücrelerin yüksekliğini, n ise çevredeki hücrelerin sayısını ifade etmektedir (Lay vd., 2017). Analiz sonucu elde edilecek olan TPI sonuçlarının aralığı yalnızca yükseltiye bağlı değildir. Ayrıca tarama çapına da bağlıdır. Büyük tarama çapı büyük morfolojik birimleri ortaya çıkarırken, daha küçük tarama çapı değerleri küçük vadiler ve sırtlar gibi özellikleri ortaya çıkartır (De Reu vd., 2013) (Şekil 3.53, 3.54). Bu nedenle doğru bir topografik değerlendirmenin yapılabilmesi için hücre çevresindeki yarı çapın doğru seçilmesi önemlidir. Bu aşamada farklı tarama yarı çapı değerleri ile tekrar tekrar üretim yapılarak seçenekler arasından topografyayı en iyi yansıtanı seçmek gerekmektedir (Muddarisna vd., 2020; Tağıl & Jennes, 2008). Bu seçimi yaparken çalışmanın kapsamını ve amacını da göz önünde bulundurmak gerekir. TPI verisinin üretiminden sonra elde edilen değerler ile arazideki morfolojik birimler sınıflandırılabilir (Çilek vd., 2019; Kramm vd., 2017; Mokarram vd., 2015;

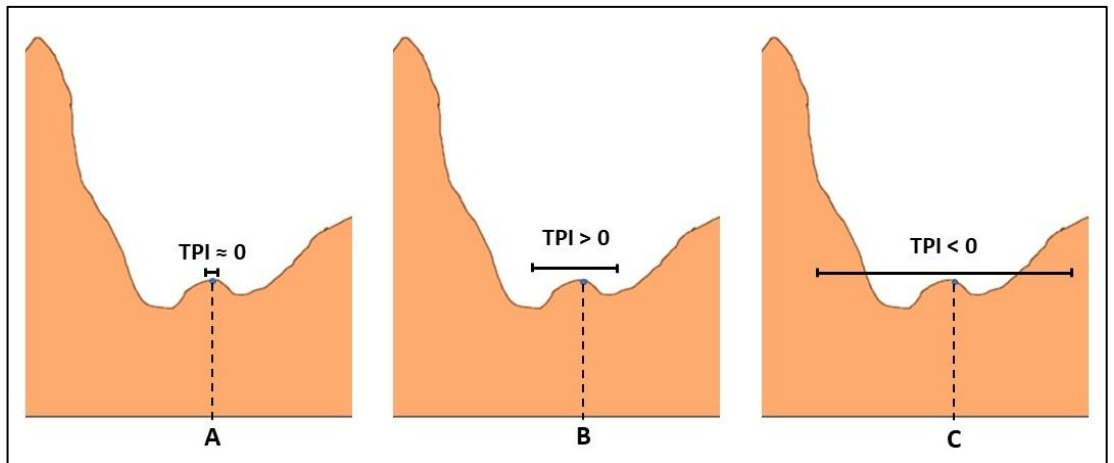
Muddarisna vd., 2020). Ancak heyelan duyarlılığının değerlendirildiği çalışmalarda elde edilen TPI değerleri morfolojik birimlere dönüştürülmeden kullanılmaktadır (Arabameri vd., 2020; C Conoscenti vd., 2014; Oh & Lee, 2017; Riza Kadavi vd., 2019). İyidere Havzası'nda heyelan duyarlılığının değerlendirildiği çalışma kapsamında da TPI indeksi sonucu elde edilen değerler Weiss (2001)'de belirtildiği gibi morfolojik arazi sınıflarına dönüştürülmeden kullanılmıştır.

İyidere Havzası'nda farklı tarama çapı girdileri ile birlikte 9 farklı harita üretilmiştir (Şekil 3.55). Kullanılan tarama çapı değerleri sırasıyla; 100m, 150m, 250 m, 400 m, 500 m, 750 m, 1000 m, 1500 m ve 2000 m'dir. Üretilen bu veriler içerisinden havzanın morfolojik durumunu daha iyi yansıtması ve çalışmanın amacı göz önünde bulundurularak 250 m tarama çapı ile üretilmiş olan TPI haritası üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır (Şekil 3.56). Bu tarama çapı ile elde edilen haritanın seçiminde üretilen heyelan envanterinin ölçeği de etkili olmuştur. İyidere Havzası'na ait orta ölçekli heyelan envanteri hazırlandığından dolayı büyük tarama çapı tercih edilmemiştir.

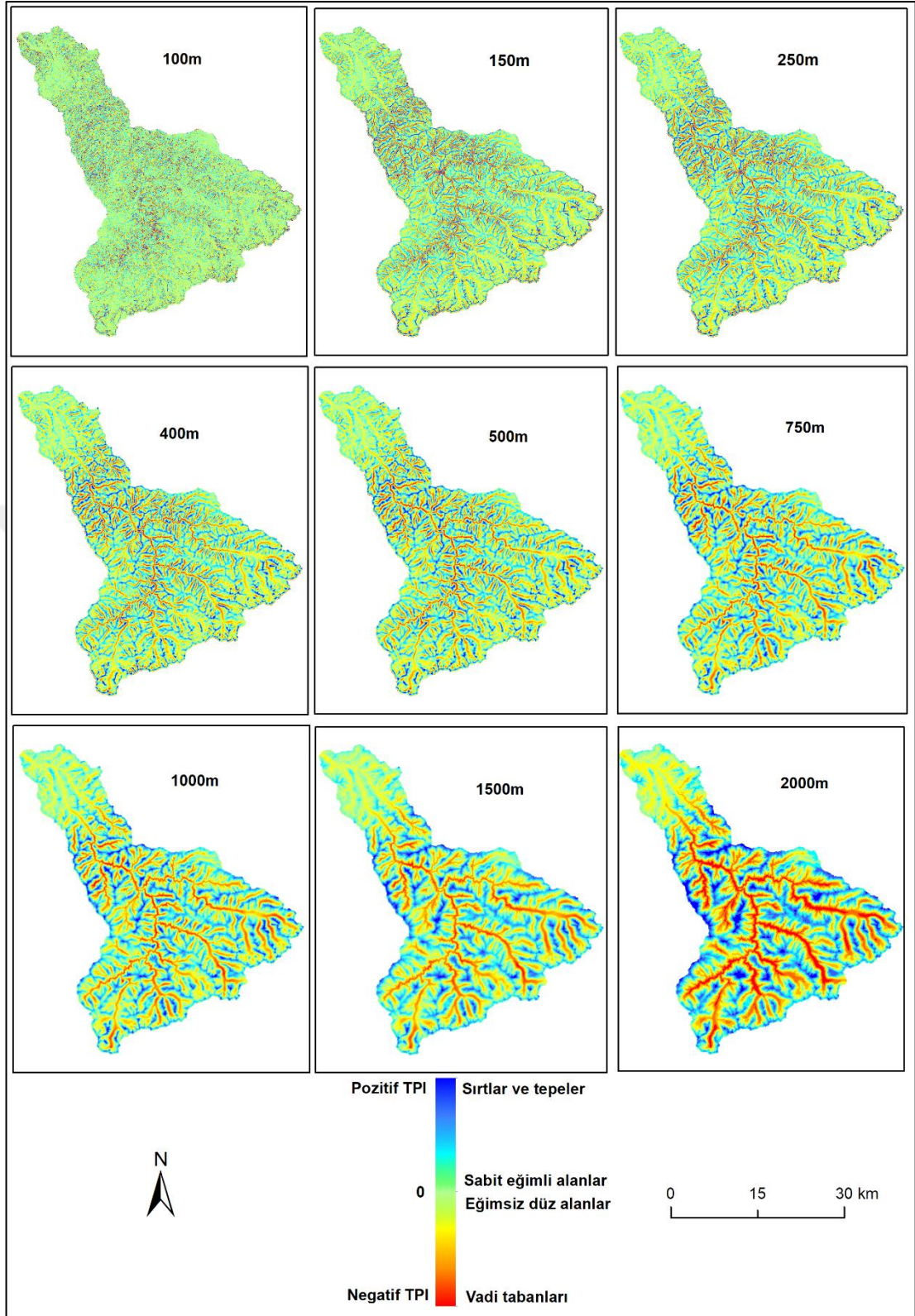
Elde edilen TPI haritasında değerler -106,93 ile 138,60 arasında değişim göstermektedir. Bu değerlerden üzerinden harita "natural breaks" yöntemi ile 5 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3.56). Üretilen haritadaki TPI sınıfları ile karşılık geldikleri morfolojik birimler genelleştirildiğinde; çok düşük TPI sınıfı, morfolojik olarak havza içerisinde derin yarılmış vadileri göstermektedir. Düşük TPI sınıfı ise nispeten daha geniş tabanlı olan vadileri kapsamaktadır. Orta TPI sınıfı sabit veya sabite yakın eğimli yamaçlar ile düz alanları işaret etmektedir. Yüksek ve çok yüksek TPI sınıfları ise havza içerisindeki sırtları ve tepelik alanları göstermektedir.



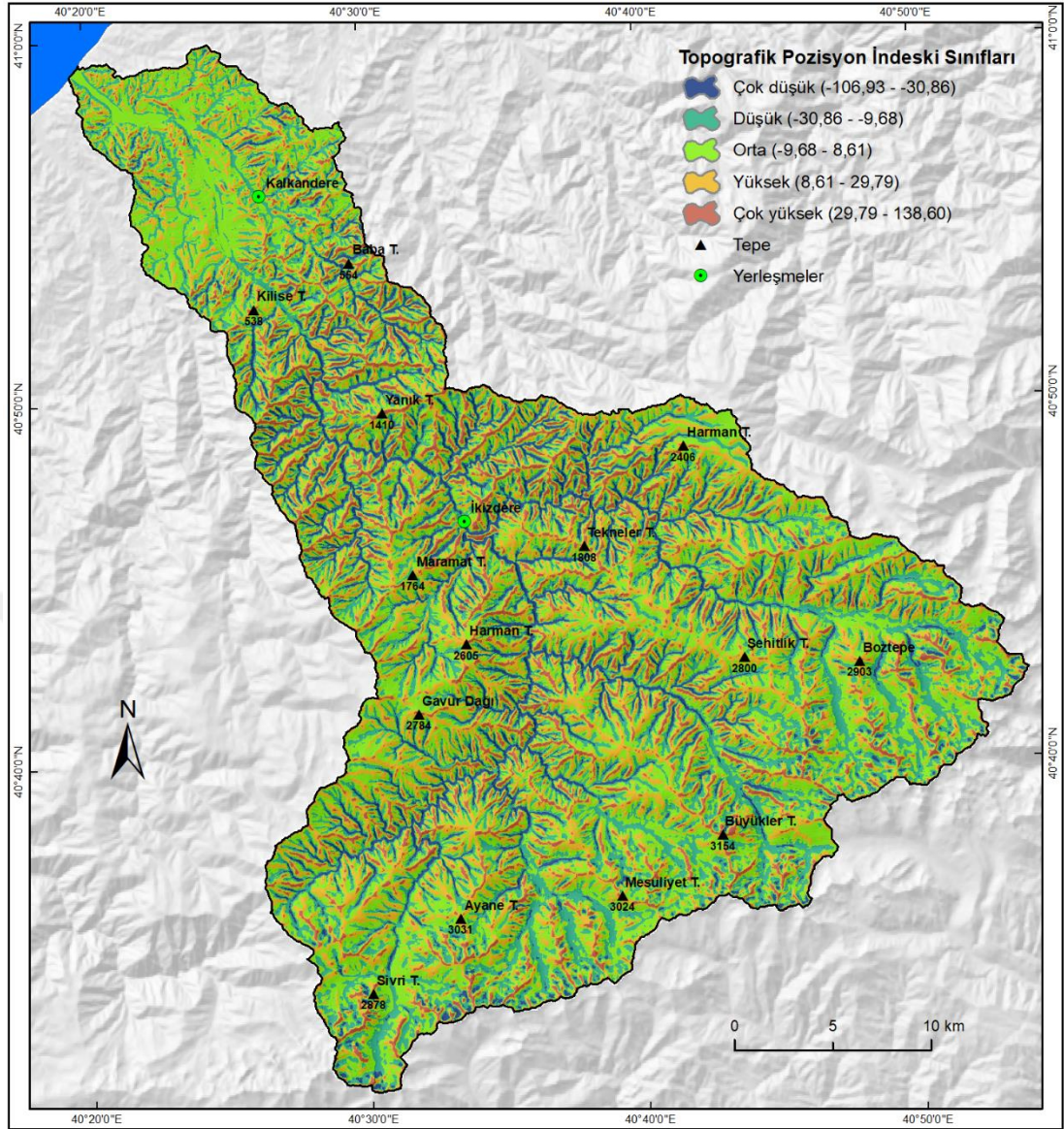
Şekil 3.53. Farklı tarama çaplarında TPI'nın hesaplanması ve arazinin sınıflandırılması (Jenness, 2006'dan değiştirilerek).



Şekil 3.54. Farklı tarama çaplarında TPI hesaplaması (Jenness, 2006'dan değiştirilerek).



Şekil 3.55. Farklı tarama çaplarında üretilen TPI haritaları



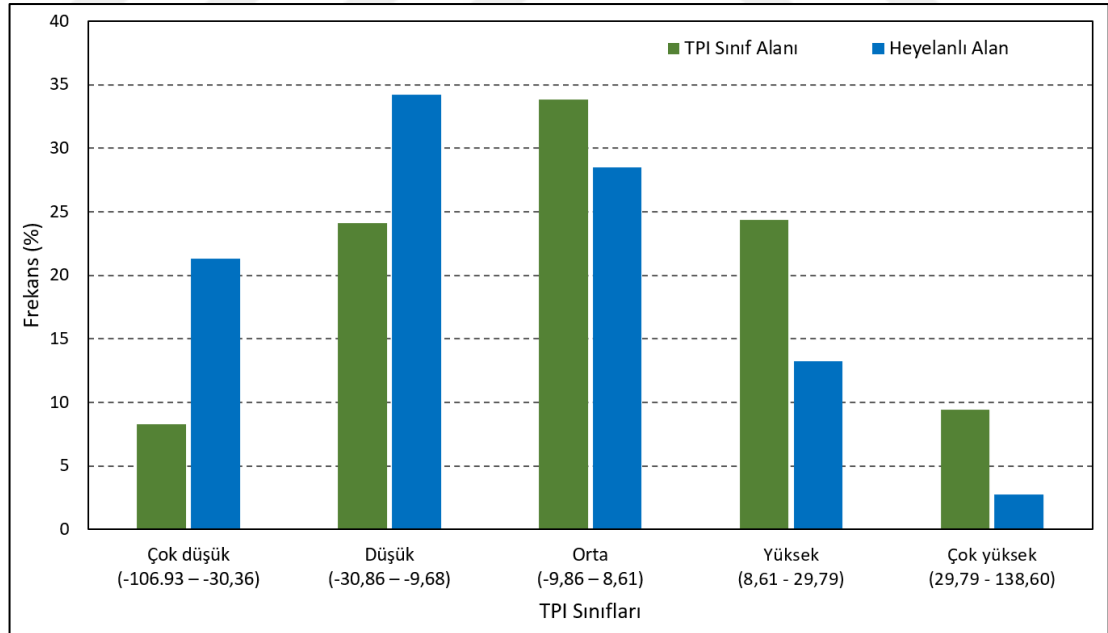
Şekil 3.56. Topografik Pozisyon İndeksi (TPI) haritası

İyidere Havzası'ndan en fazla alansal yayılışa orta TPI sınıfı sahiptir (355,95 km²) (Tablo 3.24; Şekil 3.57). Bu durum havzanın %33,82'sinin sabite yakın eğime sahip yamaçlar ve düzlük alanlardan oluştuğunu göstermektedir. Sırtlara ve tepelik alanlara karışık gelen çok yüksek ve yüksek TPI sınıfları birlikte İyidere Havzası'nın %33,81'ini kapsamaktadır (355,80 km²). En düşük alansal yayılışa ise çok düşük TPI sınıfı sahiptir. Havzanın yalnızca %8,29'unda (87,22 km²) dağılış göstermektedir. Bu sınıf havza içerisinde en az yayılış gösteren sınıf olmasına karşın İyidere Havzası'ndaki heyelan alanlarının %21,29'unu barındırmaktadır. Bu nedenle de çok düşük TPI sınıfı, heyelan yoğunluğunun en fazla olduğu sınıftır. Bütün TPI sınıfları ile heyelan yoğunluğu değerleri arasında negatif bir korelasyon bulunmaktadır. TPI değerleri artarken heyelan yoğunlukları düşmektedir. Çok düşük TPI sınıfında

heyelan yoğunluğunun diğer sınıflara nazaran oldukça yüksek oluşu, İyidere Havzası'nda heyelanların vadi içlerinde, özellikle derin yarılmış vadilerde yamaçların topuk kısımlarının oyulmasına bağlı olarak gerçekleştiğini kanıtlamaktadır. Bu durum aynı zamanda İyidere Havzası'nda heyelan oluşma ihtimalinin yamaçların aşağı kısımlarında daha yüksek olduğunu da ortaya koymaktadır. Sabit eğimli yamaçlarda, sırt ve tepelik alanlarda heyelan oluşma ihtimalinin nispeten düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bütün bu bilgiler İyidere Havzası'nda mekânsal olarak heyelan oluşma potansiyelinin ortaya koyulmasında TPI'nin önemini de açıklamaktadır.

Tablo 3.24. Topografik Pozisyon İndeksi sınıfları ile heyelanların alansal verileri

TPI Sınıfları	TPI Sınıf Alanı		Heyelanlı Alan		Heyelan Yoğunluğu
	km ²	%	m ²	%	
Çok düşük (-106,93 – -30,86)	87,22	8,29	193700	21,29	2,23
Düşük (-30,86 – -9,68)	253,40	24,08	311600	34,25	1,23
Orta (-9,68 – 8,61)	355,95	33,82	259200	28,49	0,73
Yüksek (8,61 – 29,79)	256,56	24,38	120500	13,24	0,47
Çok yüksek (29,79 – 138,60)	99,24	9,43	24800	2,73	0,25



Şekil 3. 57. Topografik Pozisyon İndeksi sınıfları ile heyelan alanların oransal dağılış grafiği

3.2.15. Arazi Pürüzlülük İndeksi (TRI)

Arazi Pürüzlülük İndeksi, Riley vd. (1999) tarafından arazinin niteliksel olarak değerlendirilmesinin önüne geçerek, niceliksel ve objektif bir arazi değerlendirmesinin yapılabilmesi amacıyla ortaya çıkartılmıştır. Bu indeks ile topografik heterojenlik sayısal bir şekilde ifade edilebilmektedir. TRI aynı zamanda hızlı bir değerlendirme yapıyor olmasından dolayı da avantajlıdır. Bu değerlendirmeyi yaparken indeks raster formattaki sayısal yükseklik modeli içindeki her bir hücre (piksel-grid) ve sekiz komşu hücresi arasındaki toplam rakım değeri değişikliğinden yararlanmaktadır (Riley vd., 1999). Başka bir ifadeyle TRI, belirli bir raster hücresinin çevresindeki yükseltilere bağlı olarak yüzey pürüzlülüğünü ölçen bir parametredir (Rózycka vd., 2015). Pürüzlülük indeksi değerleri engebeli alanlarda ve sırtlar boyunca yüksek değerlere ulaşmaktadır (Elmacı vd., 2017).

$$TRI = (\sum(Z_c - Z_i)^2)^2 \quad (3.5)$$

Formülde bulunan Z_c merkezde bulunan hücrenin yükseltisini ifade etmektedir. Z_i ise sekiz komşu hücreden birisinin ($i= 1, 2, 3, \dots, 8$) yükseltisini ifade etmektedir (Rózycka vd., 2015) (Şekil 3.58).. Arazinin engebeli ve yüksek olduğu yerlerde indeks değerini yüksek, düz olduğu alanlarda ise indeks değeri düşük çıkmaktadır.

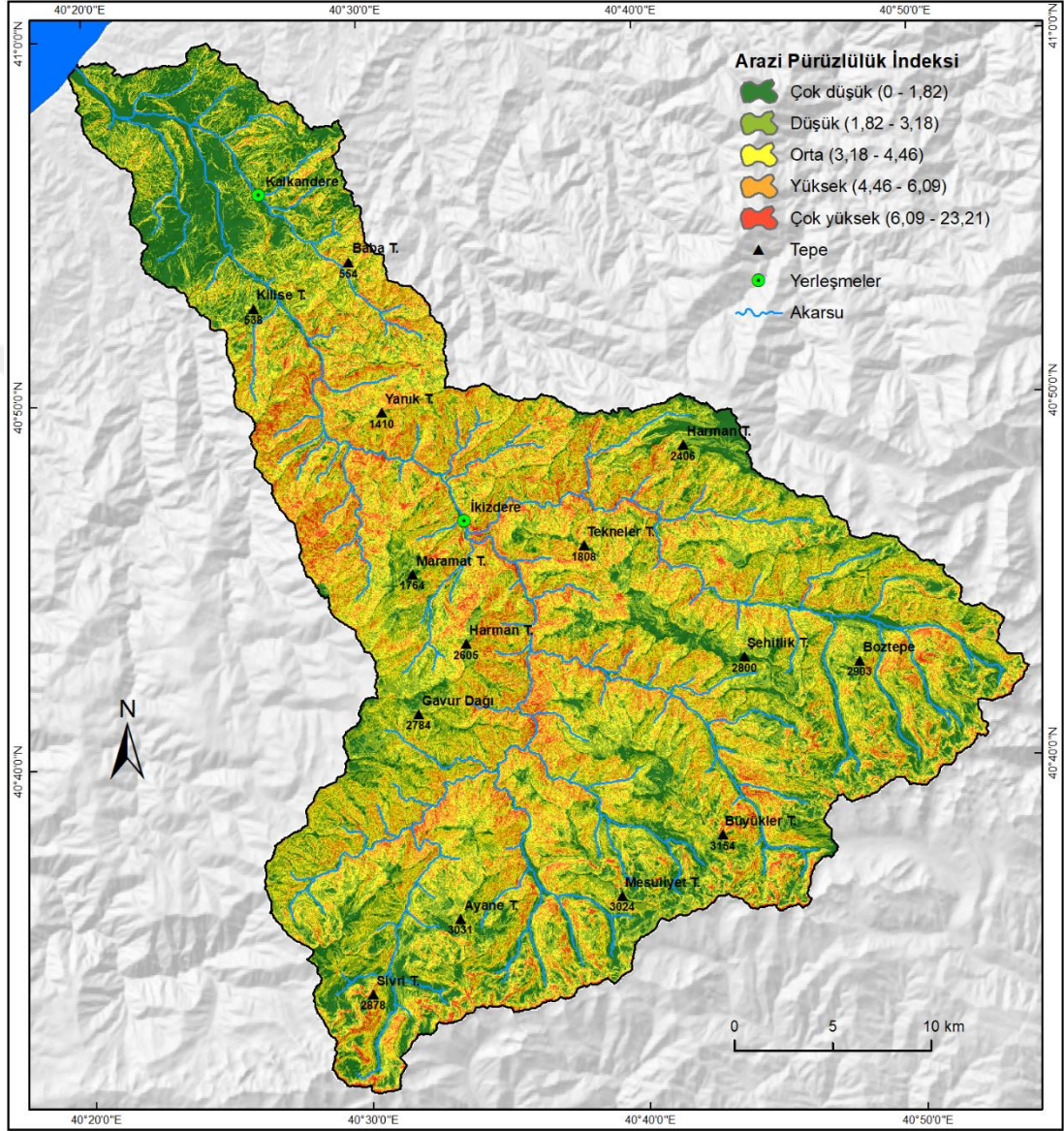
Z_i	Z_i	Z_i
Z_i	Z_c	Z_i
Z_i	Z_i	Z_i

Şekil 3.58. Arazi pürüzlülük indeksi formülündeki birimlerin şekilsel gösterimi.

TRI geliştirildiğinde ilk ve en önemli kullanım alanı çevresel değişkenler ile habitat ve türlerin arasındaki ilişkiyi arayan ekolojik temelli konular olmuştur. Bu bağlam birçok çalışmada da kullanılmıştır (Ertuğrul vd., 2017; Mert & Kıraç, 2017; Negiz vd., 2019). Sahip olduğu avantajlar ile TRI heyelan duyarlılığının değerlendirildiği çalışmalarda da kullanılmıştır (Kalantar vd., 2018; Mahalingam vd., 2016; Şahin, 2018; Tekin & Can, 2016). Heyelan hazırlayıcı faktörlerden birisi olarak topografyanın durumunu objektif bir şekilde ortaya koyması ve bunu yaparken de nicel değerler ile farklı analiz süreçlerine entegre edilebilir olması, bu

indeksi kullanılabilir kılmaktadır.

Çalışma kapsamında elde edilen TRI haritası değerleri 0 ile 23,21 arasında değişim göstermektedir (Şekil 3.59). Bu değerler ile elde edilen harita “natural breaks” yöntemine göre 5 sınıfa ayrılmıştır.

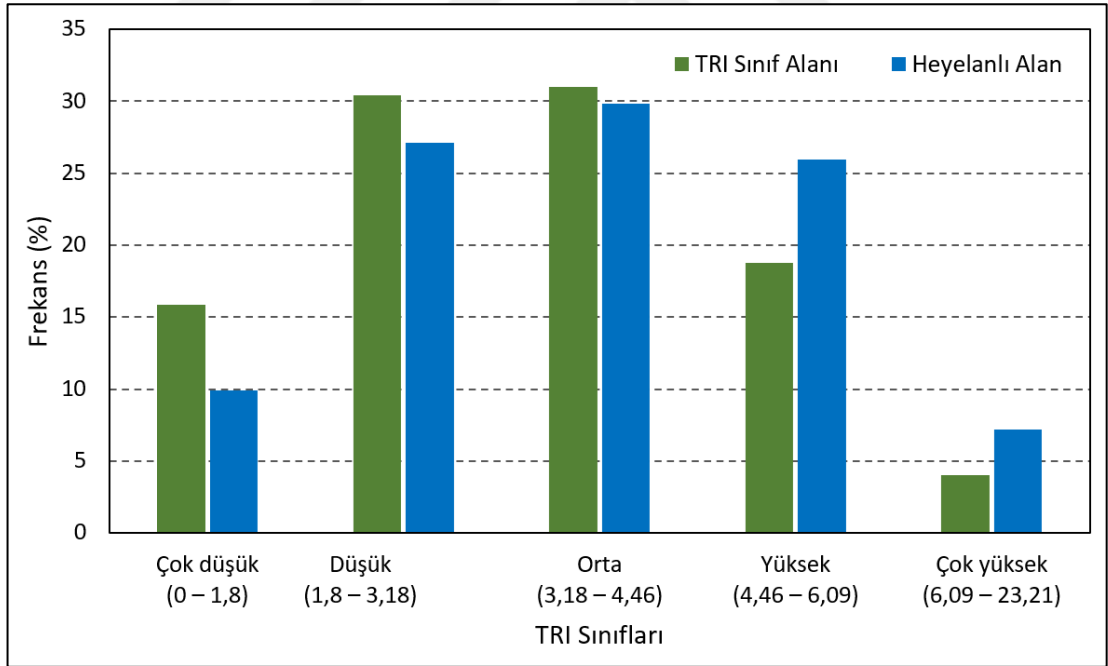


Şekil 3.59. Arazi Pürüzlülük İndeksi (TRI) haritası.

İyidere Havzası'nda TRI değerleri incelendiğinde havzanın aşağı çığırında, deniz seviyesinden kuş uçuşu yaklaşık 15-16 km havzanın içerisine kadar olan alanda TRI değeri düşük seyretmektedir. Bu saha havza içerisinde nispeten topografik arızanın en az olduğu kısımlara denk gelmektedir. Nitekim yaklaşık olarak belirtilen sınırdan itibaren İyidere akarsuyu da yatağını genişleterek akışına devam etmektedir. Bu hususlar havzanın bu kısmında aşındırıcı etmenlerin topografyadaki engebeyi

havzanın diğer kısımlarına nazaran daha fazla azalttığını göstermektedir. Belirtilen mesafeden sonra havza içerisinde doğru gidildikçe artan dar ve derin vadiler ile müteşekkil arızalı topografyaya bağlı olarak TRI değerleri artış göstermektedir. İyidere Havzası'nın yüksek kesimlerindeki eski aşınım düzlüklerinde ise düşük TRI değerleri hesaplanmıştır.

TRI ile heyelanlar arasındaki ilişki incelendiğinde; en fazla heyelan orta TRI sınıfında tespit edilmiştir (Tablo 3.25; Şekil 3.60). Bu sınıfı sırasıyla düşük, yüksek, çok düşük ve çok yüksek sınıfları takip etmektedir. TRI sınıflarını birbirleriyle kıyaslayabilmek amacıyla TRI sınıf alanları ve o sınıflardaki heyelan alanlarından hareketle üretilen heyelan yoğunluğu değerleri üretilmiştir. Bu değerler anlamlı ilişkilerin saptanmasını sağlamıştır. TRI değerlerine paralel olarak heyelan yoğunluğu değerleri de artmaktadır (Tablo 3.25). Bu durum İyidere Havzası'nda topografik engebenin artışına bağlı olarak heyelan oluşma ihtimalinin arttığını ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuç İyidere Havzası'nda heyelana duyarlı alanların tespitinde TRI'nin önemli bir çevresel bileşen olduğunu da kanıtlamaktadır.



Şekil 3.60. Arazi Pürüzlülük İndeksi sınıfları ile heyelan alanlarının oransal dağılım grafiği

Tablo 3.25. Arazi Pürüzlülük İndeksi sınıfları ile heyelanların alansal verileri

TRI Sınıfları	TRI Sınıf Alanı		Heyelanlı Alan		Heyelan Yoğunluğu
	km ²	%	m ²	%	
Çok düşük (0 – 1,8)	167,01	15,87	90000	9,89	0,54
Düşük (1,8 – 3,18)	320,00	30,41	246900	27,14	0,77
Orta (3,18 – 4,46)	326,00	30,98	271300	29,82	0,83
Yüksek (4,46 – 6,09)	197,30	18,75	236100	25,95	1,20
Çok yüksek (6,09 – 23,21)	42,06	4,00	65500	7,20	1,56

3.2.16. Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi (STC)

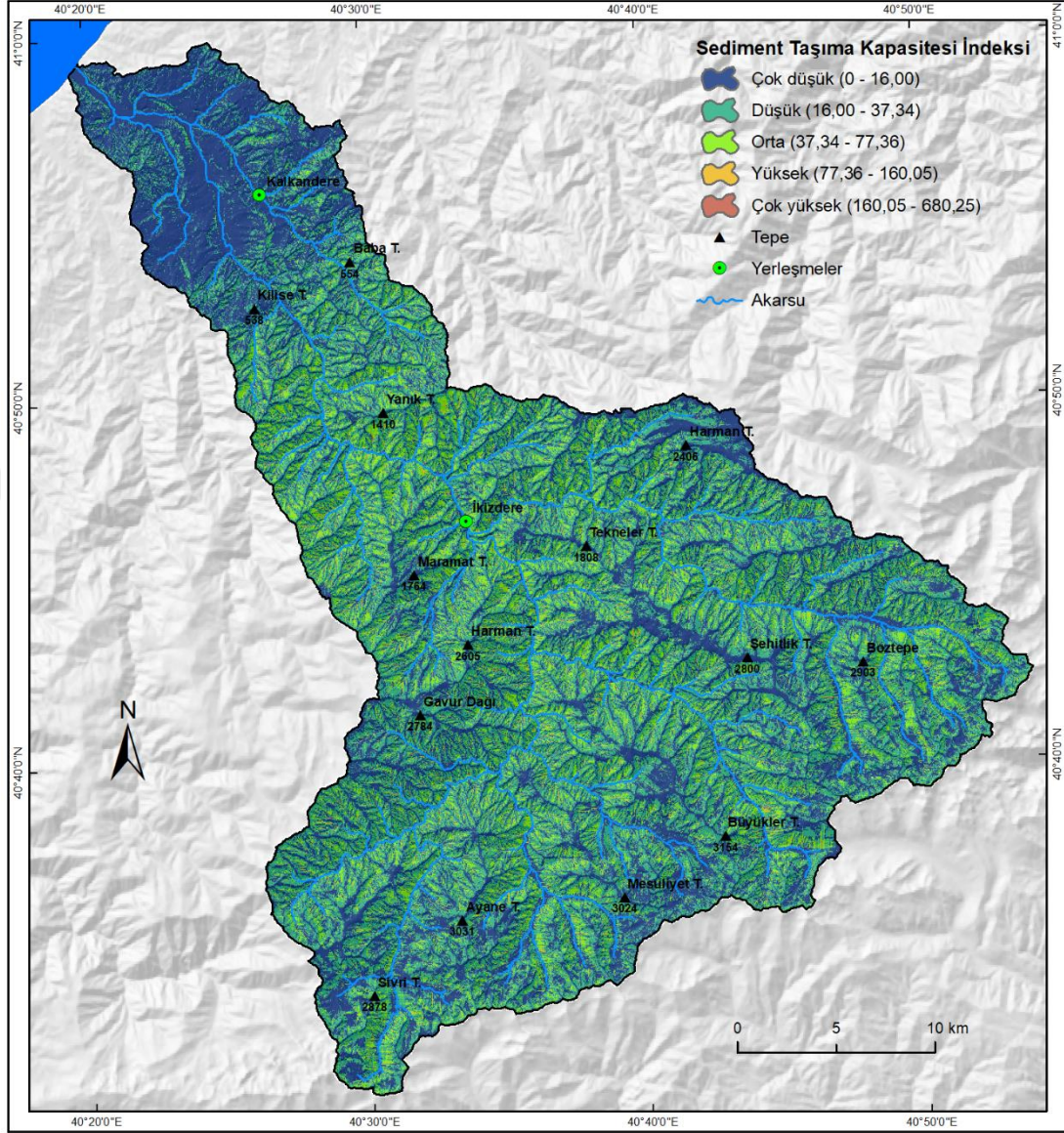
Sediment taşıma kapasitesi indeksi (STC), sahadaki erozyon ve birikme sürecini karakterize etmektedir (Devkota vd., 2013). Moore ve Bruch (1986) tarafından geliştirilen indeksin temel girdisini topografya oluşturmaktadır. İndeks, eğime ve akış beslenme alanına (özümlü havza alanı) bağlı olarak belirli bir noktadaki aşındırma potansiyelini niceliksel olarak ölçmektedir (Nefeslioglu vd., 2008). Yani indeksi kontrol eden unsurlar besleme alanı ve eğim açısıdır. İndeksin formülü aşağıdadır (3.6).

$$STC = (m + 1) \left(\frac{A_s}{22.13} \right)^m \left(\frac{\sin \beta}{0.0896} \right)^n \quad (3.6)$$

Formülde bulunan A_s özgül havza alanını, β ise eğimi ifade etmektedir. m ve n değerleri ise sırasıyla 0.4 ve 1.3 olarak verilmektedir (Moore vd., 1991). İndeks erozyon (Ahmad vd., 2019; Dube vd., 2014; Kumar & Gupta, 2016), toprak-tarım (Bangroo vd., 2020; Mehnatkesh vd., 2013; Norouzi vd., 2010), uygun yer analizi (Rahmati vd., 2019) gibi farklı çalışmalarda kullanılmıştır. Heyelan duyarlılığının değerlendirildiği birçok çalışmada da (Bai vd., 2011; Hong vd., 2017; Jaafari vd., 2014; Mohammady vd., 2012; Nefeslioglu & Gokceoglu, 2011; Nefeslioglu vd., 2011; Pourghasemi vd., 2013; Mohammady vd., 2012; Pradhan, vd., 2012) STC indeksi parametrelerden birisi olarak analize dahil edilmiştir.

İyidere Havzası'nda STC indeksinin dağılımı incelediğinde (Şekil 3.61); havzanın aşağı kesiminde eğim değerinin düşük olduğu yerlerde, havzanın yüksek kesimlerindeki eski aşınım düzlüklerine karşılık gelen yerlerde, havza sınırı boyunca ve sırtlarda STC değeri düşüktür. Eğim değerlerinin yükseldiği ve su toplama alanlarının genişlediği yerlerde ise STC değeri artış göstermektedir. İyidere Havzası sınırları içerisinde en fazla alanı düşük STC sınıfı (482,65 km² - %45,86)

kaplamaktadır (Tablo 3.26). Bu sınıfı sırasıyla çok düşük, orta, yüksek ve çok yüksek STC sınıfları takip etmektedir.

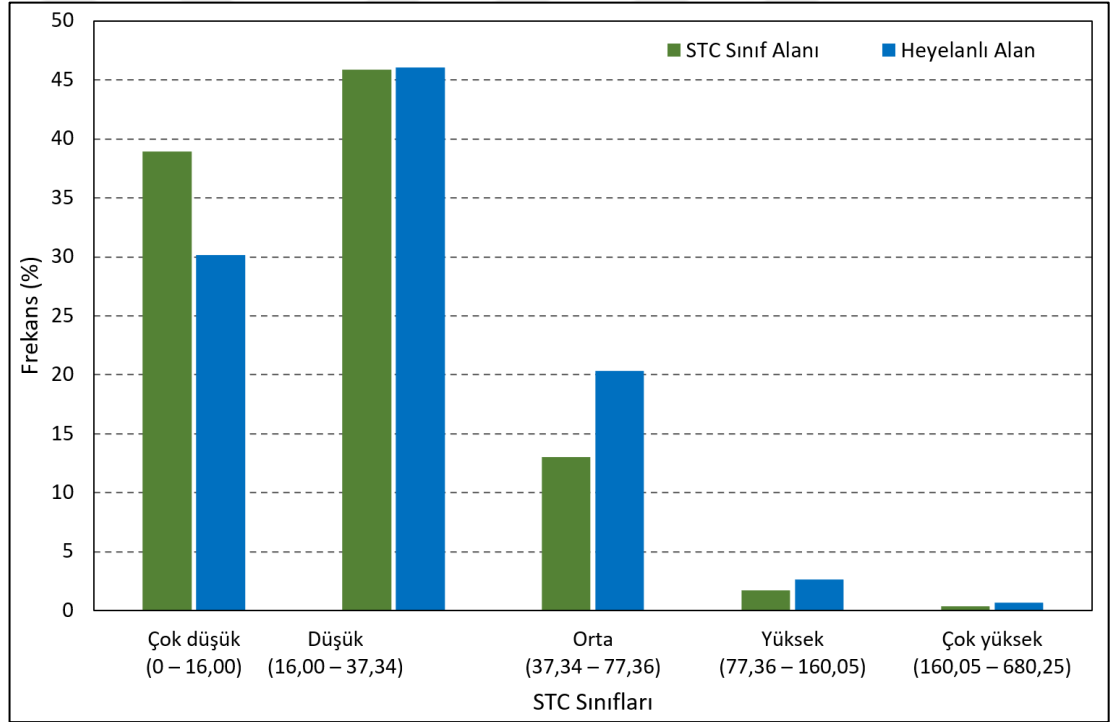


Şekil 3.61. Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi (STC) haritası.

Tablo 3.26. Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi sınıfları ile heyelanların alansal verileri

STC Sınıfları	STC Sınıf Alanı		Heyelanlı Alan		Heyelan Yoğunluğu
	km ²	%	m ²	%	
Çok düşük (0 – 16,00)	409,88	38,95	274500	30,17	0,67
Düşük (16,00 – 37,34)	482,65	45,86	419300	46,09	0,87
Orta (37,34 – 77,36)	137,25	13,04	185300	20,37	1,35
Yüksek (77,36 – 160,05)	18,53	1,76	24300	2,67	1,31
Çok yüksek (160,05 – 680,25)	4,05	0,38	6400	0,70	1,58

İyidere Havzası'nda en fazla heyelan da düşük STC sınıfı sınırları içerisinde tespit edilmiştir (Şekil 3.62). Barındırdıkları heyelan alanları bakımından düşük STC sınıfını sırasıyla; çok düşük, orta, yüksek ve çok yüksek STC sınıfları takip etmektedir. STC sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi anlamak ve STC sınıflarını kıyaslamak amacıyla heyelan yoğunluğu değerlerine bakıldığında; çok yüksek STC sınıfı, en yüksek heyelan yoğunluğu değerine sahiptir. Çok düşük STC sınıfı da en düşük heyelan yoğunluğu değerine sahiptir. Orta STC sınıfının heyelan yoğunluğu değerinin, yüksek STC sınıfından fazla olmasına rağmen aradaki fark sınırlıdır. Genel eğilim, STC değerinin artması ile heyelan yoğunluğunun da arttığı yönündedir. Bu bulgular İyidere Havzası'nda STC değerinin yüksek olduğu alanlarda heyelan potansiyelinin STC'nin düşük olduğu alanlara nazaran daha yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 3 62. Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi ile heyelanların oransal dağılışı grafiği

3.2.17. Yağış

Heyelan kütlelerinin yamaç aşağı hareketini başlatan kuvvete tetikleyici denir. Bu tetikleyici kuvvet tek başına kütle hareketi olayına neden değildir; birçok sebebin en sonucusudur (Lutgens vd., 2017). Deprem, insan etkisi ve yağışlar heyelan tetikleyici kuvvetler arasında sayılmaktadır. Yağışlar sonucunda toprak içerisindeki nemin artmasıyla gerçekleşen aşırı doygunluk durumunda oluşan kaldırma kuvveti,

taneler arasındaki sürtünmeyi azaltır (Varnes, 1978). Toprağın doygun hale gelerek ağırlaşması da kütle hareketinin gerçekleşmesi üzerinde etkili olmaktadır. Uzun süreli ve şiddetli yağışlar, zeminin bağ kuvvetini daha da zayıflatarak diğer ortam şartlarının da uygun olduğu kesimlerde heyelanlara neden olmaktadır (Uzun & Uzun, 2003). Özellikle engebeli ve dik yamaçlardaki toprak zeminlerde ve ayrılmış kayalarda aşırı yağışlar sonrası sığ heyelanların yaygın şekilde geliştiği görülmektedir (Ulusay, 2007). Yağış unsuru Doğu Karadeniz Bölgesi'nde en önemli heyelan tetikleyici kuvvettir (Akçalı, 2011; Baltacı, 2010; Filiz vd., 2011; Reis vd., 2008; Reis vd., 2009; Üyetürk vd., 2018). Bu bağlamda İyidere Havzası'nın yağış özellikleri bu başlık altında değerlendirilmiştir. Ancak yağış bir parametre olarak heyelan duyarlılığı modellerine dahil edilmemiştir.

İyidere Havzası, Türkiye'nin yıllık ortalama en fazla yağış alan bölümünde bulunmaktadır. Türkiye'de yıllık ortalama yağış 621,3 mm iken; havza içerisinde uzun süreli ölçüm yapan Kalkandere ve İkizdere istasyonlarında yıllık ortalama yağış sırasıyla; 2076,1 mm ve 1054,3 mm'dir (Tablo 3.27). Bu durum heyelanlar açısından oldukça önem arz etmektedir. Yıllık ortalama yağışın yüksek oluşu yamaçların su içeriğini artırmakta, diğer çevresel bileşenlerinde uygun olması ile heyelanlara neden olmaktadır. Bu bağlamda yağışlar, İyidere Havzası içerisinde heyelana hazırlayıcı parametrelerden birisi olarak hareket etmektedir. Havza içerisinde yağışın farklılaşmasını anlamak amacıyla Kalkandere ve Derepazarı istasyonu havzanın aşağı çığırını, İkizdere ve Çağrankaya istasyonu ise havzanın yukarı çığırını temsil etmektedir. Bu istasyonlar içerisinde Derepazarı ve Çağrankaya'nın rasat toplama süreleri oldukça kısadır. Bu nedenle elde edilen veriler çok doğru görünmemektedir. Ancak yine de bu veriler genel itibariyle değerlendirilmiştir. İyidere Havzası'nın denize yakın olan aşağı çığırını, havzanın yukarisına nazaran daha fazla yıllık ortalama yağış almaktadır. Aşağı çığırda 2000 mm'nin üzerinde kayıt edilen yıllık ortalama yağış, yukarı mecralarda neredeyse yarı yarıya azalmaktadır. İkizdere istasyonunda yıllık ortalama yağış 1054,3 mm; Çağrankaya istasyonunda ise 1478,3 mm olarak ölçülmüştür. İkizdere istasyonu yaklaşık 600 m irtifada dar vadi içerisinde konumlanmıştır. Çağrankaya istasyonu ise yaklaşık 2200 m irtifada yüksek aşınım düzlüklerine karşılık gelen mera arazisinde yer almaktadır. Özel konumu itibariyle Çağrankaya istasyonunda İkizdere'den daha fazla yıllık ortalama yağış ölçülmüştür. Çağrankaya istasyonunun bulunduğu konumda daha fazla yağışın olacağı

beklenmektedir. Ancak rasat süresinin kısalığı ve otomatik meteoroloji istasyonu olmasından kaynaklı meydana gelebilecek sıkıntılardan dolayı veri hatalı olabilir.

Havzanın aşağı çığırında yıllık ortalama yağışın daha fazla oluşu diğer çevresel bileşenlerle birlikte yamaçların duyarlılığını artırmaktadır. Nitekim çalışma kapsamında hazırlanan İyidere Havzası heyelan envanterine (Şekil 3.1) bakıldığında da bu durum anlaşılmaktadır. Havzanın aşağı çığırında daha fazla heyelan tespit edilmiştir. Bu izahtan havzanın yüksek kesimlerindeki yağışların heyelan oluşturmak için yetersiz olduğu anlamı çıkartılmamalıdır. Havzanın yüksek kesimlerindeki yağışlar da Türkiye ortalamasının oldukça üstünde seyretmektedir. Ancak havza içerisinde görel olarak yukarı mecralarda, aşağı mecralara nazaran daha düşük yağışlar ölçülmüştür. Havzanın yüksek kesimlerindeki heyelan azlığı (Şekil 3.1) yağışın görel azlığından çok diğer çevresel bileşenlerin yamaç duyarlılıkları artırmamasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.27. Çalışma sahası içerisindeki istasyonlarda kayıt edilen yağış verileri (mm)

	Aylar												Yıllık
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Türkiye	80,0	67,5	63,4	57,6	49,0	32,3	16,8	16,5	25,5	56,4	69,3	87,0	621,3
Kalkandere	174,5	148,4	133,6	109,1	110,3	160,2	160,2	185,2	204,0	270,7	214,7	205,0	2076,1
İkizdere	93,7	73,2	64,9	75,6	83,6	92,9	63,9	57,9	75,3	120,7	129,9	122,6	1054,3
Derepaşarı	252,8	141,0	151,4	116,8	132,9	230,6	184,1	235,8	276,9	400,1	239,8	255,5	2617,6
Çağrankaya	93,1	62,3	66,4	33,6	94,6	127,6	103,8	94,2	204,1	178,5	74,5	345,6	1478,3

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü

Günlük yüksek yağış miktarları ve özellikle de art arda yağışlı günlerin gerçekleşmesi duyarlı yamaçlardaki kütle hareketlerini tetiklemektedir (Turan vd., 2020). Kısa süreli ve şiddetli seyir sonucunda yağışlar, heyelan hazırlayıcı bir çevresel bileşenden heyelan tetikleyici bir çevresel bileşene dönüşmektedir. Bu bağlamda İyidere Havzası yağış özelliklerini değerlendirmek amacıyla 0,1 mm, 10 mm, 50 mm'nin üzerinde yağış gerçekleşen gün sayıları değerlendirilmiştir. Gün içerisinde 0,1 mm'nin üzerinde yağış ölçülen en fazla gün sayısına sahip istasyon Çağrankaya'dır (203,25). Bu istasyonu sırasıyla Derepaşarı (191,4), Kalkandere (148,6) ve İkizdere (142,3) istasyonları takip etmektedir. Bütün istasyonlar birlikte değerlendirildiğinde İyidere Havzası'nda yılın yaklaşık %40-50'sinin yağışlı geçtiği anlaşılmaktadır. 10 mm'nin üzerinde yağış ölçülen en fazla gün sayısına sahip istasyon ise Derepaşarı'dır (77,20)'dir. Bu istasyonu sırasıyla Kalkandere (66,8), Çağrankaya (40,25) ve İkizdere (35) istasyonları takip etmektedir. 50 mm'nin

üzerinde yağışlı gün sayılarında da sıralama aynıdır. Yağışlar, heyelan tetikleyici kuvvet olarak düşünüldüğünde günlük 50 mm'nin üzerinde yağış düşen gün sayısı en önemli gösterge durumundadır. Bu bağlamda havzanın aşağı mecrasında 50 mm'nin üzerinde yağışlı gün sayısının daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum havzanın aşağı mecrasında daha fazla heyelanlı alanın tespit edilmiş olmasını destekler niteliktedir. 10 mm'nin üzerindeki yağışlı gün sayılarında da yine aynı durum görülmektedir.

Tablo 3.28. Günlük 0,1 mm'nin üzerinde yağış alan günlerin aylık ortalaması

Kalkandere	Aylar												Yıllık
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Derepazarı	15,0	16,2	17,0	13,2	17,0	18,2	15,4	19,0	15,4	16,8	11,6	16,6	191,4
Kalkandere	12,6	12,6	12,6	11,4	13,1	12,4	12,8	12,3	12,7	12,3	11,8	11,9	148,6
İkizdere	11,4	11,1	11,0	11,7	14,3	13,6	12,3	11,8	10,7	11,7	10,6	11,9	142,3
Çağrankaya	19,25	15,00	16,75	11,50	20,50	19,50	21,50	18,00	16,75	13,75	11,00	19,75	203,25

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü

Tablo 3.29. Günlük 10 mm'nin üzerinde yağış alan günlerin aylık ortalaması

Kalkandere	Aylar												Yıllık
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Derepazarı	9,20	5,80	4,80	4,40	4,40	6,00	6,00	6,40	7,80	8,60	6,40	7,40	77,20
Kalkandere	6,2	5,7	5,3	4,0	3,6	4,9	4,6	5,0	6,6	7,2	6,6	7,1	66,8
İkizdere	3,5	2,7	2,5	2,5	2,8	2,9	1,5	1,5	2,1	4,1	4,5	4,5	35,0
Çağrankaya	2,00	2,00	2,25	1,00	2,75	4,50	2,75	3,00	6,25	5,00	3,50	5,25	40,25

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü

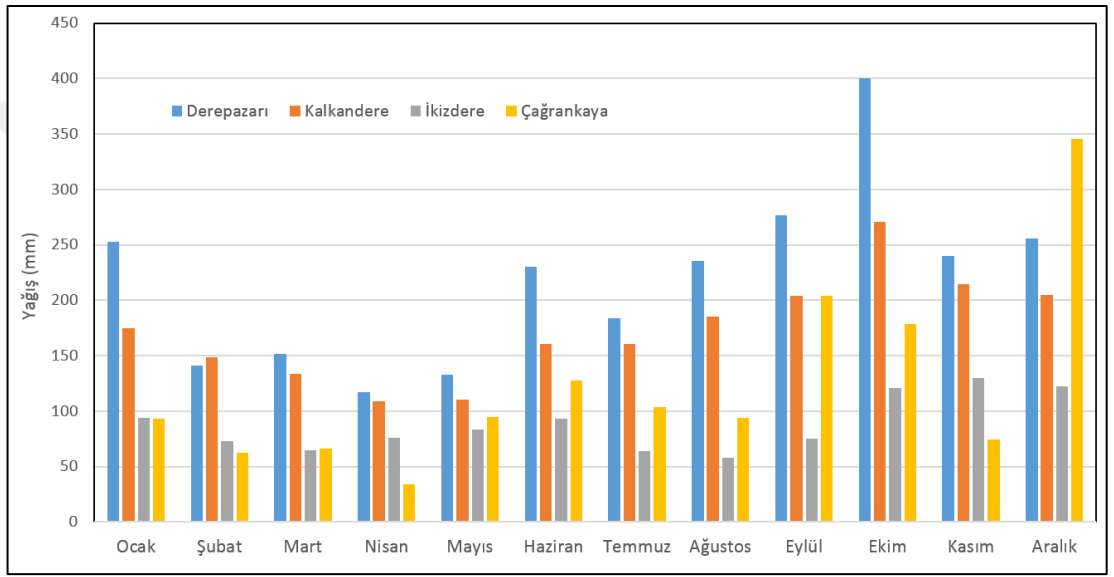
Tablo 3.30. Günlük 50 mm'nin üzerinde yağış alan günlerin aylık ortalaması

Kalkandere	Aylar												Yıllık
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Derepazarı	0,40	0,00	0,00	0,20	0,00	0,80	0,60	1,00	1,20	2,60	1,20	1,00	9,00
Kalkandere	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,9	0,5	1,7	0,7	0,5	6,0
İkizdere	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,8
Çağrankaya	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,75	0,75	0,00	2,00	4,00

Kaynak: Meteoroloji Genel Müdürlüğü

Havza içerisinde yağış hem heyelanı tetikleyen hem de heyelanı hazırlayan bir çevresel bileşen olduğundan dolayı yıl içerisindeki yağış değişimi önem arz edebilir. Çalışma sahasının içerisinde Doğu Karadeniz Bölümü, yılın tamamında yağış almaktadır. Orta enlem siklonlarının neden olduğu cephesel yağışların yanı sıra; Karadeniz'in kuzeyinden geçen ya da orada uzun süre etkili olan gezici yüksek basınçlardan kaynaklanan kuzeyli hava akımlarının oluşturduğu orografik ve yerel konvektif olaylar Doğu Karadeniz Bölümü'ndeki yağışların nedenleridir (Türkeş,

2010). İyidere Havzası yılın tamamında yağışlı olmasına karşın yazın ve özellikle sonbaharda nispeten daha fazla yağış almaktadır. Çalışma sahasındaki istasyonların yağış grafiğine bakıldığında bu durum görülmektedir (Şekil 3.63). Bu bağlamda heyelan afeti açısından yılın bu dönemleri daha yüksek riske sahip görülebilir. Baltacı (2010) da benzer şekilde; Rize ilinde heyelanların özellikle haziran sonu ile kasım ayları arası meydana geldiğini belirtmiştir. Ancak burada kesin bir yargıya varılamaz. Çünkü yağışların heyelanı tetikleme, yağışın miktarı ve süresi ile ilişkilidir. Kısa sürede yüksek miktarda yağış farklı dönemlerde gerçekleşirse heyelan oluşabilir.



Şekil 3.63. Derepaşarı, Kalkandere, İkizdere ve Çağrankaya istasyonlarının yağış grafiği

4. HEYELAN DUYARLILIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ

İyidere Havzası'nda heyelan duyarlılığının değerlendirildiği bu çalışma kapsamında üretilen heyelan envanteri verisi ve 16 çevresel bileşen ile değerlendirmeler yapılmıştır. Nihai çıktılar olan duyarlılık haritalarının üretiminde iki değişkenli (FR, SI, WOE) ve çok değişkenli (LR, ANN) yöntemler kullanılmıştır. 5 farklı yöntem ile üretilen duyarlılık haritalarının doğrulukları da ROC eğrisi ile değerlendirilmiştir. İki değişkenli yöntemlerde, üretilen 588 heyelan envanterinin %80'i eğitim veri seti (470 heyelan), %20'si ise test veri seti (118 heyelan) olarak rastgele yöntemle ayrılmıştır. Çok değişkenli yöntemlerde ise eğitim ve test veri seti miktarları farklıdır ve ilgili başlıklar altında verilmiştir. Modeller çalıştırılırken eğitim veri setleri, üretilen duyarlılık haritalarının doğruluğu değerlendirilirken de test veri setleri kullanılmıştır. Her bir yöntem ile elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler aşağıdaki başlıklarda verilmiştir.

4.1. Frekans Oranı Yöntemi

İyidere Havzası'nda çevresel parametreler ile heyelanların oluşumu arasındaki ilişkiyi anlamak amacıyla FR modeli kullanılmıştır. Heyelanlar ile parametre sınıfları arasındaki mekânsal ilişkiden hareketle üretilen FR değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir. FR değeri 1'den büyük oluşu ilgili sınıf ile heyelanlar arasında yüksek korelasyon olduğunu, 1'den küçük oluşu ise düşük korelasyonun varlığını ifade etmektedir. Elde edilen FR değerleri ile daha önce hesaplanan heyelan yoğunluğu değerleri birbirlerine paralel sonuçlar vermektedir. Ancak FR modelleme aşamasında yalnızca heyelan envanterinin eğitim veri seti kullanıldığından dolayı rakamsal farklılık görülebilmektedir.

Tablo 4.1. Parametre sınıfları ile bu sınıflardaki heyelanlara ait veriler ve frekans oranı değerleri

Parametre	Sınıf	Sınıf Alanı (km ²)	Sınıf Alanı Oranı (A)	Heyelanlı Alan (m ²)	Heyelanlı Alan Oranı (B)	FR (B/A)
Yükselti	0 - 250	76.15	7.24	162200	22.15	3.06
	250 - 500	68.65	6.52	142100	19.41	2.98
	500 - 750	48.73	4.63	36900	5.04	1.09
	750 - 1000	49.66	4.72	52500	7.17	1.52
	1000 - 1250	53.70	5.10	78900	10.78	2.11
	1250 - 1500	61.26	5.82	105300	14.38	2.47
	1500 - 1750	73.15	6.95	100900	13.78	1.98
	1750 - 2000	82.85	7.87	20000	2.73	0.35

Tablo 4.1. (devam)

Parametre	Sınıf	Sınıf Alanı (km ²)	Sınıf Alanı Oranı (A)	Heyelanlı Alan (m ²)	Heyelanlı Alan Oranı (B)	FR (B/A)
	2000 - 2250	97.03	9.22	33000	4.51	0.49
	2250 - 2500	122.77	11.67	400	0.05	0.00
	2500 - 2750	141.20	13.42	0	0.00	0.00
	2750 - 3000	126.27	12.00	0	0.00	0.00
	> 3000	51.02	4.85	0	0.00	0.00
Litoloji	Alüvyon	14.07	1.34	15600	2.13	1.59
	Kabaköy For.	72.90	6.93	3500	0.48	0.07
	Kaçkar Granitiy.	709.03	67.37	396300	54.12	0.80
	Bakırköy For.	28.22	2.68	26200	3.58	1.33
	Çağlayan For.	87.02	8.27	200700	27.41	3.31
	Kızılkaya For.	11.25	1.07	19000	2.59	2.43
	Çatak For.	123.16	11.70	70900	9.68	0.83
	Berdiga For.	0.12	0.01	0	0.00	0.00
	Hamurkesen For.	6.63	0.63	0	0.00	0.00
Toprak Tekstürü	Kil	0.06	0.01	0	0.00	0.00
	Kumlu Killi Tın	107.46	10.21	189700	25.91	2.54
	Killi Tın	7.27	0.69	1200	0.16	0.24
	Tın	1.86	0.18	9700	1.32	7.50
	Tınlı Kum	0.87	0.08	1800	0.25	2.97
	Kumlu Tın	934.88	88.83	529800	72.36	0.81
Bakı	Kuzey	152.54	14.66	56700	7.80	0.53
	Kuzeydoğu	133.74	12.85	97800	13.45	1.05
	Doğu	120.96	11.62	109500	15.06	1.30
	Güneydoğu	99.63	9.57	98600	13.56	1.42
	Güney	116.86	11.23	105000	14.44	1.29
	Güneybatı	135.02	12.97	92900	12.78	0.98
	Batı	140.2	13.47	86600	11.91	0.88
	Kuzeybatı	141.75	13.62	80100	11.01	0.81
Eğim	0 – 5	29.38	2.79	13000	1.78	0.64
	5 – 10	42.51	4.04	15200	2.08	0.51
	10 – 15	81.26	7.72	39200	5.35	0.69
	15 – 20	118.11	11.22	63500	8.67	0.77
	20 – 25	159.66	15.17	99600	13.60	0.90
	25 – 30	193.6	18.40	129600	17.70	0.96
	30 – 35	193.91	18.43	124400	16.99	0.92
	35 – 40	141.55	13.45	127000	17.34	1.29
	> 40	92.39	8.78	120700	16.48	1.88
Plan eğriliği	İç bükey	462.74	43.97	402900	55.03	1.25
	Düz	48.20	4.58	37500	5.12	1.12
	Dış bükey	541.43	51.45	291800	39.85	0.77
Profil eğriliği	İç bükey	273.71	26.01	259200	35.40	1.36
	Düz	505.32	48.02	278200	38.00	0.79
	Dış bükey	273.33	25.97	194800	26.60	1.02
Drenaj Yoğunluğu	Düşük	662.09	62.91	224900	30.74	0.49
	Orta	229.31	21.79	189500	25.90	1.19
	Yüksek	115.77	11.00	138800	18.97	1.72
	Çok yüksek	45.30	4.30	178400	24.38	5.67
Akarsulara mesafe	0 – 50	183.90	17.47	234500	32.03	1.83
	50 – 100	168.43	16.00	196600	26.85	1.68
	100 – 150	148.03	14.07	134900	18.42	1.31
	150 – 200	124.47	11.83	74900	10.23	0.86
	200 – 250	101.36	9.63	43500	5.94	0.62
	> 250	326.21	31.00	47800	6.53	0.21

Tablo 4.1. (devam)

Parametre	Sınıf	Sınıf Alanı (km ²)	Sınıf Alanı Oranı (A)	Heyelanlı Alan (m ²)	Heyelanlı Alan Oranı (B)	FR (B/A)
Yollara mesafe	0 – 25	96.28	9.15	129700	17.71	1.94
	25 – 50	77.42	7.36	110200	15.05	2.05
	50 – 75	60.37	5.74	80700	11.02	1.92
	75 – 100	47.51	4.51	58800	8.03	1.78
	> 100	770.82	73.24	352800	48.18	0.66
Arazi Örtüsü	Tarım alanları	158.62	15.13	315700	43.13	2.85
	Yerleşme alan.	15.58	1.49	11900	1.63	1.09
	Geniş yap. orm.	135.76	12.95	153000	20.90	1.61
	Karışık orman.	111.64	10.65	78400	10.71	1.01
	İğne yap. orm.	121.98	11.64	127500	17.42	1.50
	Çıplak kayalar	0.93	0.09	0	0.00	0.00
	Çayırlar	503.60	48.05	45500	6.22	0.13
Topografik Nemlilik İndeksi (TWI)	Çok düşük	260.13	24.72	159800	21.82	0.88
	Düşük	446.52	42.43	333200	45.51	1.07
	Orta	274.45	26.08	189200	25.84	0.99
	Yüksek	54.70	5.20	41400	5.65	1.09
	Çok yüksek	16.57	1.57	8600	1.17	0.75
Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi (SPI)	Çok düşük	17.69	1.68	6800	0.93	0.55
	Düşük	231.90	22.04	110100	15.04	0.68
	Orta	450.93	42.85	301500	41.18	0.96
	Yüksek	316.41	30.07	282400	38.57	1.28
	Çok yüksek	35.43	3.37	31400	4.29	1.27
Topografik Pozisyon İndeksi (TPI)	Çok düşük	87.22	8.29	160700	21.95	2.65
	Düşük	253.40	24.08	259700	35.47	1.47
	Orta	355.95	33.82	200200	27.34	0.81
	Yüksek	256.56	24.38	89800	12.26	0.50
	Çok yüksek	99.24	9.43	21800	2.98	0.32
Arazi Pürüzlülük İndeksi (TRI)	Çok düşük	167.01	15.87	70000	9.56	0.60
	Düşük	320.00	30.41	190500	26.02	0.86
	Orta	326.00	30.98	215200	29.39	0.95
	Yüksek	197.30	18.75	200300	27.36	1.46
	Çok yüksek	42.06	4.00	56200	7.68	1.92
Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi (STC)	Çok düşük	409.88	38.95	212600	29.04	0.75
	Düşük	482.65	45.86	338100	46.18	1.01
	Orta	137.25	13.04	155200	21.20	1.63
	Yüksek	18.53	1.76	21000	2.87	1.63
	Çok yüksek	4.05	0.38	5300	0.72	1.88

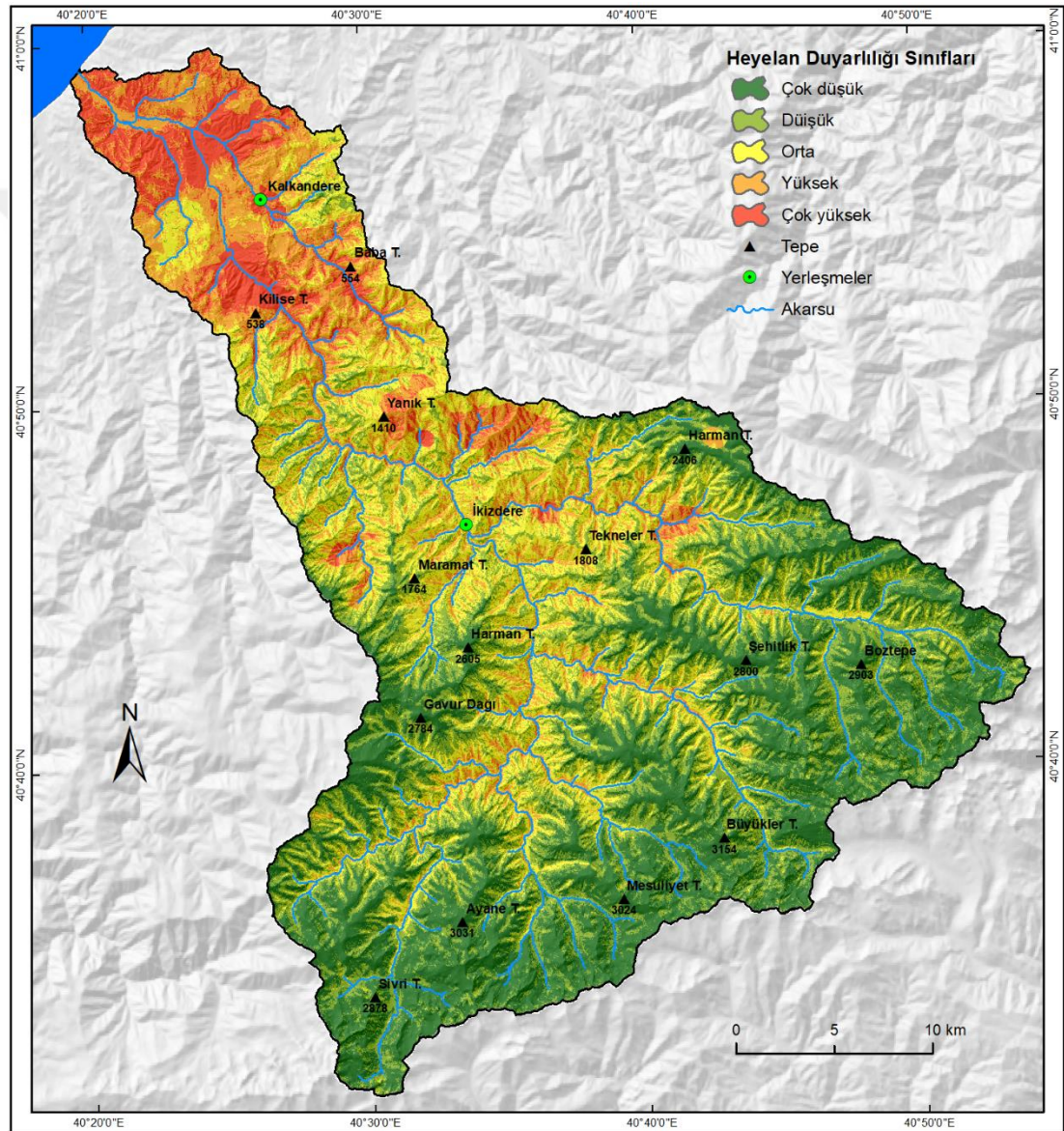
Yükselti sınıfları içerisinde en yüksek FR değerine sahip ilk iki sınıf 0-250 m ile 250-500 m yükselti aralığıdır. En yüksek üçüncü ve dördüncü yükselti aralığı ise sırasıyla 1250 – 1500 m ve 1000 – 1250 m sınıflarıdır. 1750 m yükseltiden sonra FR değeri 1'in altındadır. Litoloji sınıflarının FR değerleri arasında en yüksek değere sahip birimler Çağlayan, Kızılkaya ve Bakırköy formasyonlarıdır. Diğer formasyonların FR değerleri düşük heyelan olasılığına işaret etmektedir. Toprak tekstürü sınıflarından tınlı topraklar oldukça yüksek FR değerine sahiptir. Bu tekstür sınıfını sırasıyla tınlı kum ve kumlu killi tın sınıfları takip etmektedir. Diğer tekstür

sınıfları ile heyelanlar arasında ise FR modeli kapsamında düşük ilişki tespit edilmiştir. Bakı ile heyelanlar arasında ilişki saptanan yönler sırasıyla; güneydoğu, doğu, güney ve kuzeydoğudur. Eğimin en yüksek değerlere sahip olduğu sınıflarda ($35^{\circ} - 40^{\circ}$ ile $>40^{\circ}$) en yüksek FR değerleri tespit edilmiştir. Plan eğriliği ile heyelanlar arasında ilişki iç bükey ve düz yamaçlarda yüksek, dış bükey yamaçlarda ise düşük saptanmıştır. Profil yamaç eğriliğinde ise iç bükey yamaçlarda yüksek olmakla birlikte dış bükey yamaçlarda da heyelanlar ile ilişki saptanmıştır. Drenaj yoğunluğunun çok yüksek olduğu sınıflarda FR değeri oldukça yüksek olmakta birlikte yüksek ve orta drenaj yoğunluğu sınıfları ile heyelanlar arasında da korelasyon saptanmıştır. Akarsulara en yakın alanlar (0 – 50 m) en yüksek FR değerine sahiptir ve akarsulardan uzaklaştıkça değer düşmektedir. Akarsulara 150 m'den daha uzak sahalardaki FR değeri 1'den düşüktür. Yollara 100 m'den daha yakın bütün sınıflarda FR değeri 1'den yüksek yani heyelanlar ile yola 100 m'den yakın alanlarda ilişki bulunmaktadır. Tarım alanları arazi örtüsü parametresi içerisinde en yüksek FR değerine sahip sınıftır. TWI sınıflarının FR değerleri arasında büyük farklar olmamakla birlikte yüksek TWI sınıfı, en yüksek FR değerine sahip sınıftır. Yüksek ve çok yüksek SPI sınıflarının FR değerleri, heyelanlar ile bu sınıflar arasında korelasyon olduğunu ortaya koymaktadır. Çok düşük ve düşük TPI sınıflarının FR değerleri yüksektir. Çok yüksek ve yüksek TRI sınıflarının FR değerleri yüksektir. STC sınıflarının ise orta, yüksek ve çok yüksek sınıflarının FR değerleri yüksektir. FR değerleri yüksek olan bu sınıflar ile heyelanlar arasında ilişki olduğu anlaşılmaktadır.

İyidere Havzası heyelan envanteri ve çevresel parametreleri arasındaki mekânsal ilişkilerden hareketle hesaplanan FR değerleri kullanılarak heyelan duyarlılığı haritası üretilmiştir (Şekil 4.1). Yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip sınıflar genel itibariyle havzanın aşağı çığırında belirlenmiştir. Kıyıda havza içerisine doğru, Baba Tepe ve Kilise Tepe hattına kadar yüksek seviyelerde olan duyarlılık yalnızca Kalkandere'nin doğusu ile Birlik ve Gümüşören yerleşmeleri civarlarında orta ve düşük olarak tespit edilmiştir. Baba Tepe ve Kilise Tepe hattının güneyinde, havza içerisine doğru, lokal alanlarda duyarlılığın yüksek olduğu alanlar da görülmektedir. Bu lokal alanların dışında havzanın orta çığırında, vadi içlerinde ve yamaçlarda orta seviye duyarlılık alanları yayılış göstermektedir. İyidere Havzası içerisindeki eski aşınım düzlüklerine karşılık gelen yüksek sahalarda

ve sırtlarda heyelan duyarlılığı düşük veya çok düşük olarak tespit edilmiştir.

İyidere Havzası'nda frekans oranı yöntemi ile tespit edilen heyelan duyarlılığı sınıflarının alansal değerlerine bakıldığında; havzanın %7,12'sinin çok yüksek, %15,28'inin ise yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer almaktadır (Tablo 4.2). Havzanın yaklaşık olarak beşte birinde heyelan duyarlılığı yüksek sınıflardadır. Çok düşük heyelan duyarlılığı sınıfı %28,56; düşük heyelan duyarlılığı sınıfı 27,34; orta heyelan duyarlılığı sınıfı ise havzanın %21,70'ini kapsamaktadır.



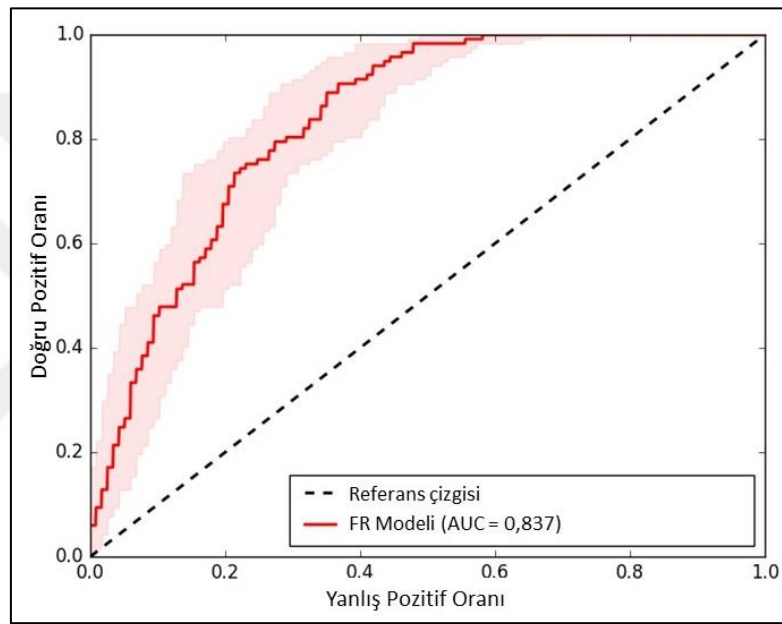
Şekil 4.1. Frekans Oranı yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılığı haritası

FR modeli ile üretilen heyelan duyarlılığı haritasının doğruluğu ROC eğrisi ve AUC değerleri üretilerek incelenmiştir. Bu aşamada envanterin %20'si olan test veri seti kullanılmıştır. AUC değeri 0,837 olarak bulunmuştur (Şekil 4.2). Bu değer

sınıflandırmanın iyi olduğu anlamına gelmektedir (Tablo 2.6).

Tablo 4.2. Frekans Oranı yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılığı haritasının alansal bilgileri

Heyelan Duyarlılığı Sınıfları	Alan	
	km ²	%
Çok düşük	299,18	28,56
Düşük	286,47	27,34
Orta	227,35	21,70
Yüksek	160,14	15,28
Çok yüksek	74,58	7,12



Şekil 4.2. Frekans Oranı yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılık haritasına ait ROC eğrisi

4.2. İstatistiksel İndeks Yöntemi

İyidere Havzası'nda heyelanlar üzerinde etkili olabileceği düşünülen çevresel bileşenler ile heyelanlar arasındaki ilişki, istatistiksel indeks yöntemi ile değerlendirilmiştir. İstatistiksel indeks yöntemi kullanılarak elde edilen, her bir parametre sınıfına ait önemi ortaya koyan W_i değerleri Tablo 4.3'de verilmiştir. Herhangi bir heyelan kaydı bulunmayan parametre sınıflarında, W_i değeri elde edilemeyeceğinden dolayı Zhang vd. (2016)'da belirtildiği gibi bu sınıfların W_i değeri -1 olarak ayarlanmıştır. Elde edilen W_i değerlerinin pozitif oluşu, ilgili parametre sınıfının heyelan duyarlılığı üzerinde nispeten daha etkin olduğunu ifade ederken; negatif oluşu daha az etkili olduğunu ifade etmektedir (Van Westen vd., 1997).

Tablo 4.3. İstatistiksel İndeks yöntemi ile elde edilen parametrelere ait Wi değerleri

Parametre	Sınıf	Wi	Parametre	Sınıf	Wi
Yükselti	0 - 250	0,392	Akarsulara mesafe	0 - 50	0,169
	250 - 500	0,379		50 - 100	0,130
	500 - 750	-0,058		100 - 150	0,023
	750 - 1000	0,087		150 - 200	-0,157
	1000 - 1250	0,230		200 - 250	-0,304
	1250 - 1500	0,299		> 250	-0,771
	1500 - 1750	0,203		Yollara mesafe	0 - 25
	1750 - 2000	-0,554	25 - 50		0,217
	2000 - 2250	-0,405	50 - 75		0,189
	2250 - 2500	-2,424	75 - 100		0,156
	2500 - 2750	-1,000	> 100		-0,276
	2750 - 3000	-1,000	Arazi Örtüsü	Tarım alanları	0,362
	> 3000	-1,000		Yerleşme alan.	-0,054
Litoloji	Alüvyon	0,108		Geniş yap. orm.	0,116
	Kabaköy For.	-1,255		Karışık orman.	-0,090
	Kaçkar Granitiyo.	-0,189		İğne yap. orm.	0,082
	Bakırköy For.	0,031		Çıplak kayalar	0,000
	Çağlayan For.	0,426		Çayırlar	-0,981
	Kızılkaya For.	0,291	Topografik Nemlilik İndeksi (TWI)	Çok düşük	-0,148
	Çatak For.	-0,177		Düşük	-0,064
	Berdiga For.	-1,000		Orta	-0,098
	Hamurkesen For.	-1,000		Yüksek	-0,058
				Çok yüksek	-0,222
Toprak Tekstürü	Kil	-1,000	Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi (SPI)	Çok düşük	-0,352
	Kumlu Killi Tın	0,310		Düşük	-0,260
	Killi Tın	-0,719		Orta	-0,112
	Tın	0,781		Yüksek	0,014
	Tınlı Kum	0,379		Çok yüksek	0,011
	Kumlu Tın	-0,183	Topografik Pozisyon İndeksi (TPI)	Çok düşük	0,329
Bakı	Kuzey	-0,366		Düşük	0,074
	Kuzeydoğu	-0,073		Orta	-0,187
	Doğu	0,020		Yüksek	-0,393
	Güneydoğu	0,059		Çok yüksek	-0,595
	Güney	0,017	Arazi Pürüzlülük İndeksi (TRI)	Çok düşük	-0,314
	Güneybatı	-0,099		Düşük	-0,162
	Batı	-0,146		Orta	-0,117
	Kuzeybatı	-0,185		Yüksek	0,070
		Çok yüksek		0,189	
Eğim	0 - 5	-0,291	Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi (STC)	Çok düşük	-0,222
	5 - 10	-0,383		Düşük	-0,091
	10 - 15	-0,253		Orta	0,117
	15 - 20	-0,206		Yüksek	0,118
	20 - 25	-0,142		Çok yüksek	0,180
	25 - 30	-0,111	Plan eğriliği	İç bükey	0,029
	30 - 35	-0,130		Düz	-0,218
	35 - 40	0,016		Dış bükey	-0,225
	> 40	0,179	Profil eğriliği	İç bükey	0,040
	Drenaj Yoğunluğu	Düşük		-0,406	Düz
Orta		-0,020		Dış bükey	-0,084
Yüksek		0,142			
Çok yüksek		0,659			

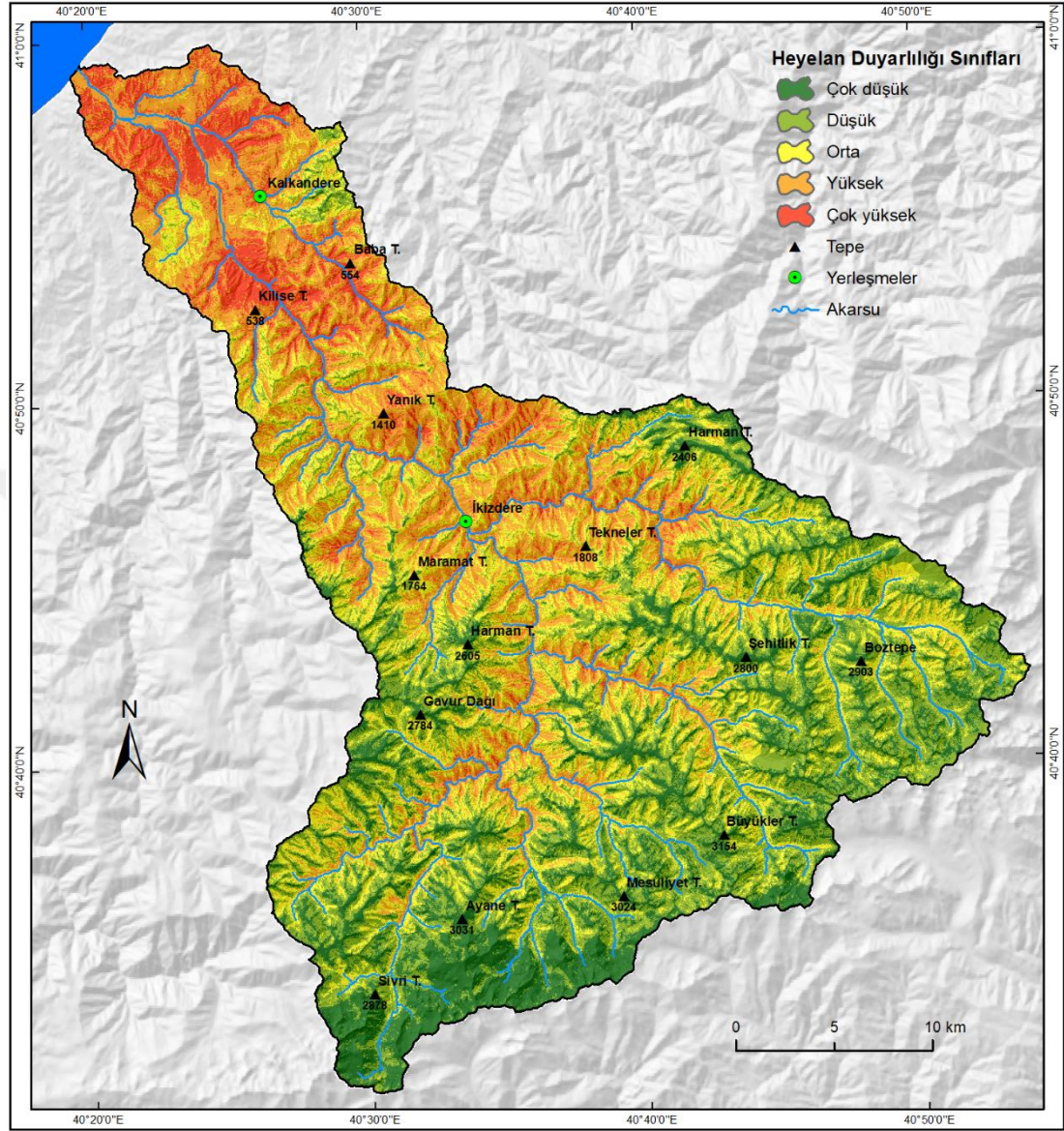
İyidere Havzası'nda 2500 m yükseltinin üzerinde heyelan envanter kaydı bulunmadığından bu alanlar duyarlılık üzerinde en az etkin yükselti sınıfları olarak değerlendirilmiş ve -1 Wi değeri almıştır (Tablo 4.3). 1750-2500 m arasındaki yükselti sınıfları da negatif Wi değerlerine sahiptir. 500-750 m sınıfı haricinde deniz seviyesinden 1750 m yükseltiye kadar olan sahalarda pozitif Wi değeri tespit edilmiştir. En yüksek Wi değerleri 0-500 m yükselti aralıklarında tespit edilmiştir. Litolojik formasyonlar içerisinde Kabaköy formasyonu, Kaçkar granitiyoidi ve Çatak Formasyonu'nda negatif Wi değerleri saptanmıştır. Berdiga ve Hamurkesen formasyonlarında ise herhangi bir envanter kaydı olmayışı nedeniyle -1 Wi değeri atanmıştır. Formasyonlar içerisinde heyelanlar ile en yüksek ilişki Çağlayan formasyonunda (volkano-tortul) tespit edilmiştir. İyidere Havzası'nda yayılış gösterdiği belirlenen 6 tekstür sınıftan kil, killi tın ve kumlu tın sınıfı negatif değerlere sahiptir. En yüksek Wi değerine sahip tekstür sınıfları ise sırasıyla; tın, tınlı kum ve kumlu killi tın sınıflarıdır. Doğu, güneydoğu ve güney bakı yönlerinde pozitif Wi değerleri, diğer bakı yönlerinde ise negatif Wi değerleri tespit edilmiştir. Eğim değerleri 35°'nin üzerinde olan yamaçlarda pozitif Wi değerleri, 35°'nin altında olan yamaçlarda ise negatif Wi değerleri tespit edilmiştir. Drenaj yoğunluğunun yüksek ve çok yüksek sınıflarında yüksek Wi değerleri elde edilmesine karşın, düşük ve orta drenaj yoğunluğu sahalarında negatif Wi değerleri görülmektedir. Drenaj yoğunluğunda elde edilen bulguları güçlendirecek şekilde akarsulara 150 m'den daha yakın alanlarda pozitif Wi değerleri tespit edilmiştir. Akarsulara 150 m'den daha fazla mesafede olan alanlarda ise negatif Wi değeri saptanmıştır. Yollar ile heyelanlar arasındaki istatistiksel indeks ilişkisinde 100 m'den yakın alanlarda pozitif Wi, 100 m'den daha uzak alanlarda ise negatif Wi değerleri görülmektedir. Arazi örtüsü sınıfları içerisinde en etkin ve en yüksek Wi değerine sahip sınıf tarım alanları olarak tespit edilmiştir. Bütün TWI sınıflarında negatif Wi değerleri elde edilmiştir. SPI ve TRI'nin yüksek ve çok yüksek olduğu alanlarda pozitif; orta, düşük ve çok düşük olduğu alanlarda ise negatif Wi değerleri elde edilmiştir. TPI indeksinin çok düşük ve düşük sınıflarında pozitif Wi; orta, yüksek ve çok yüksek sınıflarında negatif Wi değerleri tespit edilmiştir. STC indeksinin çok yüksek, yüksek ve orta sınıflarında pozitif; düşük ve çok düşük sınıflarında negatif Wi değerleri saptanmıştır. Hem plan hem de profil yamaç eğriliği açısından iç bükey olan yamaçlarda pozitif; dış bükey ve düz yamaçlarda ise negatif Wi değerleri görülmüştür.

İstatistiksel İndeks yönteminde her bir sınıfa ait W_i değeri elde edilirken sınıftaki heyelan yoğunluğu değeri, bütün havzadaki heyelan yoğunluğu değeri ile normalize edilmektedir. Bu durum sınıfların yalnızca kendi içlerinde değil, diğer sınıflar ile de kıyaslanmasını mümkün kılmaktadır. Bu bağlamda değerlendirildiğinde İyidere Havzası'nda en yüksek W_i değerine sahip ilk beş parametre sınıfları şunlardır: Tınlı toprak tekstürü sınıfı, çok yüksek drenaj yoğunluğu sınıfı, Çağlayan formasyonu litoloji sınıfı, 0-250 m ile 250-500 m yükselti sınıfları ve tarımsal arazi örtüsü sınıfıdır. Bu sınıflar ve elde edilen değerler, istatistiksel indeks modeli kapsamında İyidere Havzası'nda heyelanları en çok kontrol eden çevresel parametrelerin hangisi olduğunu da ortaya koymaktadır. İyidere Havzası içerisinde heyelanlar üzerinde görece en az etkin olan, istatistiksel indeks yöntemi ile elde edilen model kapsamında belirlenen en düşük W_i değerine sahip beş parametre sınıfı ise şunlardır: Kabaköy formasyonu litoloji sınıfı, 2250 m üstü yükselti sınıfı, çayır arazi örtüsü, herhangi bir akarsuya 250 m'den daha uzak alanlar ve killi tın toprak tekstürü sınıfıdır. Sınırları içerisinde hiçbir heyelan envanter kaydı bulunmayan ve bu nedenle -1 W_i değeri atan parametre sınıfları bu sıralamanın dışındadır.

İyidere Havzası'nda istatistiksel indeks yöntemi ile elde edilen değerler kullanılarak heyelan duyarlılığı haritası üretilmiştir (Şekil 4.3). Çok yüksek ve yüksek heyelan duyarlılığına sahip alanlara genel itibariyle havzanın aşağı çığırında ve İyidere ile kolları tarafından yarılan vadiler boyunca rastlanmaktadır. Havzanın aşağı çığırında Kalkandere'nin doğusunda düşük ve çok düşük heyelan duyarlılığı alanları görülmektedir. Birlik ve Gümüşören yerleşmeleri çevresinde de orta ve düşük seviye heyelan duyarlılık alanları bulunmaktadır. Baba Tepe ve Kilise Tepe hattından daha güneye, havza içerisine doğru duyarlılık akarsuların oluşturduğu derin vadi yamaçlarında yer yer yüksek ve çok yüksek seviyede seyretmektedir. Havzanın orta çığırında bulunan sırtlar nispeten daha düşük duyarlılık sınıflarına sahiptir. Havzanın yukarı çığırında, eski aşınım düzlüklerinde duyarlılık düşüktür.

İstatistiksel indeks yöntemi ile belirlenen İyidere Havzası heyelan duyarlılık sınıflarından çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfı havzanın %7,47'sini, yüksek heyelan duyarlılığı sınıfı ise %25,66'sını kapsamaktadır (Tablo 4.4). Bu iki sınıfın toplamı göz önünde bulundurulduğunda, havzanın yaklaşık üçte birinde heyelan duyarlılığının yüksek olduğu görülmektedir. Çok düşük heyelan duyarlılığı sınıfı

%15,23; düşük heyelan duyarlılığı sınıfı %27,10; orta heyelan duyarlılığı sınıfı ise havzanın %24,55'ini kapsamaktadır.

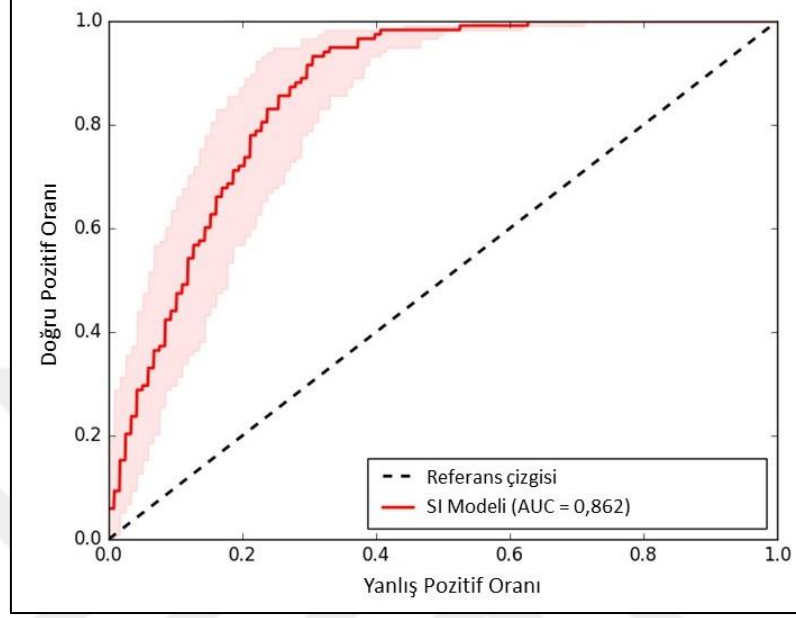


Şekil 4.3. İstatistiksel İndeks yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritası

Tablo 4.4. İstatistiksel İndeks yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılığı haritasının alansal bilgileri

Heyelan Duyarlılığı Sınıfları	Alan	
	km ²	%
Çok düşük	160,25	15,23
Düşük	285,16	27,10
Orta	258,31	24,55
Yüksek	270,03	25,66
Çok yüksek	78,63	7,47

İstatistiksel indeks yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılığı haritasının doğruluğu, test envanter veri seti kullanılarak üretilen ROC eğrisi ve AUC değerleri üzerinden değerlendirilmiştir. AUC değeri 0,862 olarak bulunmuştur (Şekil 4.4). Bu değer sınıflandırmanın iyi olduğu anlamına gelmektedir (Tablo 2.6).



Şekil 4.4. İstatistiksel İndeks yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılık haritasına ait ROC eğrisi

4.3. Kanıt Ağırlığı Yöntemi

İyidere Havzası'nda çevresel parametreler ile heyelanlar arasındaki ilişki kanıt ağırlığı yöntemi ile değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda parametre sınıflarına ait C değeri elde edilmiştir (Tablo 4.5). Bu değer, ilgili sınıf ile heyelan olayı arasındaki konumsal ilişkiyi ifade etmektedir. Değerin sıfıra eşit olması, sınıfın heyelan açısından önemsiz olduğunu; pozitif veya negatif oluşu ise ilişkinin yönünü ortaya koymaktadır (Polykretis & Chalkias, 2018; Vakhshoori & Zare, 2016).

Tablo 4.5. Kanıt Ağırlığı Yönteminde kullanılan veriler ile elde edilen sonuç değerleri

Parametre	Sınıf	A1	A2	A3	A4	W ⁺	W ⁻	C
Yükselti	0 - 250	1622	5700	759896	9757277	0.487	-0.076	0.563
	250 - 500	1421	5901	685112	9832061	0.474	-0.064	0.539
	500 - 750	369	6953	486923	10030250	0.037	-0.002	0.039
	750 - 1000	525	6797	496032	10021141	0.182	-0.011	0.193
	1000 - 1250	789	6533	536214	9980959	0.325	-0.027	0.352
	1250 - 1500	1053	6269	611535	9905638	0.393	-0.041	0.435
	1500 - 1750	1009	6313	730515	9786658	0.298	-0.033	0.331
	1750 - 2000	200	7122	828325	9688848	-0.460	0.024	-0.484
	2000 - 2250	330	6992	969966	9547207	-0.311	0.022	-0.333

Tablo 4.5. (devam)

Parametre	Sınıf	A1	A2	A3	A4	W ⁺	W ⁻	C
Yükselti	2250 - 2500	4	7318	1227681	9289492	-2.330	0.054	-2.383
	2500 - 2750	0	7322	1412012	9105161	0	0.063	0
	2750 - 3000	0	7322	1262733	9254440	0	0.056	0
	> 3000	0	7322	510229	10006944	0	0.022	0
Litoloji	Alüvyon	156	7166	140497	10376124	0.203	-0.004	0.206
	Kabaköy For.	35	7287	728989	9787632	-1.161	0.029	-1.191
	Kaç. Graniti.	3963	3359	7086251	3430370	-0.095	0.148	-0.243
	Bakırköy Fr.	262	7060	281989	10234632	0.125	-0.004	0.129
	Çağlayan Fr.	2007	5315	868233	9648388	0.521	-0.102	0.623
	Kızılk. For.	190	7132	112326	10404295	0.386	-0.007	0.392
	Çatak For.	709	6613	1230861	9285760	-0.082	0.010	-0.092
	Berdiga For.	0	7322	1174	10515447	0	0.000	0
Hamurk. For.	0	7322	66301	10450320	0	0.003	0	
Toprak Tekstürü	Kil	0	7322	602	10508706	0	0.000	0
	Kumlu Killi Tın	1897	5425	1072676	9436632	0.405	-0.083	0.488
	Killi Tın	12	7310	72681	10436627	-0.625	0.002	-0.628
	Tın	97	7225	18469	10490839	0.877	-0.005	0.882
	Tınlı Kum	18	7304	8680	10500628	0.474	-0.001	0.474
	Kumlu Tın	5298	2024	9343522	1165786	-0.089	0.397	-0.486
Bakı	Kuzey	567	6755	725360	9791035	-0.226	0.013	-0.239
	Kuzeydoğu	978	6344	1336444	9179951	0.022	-0.003	0.025
	Doğu	1095	6227	1208529	9307866	0.114	-0.017	0.132
	Güneydoğu	986	6336	995329	9521066	0.153	-0.020	0.173
	Güney	1050	6272	1167525	9348870	0.111	-0.016	0.127
	Güneybatı	929	6393	1349279	9167116	-0.005	0.001	-0.006
	Batı	866	6456	1401178	9115217	-0.052	0.007	-0.059
Kuzeybatı	801	6521	1416652	9099743	-0.090	0.013	-0.103	
Eğim	0 – 5	130	7192	293678	10222716	-0.197	0.005	-0.201
	5 – 10	152	7170	424919	10091475	-0.289	0.009	-0.298
	10 – 15	392	6930	812183	9704211	-0.159	0.011	-0.170
	15 – 20	635	6687	1180512	9335882	-0.112	0.012	-0.124
	20 – 25	996	6326	1595627	8920767	-0.047	0.008	-0.055
	25 – 30	1296	6026	1934684	8581710	-0.017	0.004	-0.020
	30 – 35	1244	6078	1937853	8578541	-0.035	0.008	-0.043
	35 – 40	1270	6052	1414267	9102127	0.111	-0.020	0.131
> 40	1207	6115	922671	9593723	0.274	-0.038	0.312	
Plan eğriliği	İç bükey	4279	3043	4623117	5893276	0.124	-0.130	0.253
	Düz	252	7070	481778	10034615	-0.124	0.005	-0.129
	Dış bükey	2791	4531	5411498	5104895	-0.130	0.105	-0.236
Profil eğriliği	İç bükey	2592	4730	2734549	7781774	0.134	-0.059	0.193
	Düz	2782	4540	5050407	5465916	-0.102	0.077	-0.178
	Dış bükey	1948	5374	2731367	7784956	0.010	-0.004	0.014
Drenaj Yoğunluğu	Düşük	2249	5073	6618583	3898850	-0.311	0.272	-0.583
	Orta	1895	5427	2291326	8226107	0.075	-0.023	0.098
	Yüksek	1388	5934	1156276	9361157	0.237	-0.041	0.277
	Çok yüksek	1784	5538	451254	10066179	0.754	-0.102	0.856
Akarsulara mesafe	0 – 50	2345	4977	1836665	8679956	0.263	-0.084	0.348
	50 – 100	1966	5356	1682284	8834337	0.225	-0.060	0.285
	100 – 150	1349	5973	1478962	9037659	0.117	-0.023	0.140
	150 – 200	749	6573	1243903	9272718	-0.063	0.008	-0.071
	200 – 250	435	6887	1013148	9503473	-0.210	0.017	-0.227
	> 250	478	6844	3261659	7254962	-0.677	0.132	-0.809

Tablo 4.5. (devam)

Parametre	Sınıf	A1	A2	A3	A4	W ⁺	W ⁻	C
Yollara mesafe	0 – 25	1297	6025	961608	9555013	0.287	-0.043	0.330
	25 – 50	1102	6220	772882	9743739	0.311	-0.038	0.349
	50 – 75	807	6515	603050	9913571	0.284	-0.025	0.309
	75 – 100	588	6734	474290	10042331	0.251	-0.016	0.267
	> 100	3528	3794	7704791	2811830	-0.182	0.287	-0.469
Arazi Örtüsü	Tarım Al.	3157	4165	1582911	8889670	0.455	-0.174	0.629
	Yerleşme Al.	119	7203	155595	10316986	0.039	-0.001	0.040
	Geniş Y. O.	1530	5792	1354920	9117661	0.208	-0.042	0.250
	Karışık Y. O.	784	6538	1114752	9357829	0.003	0.000	0.003
	İğne Y. O.	1275	6047	1218499	9254082	0.175	-0.029	0.204
	Çıplak kaya.	0	7322	9331	10463250	0	0.000	0
	Çayırlar	455	6867	5035494	5437087	-0.889	0.257	-1.145
Topografik Nemlilik İndeksi (TWI)	Çok düşük	1598	5724	2599697	7916651	-0.054	0.016	-0.071
	Düşük	3332	3990	4461836	6054512	0.030	-0.024	0.054
	Orta	1892	5430	2742632	7773716	-0.004	0.001	-0.005
	Yüksek	414	6908	546549	9969799	0.037	-0.002	0.039
	Çok yüksek	86	7236	165634	10350714	-0.127	0.002	-0.129
Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi (SPI)	Çok düşük	68	7254	176831	10339517	-0.258	0.003	-0.261
	Düşük	1101	6221	2317946	8198402	-0.166	0.037	-0.203
	Orta	3015	4307	4506315	6010033	-0.017	0.013	-0.030
	Yüksek	2824	4498	3161310	7355038	0.108	-0.056	0.165
	Çok yüksek	314	7008	353946	10162402	0.105	-0.004	0.109
Topografik Pozisyon İndeksi (TPI)	Çok düşük	1607	5715	870544	9645765	0.423	-0.070	0.494
	Düşük	2597	4725	2531421	7984888	0.168	-0.071	0.239
	Orta	2002	5320	3557456	6958853	-0.092	0.041	-0.133
	Yüksek	898	6424	2564699	7951610	-0.299	0.065	-0.363
	Çok yüksek	218	7104	992189	9524120	-0.501	0.030	-0.531
Arazi Pürüzlülük İndeksi (TRI)	Çok düşük	700	6622	1669367	8846981	-0.220	0.031	-0.252
	Düşük	1905	5417	3198107	7318241	-0.068	0.027	-0.094
	Orta	2152	5170	3257871	7258477	-0.023	0.010	-0.033
	Yüksek	2003	5319	1970998	8545350	0.164	-0.049	0.213
	Çok yüksek	562	6760	420005	10096343	0.284	-0.017	0.301
Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi (STC)	Çok düşük	2126	5196	4096710	6419638	-0.128	0.065	-0.193
	Düşük	3381	3941	4823167	5693181	0.003	-0.003	0.005
	Orta	1552	5770	1370996	9145352	0.211	-0.043	0.254
	Yüksek	210	7112	185048	10331300	0.212	-0.005	0.217
	Çok yüksek	53	7269	40427	10475921	0.275	-0.001	0.276

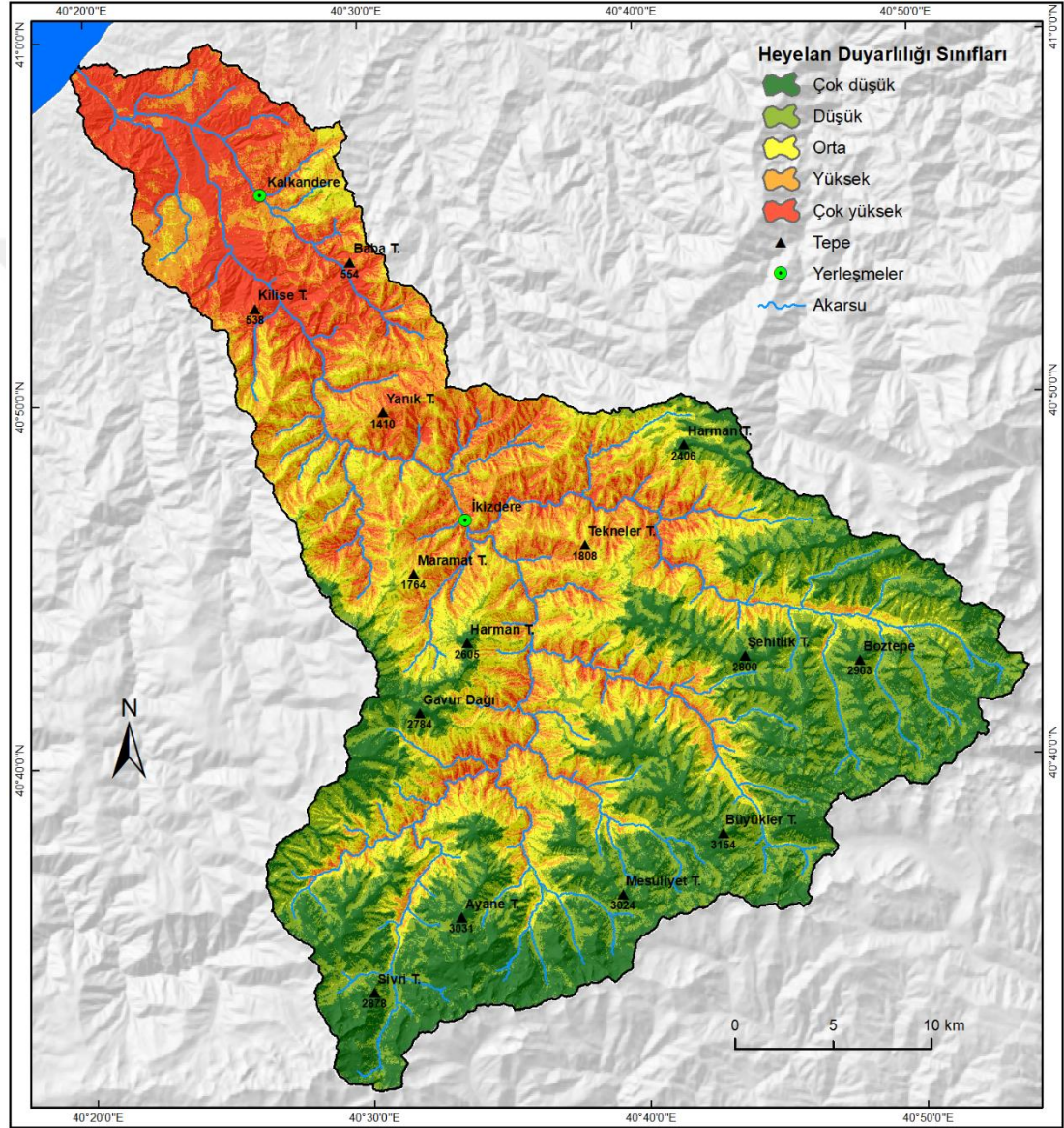
Heyelanlar ile en yüksek ilişki saptanan yükselti sınıfı 0-250 m aralığıdır. 1750 m yükseltiyeye kadar pozitif C değerleri tespit edilmiştir. 1750 m yükseltiden sonra ise negatif değerler elde edilmiştir. Litoloji sınıfları içerisinde Çağlayan formasyonunun (volkano-tortul) heyelanlar ile en yüksek konumsal ilişkiye sahip olduğu belirlenmiştir. En yüksek ilişki saptanan ikinci litoloji sınıfı ise Kızılkaya formasyonudur (volkanik). Pozitif C değerlerinin görüldüğü diğer litoloji sınıfları ise Bakırköy formasyonu (tortul) ve alüvyon arazilerdir. Toprak tekstürü sınıfları ile heyelanlar arasında en yüksek konumsal ilişkiye sahip sınıflar sırasıyla; tın, kumlu killi tın ve tınlı kumdur. Diğer toprak tekstürü sınıfları (kil, killi tın, kumlu tın) ile

heyelanlar arasında negatif ilişki saptanmıştır. Yamaç yönlerinden kuzeydoğu, doğu, güneydoğu ve güney bakılarda heyelanlar ile pozitif konumsal ilişki; diğer bakılarda ise negatif konumsal ilişki tespit edilmiştir. Eğimin 35°'nin üzerinde olduğu alanlarda heyelanlar ile pozitif konumsal ilişki saptanmıştır. Eğimin 35°'nin altında olduğu yamaçlarda ise heyelanlar ile düşük ilişki görülmektedir. Plan eğriliği iç bükey olan yamaçlarla heyelanlar arasında pozitif ilişki saptanmış; dış bükey ve düz yamaçlar ise saptanmamıştır. Profil yamaç eğriliğinde iç bükey ve dış bükey yamaçlar ile heyelanlar arasında pozitif ilişki, düz yamaçlar ile heyelanlar arasında ise negatif ilişki belirlenmiştir. Drenaj yoğunluğunun çok yüksek sınıfı en yüksek değere sahip olmakla birlikte yüksek ve orta drenaj yoğunluğu sınıflarında da heyelanlar ile pozitif ilişki tespit edilmiştir. Düşük drenaj yoğunluğu sınıfı ile heyelanlar arasında ise konumsal ilişki görülmemiştir. Havza sınırları içerisinde herhangi bir akarsuya 150 m'den daha yakın alanlar ile heyelanlar arasında pozitif ilişki görülürken; 150 m'den uzak alanlar ile heyelanlar arasında herhangi bir konumsal ilişki saptanamamıştır. Yollara 100 m'den daha yakın alanlar heyelanlar arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur. Arazi örtüsü sınıfları içerisinde tarım alanları en yüksek C değerine sahip sınıfı oluşturmaktadır. Çayır ve kayalık alanlar hariç diğer bütün sınıflar ile heyelanlar arasında konumsal anlamda pozitif ilişki görülmektedir. Kanıt Ağırlığı Yönteminde heyelanlar ile TWI sınıfları arasındaki ilişki anlamlı görülmemiştir. Yüksek ve düşük TWI sınıfında pozitif; çok düşük, orta ve çok yüksek TWI sınıfında ise negatif ilişki değerleri elde edilmiştir. SPI ve TRI parametrelerinin yüksek ve çok yüksek sınıflarında pozitif ilişki; orta, düşük ve çok düşük sınıflarında ise negatif ilişki belirlenmiştir. TPI parametresinin çok düşük ve düşük sınıfında pozitif; orta, yüksek ve çok yüksek sınıfında ise negatif değerler saptanmıştır. STC parametresinin yalnızca çok düşük sınıfında negatif, diğer sınıflarında ise pozitif ilişkiyi gösteren değerler elde edilmiştir.

Kanıt ağırlığı yöntemi ile her bir parametre sınıfına ait elde edilen C değerlerinden en yüksek olanları, dolayısıyla haritadaki yüksek duyarlılık alanlarının ortaya çıkmasındaki en etkili parametre sınıfları sırasıyla şunlardır: Tınlı toprak tekstürü sınıfı, çok yüksek drenaj yoğunluğu sınıfı, tarımsal arazi örtüsü sınıfı, Çağlayan formasyonu litoloji sınıfı, 0-500 m yükselti aralığı ve çok düşük TPI sınıfıdır. Elde edilen C değeri en düşük olan ve dolayısıyla duyarlılık üzerinde en az etkin olan parametre sınıfları ise sırasıyla şunlardır: 2000 m'nin üzerindeki yükselti

sınıfı, Kabaköy formasyonu litoloji sınıfı, çayır arazi örtüsü, herhangi bir akarsuya 250 m'den daha uzak alanlar ve killi tın toprak tekstürü sınıfıdır. Sınırları içerisinde herhangi bir envanter kaydı bulunmayan parametre sınıfları bu sıralamanın dışında tutulmuştur.

İyidere Havzası'nda kanıt ağırlığı yöntemi ile elde edilen her bir sınıfa ait değerler kullanılarak heyelan duyarlılığı haritası üretilmiştir (Şekilde 4.5).



Şekil 4.5. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile elde edilen heyelan duyarlılığı haritası

Havzanın aşağı çığırının çok büyük bir kısmının yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfı içerisinde yer aldığı görülmektedir. Yalnızca Kalkandere İlçesi'nin doğusu ile Birlik ve Gümüşören yerleşmeleri çevresinde orta seviye duyarlılık alanları gözlenmektedir. Havzanın içerisine doğru, 2000 m seviyelerine

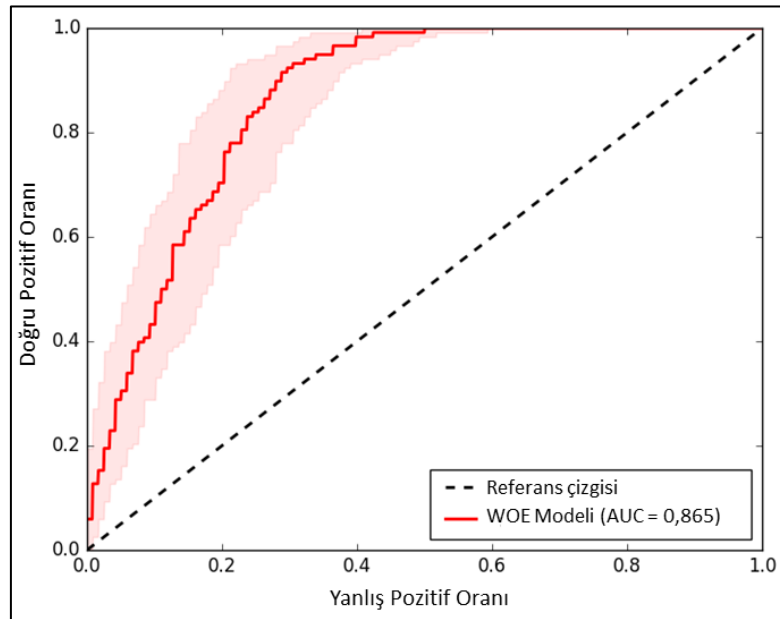
kadar vadiler boyunca orta seviye duyarlılık sınıfı geniş yayılış göstermektedir. Yamaçlarda yüksek ve çok yüksek duyarlılık alanlarına rastlanır. Düşük duyarlılık sınıflarına havzanın yukarı çığırlarında, 2000 m'nin üzerinde rastlanmaktadır.

Kanıt ağırlığı yöntemi ile belirlenen İyidere Havzası heyelan duyarlılık sınıflarından çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfı havzanın %14,79'unu, yüksek heyelan duyarlılığı sınıfı %23,36'sını, orta duyarlılık sınıfı %18,88'ini, düşük duyarlılık sınıfı %20,75'ini, çok düşük duyarlılık sınıfı ise %22,22'sini kapsamaktadır (Tablo 4.6).

Tablo 4.6. Kanıt Ağırlığı Yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılığı haritasının alansal bilgileri

Heyelan Duyarlılığı Sınıfları	Alan	
	km ²	%
Çok düşük	232,84	22,22
Düşük	217,40	20,75
Orta	197,81	18,88
Yüksek	244,72	23,36
Çok yüksek	154,95	14,79

Kanıt ağırlığı yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının doğruluğu, test envanter veri seti kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmede ROC eğrisi ve AUC değeri kullanılmıştır (Şekil 4.6). AUC değeri 0,865 olarak bulunmuştur. Bu değer sınıflandırmanın iyi olduğunu göstermektedir (Tablo 2.6).



Şekil 4.6. Kanıt Ağırlığı yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılığı haritasına ait ROC eğrisi

4.4. Mantıksal Regresyon Yöntemi

Çok değişkenli makine öğrenmesi yöntemlerinden birisi olan mantıksal regresyon kullanılarak İyidere Havzası'ndaki çevresel parametreler ile heyelanlar arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında bağımsız değişkenleri temsil eden çevresel parametrelerden yükselti, eğim, plan yamaç eğriliği, profil yamaç eğriliği, drenaj yoğunluğu, akarsulara mesafe, kum, kil, silt, topografik nemlilik indeksi, akarsu aşındırma gücü indeksi, arazi pürüzlülük indeksi, sediment taşıma kapasitesi indeksi ve topografik pozisyon indeksi sürekli veri olarak mantıksal regresyon modeline dahil edilmiştir. Bakı, arazi kullanımı ve litoloji ise kategorik veri olarak modele dahil edilmiştir. Kategorik veriler modele dahil edilirken kukla (dummy) değişkenler kullanılmıştır. Çalışma kapsamında bağımlı değişkeni heyelan envanter verisi temsil etmektedir. Envanterdeki her bir heyelanın orta noktasından heyelanlı alanı temsilen veri üretilmiştir. Bu bağlamda 588 heyelanlı nokta verisi elde edilmiştir. Modeli çalıştırmak için gerekli olan heyelansız alanları temsil için de 588 heyelansız nokta verisi üretilmiştir. Heyelansız noktalar rastgele örnekleme ile seçilmiştir. Bu rastgele noktalar oluşturulurken heyelan alanlarından en az 300 m uzak olması şartı gözetilmiştir. Nihayetinde modeli çalıştırmak için 1176 örneklem içeren veri seti üretilmiştir. Üretilen veri setinin %80'i eğitim, %20'si ise test veri seti olarak ayrılmıştır.

Mantıksal regresyon modeli, bağımsız değişkenler arasındaki çoklu doğrusallığa duyarlıdır. Çoklu doğrusallık, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında regresyon modeli oluşturulurken zorluklar yaratabilmektedir (Alin, 2010). Bu nedenle çalışma kapsamında da bağımsız değişkenler arasındaki çoklu doğrusallık VIF (variance inflation factor) değeri üzerinden kontrol edilmiştir (Tablo 4.7). VIF değerinin 10'dan büyük olması çoklu doğrusallık problemine işaret etmektedir (Dormann vd., 2013). Çalışma kapsamında bağımsız değişken olarak modele dahil edilen çevresel bileşenler arasında çoklu doğrusallık problemine rastlanmamıştır. Bu nedenle hiçbir parametre model dışına alınmamıştır.

Tablo 4.7. Bağımsız değişkenlerin çoklu doğrusallık değerlendirmeleri

Parametre	VIF değeri	
Yükselti	1,238	
Eğim	6,255	
Plan eğriliği	1,392	
Profil eğriliği	1,529	
Drenaj yoğunluğu	2,344	
Akarsulara mesafe	3,937	
Yollara mesafe	3,933	
Kum	6,906	
Kil	1,546	
Silt	3,849	
Topografik Nemlilik İndeksi	6,269	
Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi	6,457	
Topografik Pozisyon İndeksi	1,817	
Arazi Pürüzlülük İndeksi	4,963	
Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi	2,634	
Litoloji	Kabaköy formasyonu	4,506
	Kaçkar granitiyoidi	1,592
	Bakırköy formasyonu	2,365
	Çağlayan formasyonu	8,086
	Kızılkaya formasyonu	1,253
	Çatak formasyonu	5,854
	Hamurkesen formasyonu	1,770
	Bakı	Kuzey
Kuzeydoğu		2,075
Doğu		1,961
Güneydoğu		1,698
Güney		1,946
Güneybatı		1,946
Batı		1,880
Kuzeybatı		1,867
Arazi örtüsü	Geniş yapraklı ormanlar	2,766
	İğne yapraklı ormanlar	1,665
	Kayalık alanlar	2,115
	Karışık ormanlar	1,551
	Tarım alanları	5,924
	Yerleşme alanları	1,215

Hazırlanan ve kontrolleri yapılan parametreler (bağımsız değişken) ile heyelanlar (var ise 1, yok ise 0) arasında ilişkiyi ortaya koymak amacıyla ikili lojistik regresyon modeli çalıştırılmıştır. İşlem sonucunda bağımsız değişkenlere ait katsayılar ve anlamlılıkları elde edilmiştir (Tablo 4.8). Modelin veri setine olan uygunluğunun değerlendirilmesi için Cox & Snell R^2 (Cox & Snell, 1981) değeri ile Nagelkerke R^2 (Nagelkerke, 1991) değeri hesaplanmıştır. Bu değerler doğrusal regresyondaki R^2 değerine benzer şekilde modelin anlamlılığı, bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni açıklamadaki gücü hakkında bilgi vermekte ve 0 ile 1 arasında değişmektedir. Doğrusal regresyondan farklı olarak Cox & Snell R^2 ile Nagelkerke R^2 değerleri nispeten küçük olabilir. Bu durum mantıksal regresyon

modelini geçersiz kılmaz (Chau vd., 2004; Mousavi vd., 2011). Kesin geçerli bir evrensel değer olmamakla birlikte Cox & Snell R^2 ile Nagelkerke R^2 değerinin 0.15'den (Wu, 2015) ve 0.20'den (Sujatha & Sridhar, 2021) büyük olmasının kabul edilebilir olduğu belirtilmektedir. İyidere Havzası'nda üretilen mantıksal regresyon modelinde Cox & Snell R^2 değeri 0,545; Nagelkerke R^2 değeri ise 0,726 olarak bulunmuştur. Bu değerlerin literatürde bulunan birçok heyelan duyarlılığı çalışmasında (Abedini vd., 2017; Chen vd., 2019; Pourghasemi vd., 2013; Wu, 2015) elde edilenden daha yüksek olduğu da belirlenmiştir. Üretilen modelin güvenilirliğini test etmek için doğruluk oranı da hesaplanmıştır. Doğruluk oranı, model sonucunda üretilen tahminlerden doğru olanların, toplam tahminlere oranını ifade etmektedir. Bu bağlamda hem eğitim hem de test veri setinin doğruluk oranları hesaplanmıştır. Eğitim veri seti ile %87, test veri seti ile %82 doğruluk oranı tespit edilmiştir. Bu değerler modelin İyidere Havzası'ndaki çevresel bileşenlerden yola çıkarak heyelanları tahmin etme başarısının yüksek olduğunu göstermektedir.

Mantıksal regresyon analizi sonucunda elde edilen p değeri, bağımsız değişkenin bağımlı değişkenin tahmininde istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını ortaya koymaktadır. Bu değer 0,05'den küçük olması beklenmektedir (E. A. Alp, 2019; Althuwaynee vd., 2014). Çalışma kapsamında 0,05'den daha küçük p değerine sahip çevresel bileşenler, istatistiksel olarak heyelanın tespit edilmesinde daha anlamlı girdi durumundadır. Bu bağlamda elde edilen mantıksal regresyon modeli sonuçları değerlendirildiğinde; yükselti, eğim, drenaj yoğunluğu, akarsulara mesafe, yollara mesafe, kum oranı, topografik pozisyon indeksi, kaçkar granitoyidi, çağlayan formasyonu, çatak formasyonu, tarım alanları ve doğu-güneydoğu-güney bakı değişkenleri heyelan tahmininde en anlamlı girdileri oluşturmaktadır. Bu parametreler içerisinde özellikle yükselti, drenaj yoğunluğu, yollara mesafe ve tarım alanları değişkenlerini önem seviyeleri oldukça yüksektir. Bu durum İyidere Havzası'nda, mantıksal regresyon yöntemi kapsamında heyelanları kontrol eden en önemli çevresel parametreleri de ortaya koymaktadır.

Tablo 4.8. Mantıksal regresyon modeli sonuçları

Parametre	β (Regresyon Katsayısı)	p (Önem)	
Yükselti	-0,00215	0,00000	
Eğim	0,15660	0,05246	
Plan eğriliği	-0,14140	0,20358	
Profil eğriliği	-0,07899	0,34249	
Drenaj yoğunluğu	0,62180	0,00104	
Akarsulara mesafe	-0,00239	0,03763	
Yollara mesafe	-0,00079	0,00902	
Kum	0,07766	0,02294	
Kil	0,13090	0,10737	
Silt	0,07935	0,19949	
Topografik Nemlilik İndeksi	0,11660	0,42432	
Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi	-0,04190	0,79175	
Topografik Pozisyon İndeksi	-0,03017	0,00000	
Arazi Pürüzlülük İndeksi	-0,75930	0,11689	
Sediment Taşıma Kapasitesi İndeksi	-0,00950	0,22771	
Litoloji	Alüvyon	-8,78400	0,99311
	Kabaköy formasyonu	-1,48000	0,15348
	Kaçkar granitiyoidi	2,32600	0,00488
	Bakırköy formasyonu	0,15290	0,84215
	Çağlayan formasyonu	1,39300	0,04842
	Kızılkaya formasyonu	0,17280	0,87214
	Çatak formasyonu	1,65300	0,03700
	Hamurkesen formasyonu	-8,67100	0,99101
Bakı	Kuzey	2,02600	0,14123
	Kuzeydoğu	2,31800	0,09181
	Doğu	3,11200	0,02304
	Güneydoğu	2,64100	0,05554
	Güney	3,03100	0,02735
	Güneybatı	2,34900	0,07971
	Batı	2,24900	0,10072
	Kuzeybatı	2,16800	0,11235
Arazi örtüsü	Geniş yapraklı ormanlar	0,46750	0,34697
	İğne yapraklı ormanlar	1,09700	0,01348
	Kayalık alanlar	-1,24400	0,99318
	Karışık ormanlar	0,26910	0,56339
	Tarım alanları	1,63600	0,00200
	Yerleşme alanları	0,07455	0,93452
Sabite değeri (constant)	-13,9800	0,00479	

Mantıksal regresyon analizi sonucunda elde edilen β değerleri ve sabite değer (Tablo 4.8) kullanılarak eşitlik üretilmiştir. Yapılan çalışmalar (Chen vd., 2016; Park vd., 2013; Pourghasemi vd., 2013) göz önünde bulundurularak eşitliğe önem değeri 0,05'den büyük olan değişkenler de dahil edilmiştir.

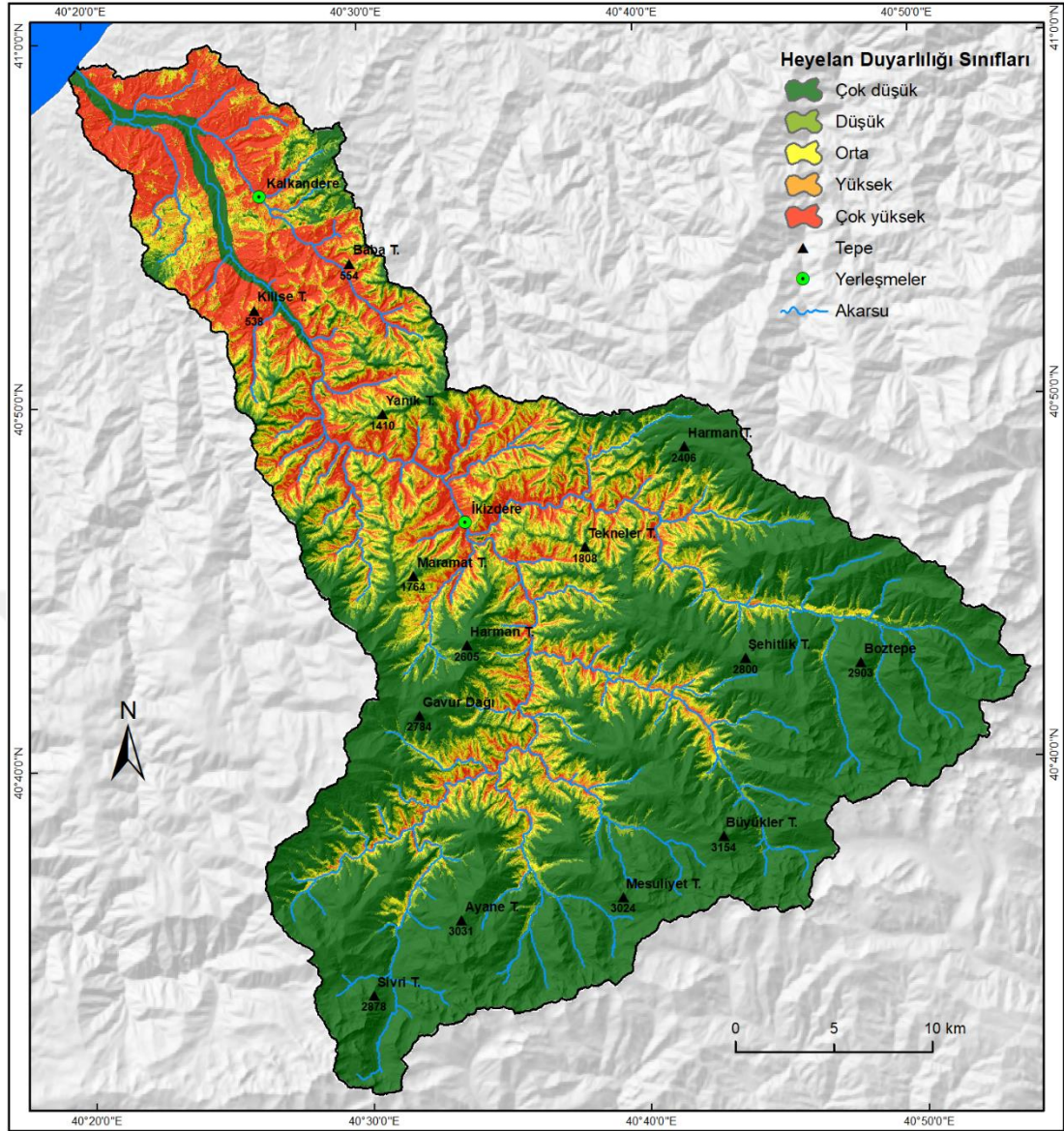
$$\begin{aligned}
z = & \text{"Drenaj yoğunluğu"} * 0.6218 + \text{"Yollar"} * (-0.0007992) + \text{"Arazi Örtüsü"} + \text{"Bakı"} \\
& + \text{"Litoloji"} + \text{"TPI"} * (-0.03017) + \text{"STC"} * (-0.009503) + \text{"TRI"} \\
& * (-0.7593) + \text{"SPI"} * (-0.0419) + \text{"TWI"} * 0.1166 + \text{"Silt"} * 0.07935 \\
& + \text{"Kil"} * 0.1309 + \text{"Kum"} * 0.07766 + \text{"Akarsulara mesafe"} * (-0.002397) \\
& + \text{"Profil eğriliği"} * (-0.07899) + \text{"Plan eğriliği"} * (-0.1414) + \text{"Eğim"} \\
& * 0.1566 + \text{"Yükselti"} * (-0.002151) - 13.98
\end{aligned}$$

Yukarıdaki işlem ile elde edilen z değeri ve eşitlik 2.3 kullanılarak İyidere Havzası'na ait heyelan duyarlılığı haritası üretilmiştir (Şekil 4.7). Duyarlılık seviyesinin çok yüksek ve yüksek olduğu sınıflara havzanın aşağı çığırında ve İyidere ile kollarının oluşturduğu vadilerin yamaçlarında rastlanmaktadır. Havzanın aşağı çığırında Kalkandere İlçesi'nin doğusunda duyarlılığın düşük ve çok düşük olduğu alanlar tespit edilmiştir. Yine havzanın aşağı çığırının batı yamacında duyarlılığın orta, düşük ve çok düşük olduğu alanlar (Birlik ve Gümüşören yerleşmeleri çevresi) görülmektedir. Baba Tepe ve Kilise Tepe hattında sonra heyelan duyarlılığının yüksek olduğu alanlara vadi içlerinde, akarsuya yakın yamaçlarda rastlanmaktadır. Bu hattan sonra akarsulardan uzaklaştıkça duyarlılık azalmakta, sırtlar boyunca düşük ve çok düşük heyelan duyarlılık sınıfları gözlenmektedir. İyidere Havzası'nın yüksek kesimlerinde (~1250-1500 m'nin üzerinde), özellikle İkizdere İlçesi'nden sonra yüksek heyelan duyarlılığı alanları akarsulara çok yakın yamaçlarla sınırlı kalmaktadır. Bu seviyeden sonra, eski aşınım düzlüklerini de içeren alanlarda genellikle heyelan duyarlılığı düşük olarak gözlenmektedir.

Mantıksal regresyon yöntemi ile belirlenen İyidere Havzası heyelan duyarlılık sınıflarının alansal değerleri incelenmiştir (Tablo 4.9). Çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfı havzanın %13,19'unu (137,33 km²) kapsamaktadır. Yüksek heyelan duyarlılığı sınıfı %9,52'sini (99,14 km²) kapsamaktadır. Bu iki değer birlikte değerlendirildiğinde İyidere Havzasının yaklaşık beşte birinin yüksek duyarlılık seviyesinde olduğu görülmektedir. Çok düşük, düşük ve orta seviye heyelan duyarlılığı sınıfları sırasıyla havzanın %54,00, %13,08 ve %9,81'ini kapsamaktadır.

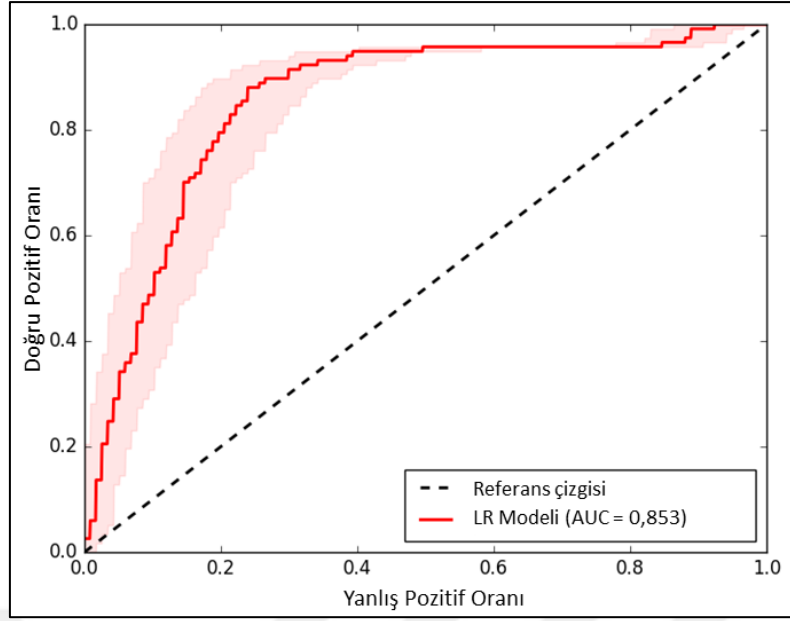
Tablo 4.9. Mantıksal regresyon yöntemi ile elde edilen duyarlılık haritasının alansal bilgileri

Heyelan Duyarlılığı Sınıfları	Alan	
	km ²	%
Çok düşük	566,48	54,00
Düşük	136,15	13,08
Orta	102,16	9,81
Yüksek	99,14	9,52
Çok yüksek	137,33	13,19



Şekil 4.7. Mantıksal regresyon yöntemi ile elde edilen heyelan duyarlılığı haritası

Mantıksal regresyon yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılığı haritasının performansı, test veri seti kullanılarak ROC eğrisi ve AUC değeri üzerinden değerlendirilmiştir (Şekil 4.8). AUC değeri 0,853 olarak bulunmuştur. Bu değer sınıflandırmanın iyi olduğu anlamına gelmektedir (Tablo 2.6).



Şekil 4.8. Mantıksal regresyon yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılığı haritasına ait ROC eğrisi

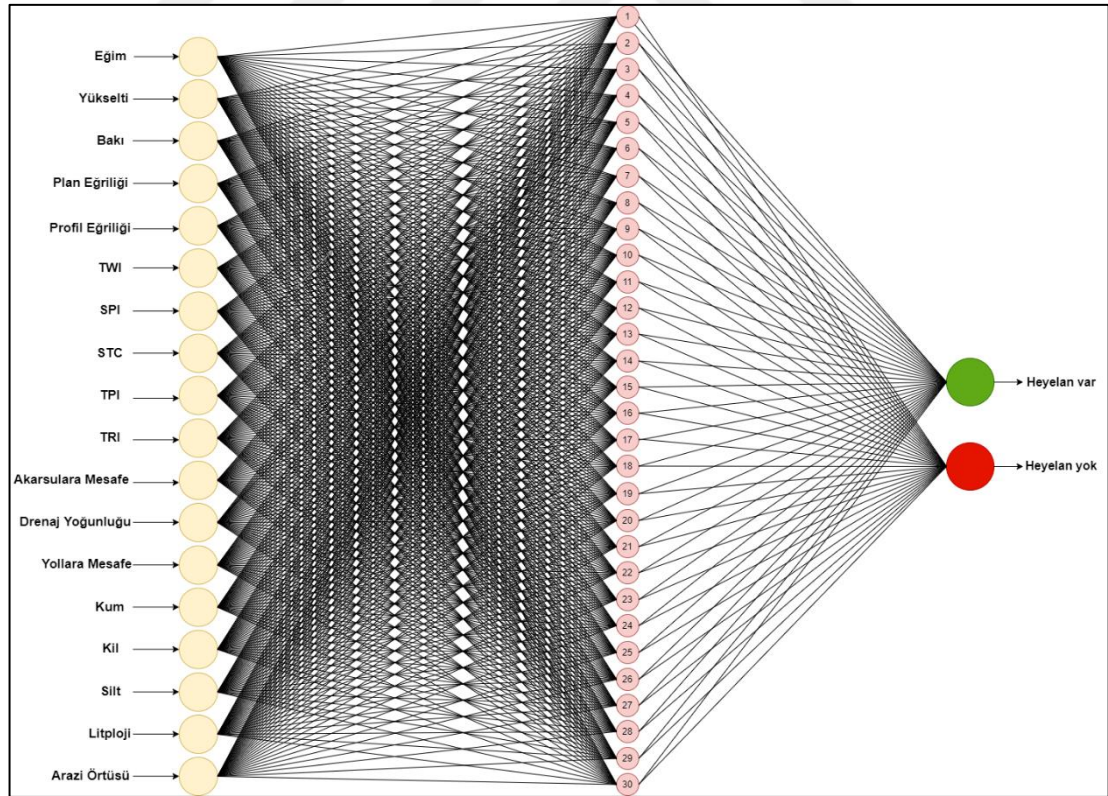
4.5. Yapay Sinir Ağları Yöntemi

İyidere Havzası'nda heyelanlar üzerinde etkili olduğu belirlenen çevresel parametreler ile heyelanlar arasındaki ilişki, makine öğrenmesi yöntemlerinden birisi olan yapay sinir ağları ile değerlendirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle veri setleri hazırlanmış ve gerekli ön işlemlerden (kayıp verilerin ayıklanması, verilerin standardize edilmesi) geçirilmiştir. Bu işlemler sonucunda yapay sinir ağı modelini eğitmek amacıyla 1088 (466 heyelanlı, 622 heyelansız) adet gözlem içeren eğitim veri seti elde edilmiştir. Üretilen modellerin doğruluğu test etmek amacıyla da 348 (117 heyelanlı, 231 heyelansız) adet girdiden oluşan test veri seti üretilmiştir.

Yapay sinir ağı ile modelleme yapılmaya başlamadan önce gizli tabaka ve gizli tabakalara düşen nöron sayılarının (yapay sinir ağı yapısının) belirlenmesi gerekmektedir. Modellemelerde tercih edilecek yapay sinir ağı yapısı ile ilgili genel bir kabul yoktur. Bu nedenle çalışma kapsamında farklı yapay sinir ağı yapıları ile modellemeler yapılmış ve hepsinin test verisi ile doğruluk değerleri üretilmiştir (Tablo 4.10). Bütün modeller geri yayılım algoritması, 0,01 eşik değeri ve 0,01 öğrenme katsayısı ile çalıştırılmıştır. En yüksek doğruluk değerine sahip olan Model-4 ile çalışmaya devam edilmiştir (Şekil 4.9).

Tablo 4.10. Yapay sinir ağı yapıları ve doğruluk değerleri

	Ağ Yapısı	Doğruluk değeri
Model-01	18, 10, 2	0,816
Model-02	18, 5, 2	0,807
Model-03	18, 1, 2	0,836
Model-04	18, 30, 2	0,850
Model-05	18, 25, 2	0,836
Model-06	18, 40, 2	0,847
Model-07	18, 60, 2	0,848
Model-08	18, 10, 5, 2	0,819
Model-09	18, 20, 5, 2	0,842
Model-10	18, 30, 5, 2	0,819
Model-11	18, 40, 5, 2	0,842
Model-12	18, 50, 5, 2	0,827
Model-13	18, 10, 4, 2	0,830
Model-14	18, 20, 10, 2	0,830
Model-15	18, 30, 10, 2	0,821
Model-16	18, 40, 10, 2	0,824
Model-17	18, 50, 10, 2	0,827
Model-18	18, 50, 20, 2	0,839



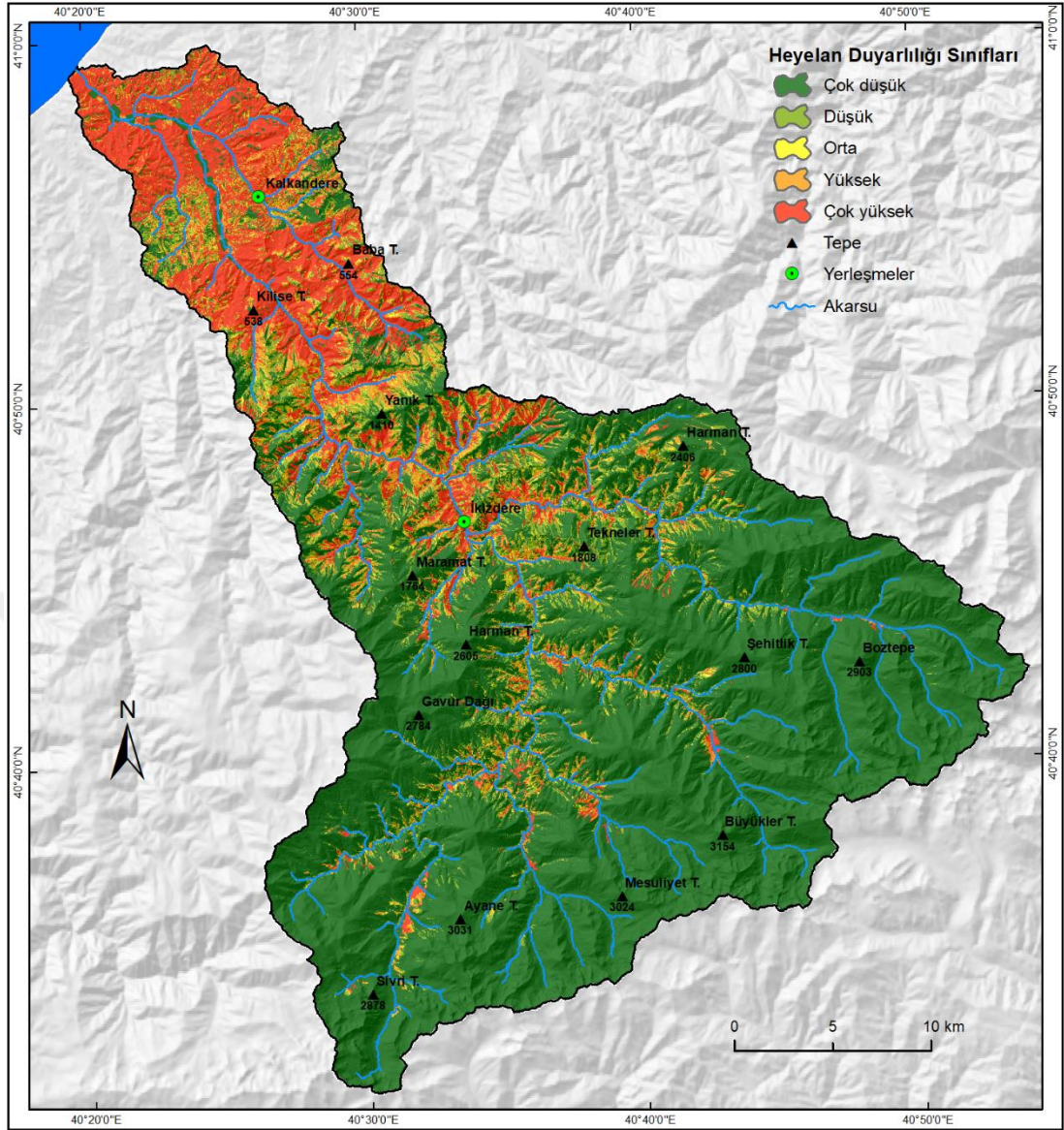
Şekil 4.9. Model-4 ile üretilen yapay sinir ağı yapısı

İyidere Havzası'nda heyelanlar üzerinde etkin 18 parametreye ait, ArcMap ortamında hazırlanan veriler R stüdyo ortamına aktarılmıştır. Bu parametreler ile Model-4 kullanılarak her bir gride ait heyelan duyarlılığı değeri elde edilmiştir. Bu değerler R stüdyo ortamında coğrafi referanslı hale dönüştürülerek tekrar CBS ortamına aktarılmış ve heyelan duyarlılığı haritası üretilmiştir (Şekil 4.10). Üretilen modelde heyelan duyarlılığın artmasında en yüksek etkiye drenaj yoğunluğu, toprak tekstüründeki kil oranının yüksekliği, tarımsal arazi örtüsü ve volkano-tortul çağlayan formasyonudur. İyidere Havzası'nda yapay sinir ağları ile üretilen duyarlılığın alansal dağılışı incelendiğinde; yüksek heyelan duyarlılığı sınıfının havzanın aşağı çığırında daha geniş alan kapladığı görülmektedir. Diğer yöntemlerle elde edilen duyarlılık haritalarında olduğu gibi yapay sinir ağları ile elde edilen duyarlılık dağılımında da Kalkandere İlçesi'nin doğusu ile Birlik ve Gümüşören yerleşmelerinin çevresi aşağı çığırda duyarlılığın düşük olduğu yerler barındırmaktadır. Baba Tepe ve Kilise Tepe hattından güneye, havzanın içerisine doğru, yüksek duyarlılık alanları vadi içlerinde görülmektedir. İkizdere İlçesi'nden sonra ise yüksek duyarlılık alanları dağılışı oldukça sınırlanmakta, düşük duyarlılık alanları geniş yerler kaplamaktadır.

İyidere Havzası'nda yapay sinir ağları ile belirlenen heyelan duyarlılık sınıflarından çok yüksek duyarlı alanlar havzanın %14,55'ini kapsamaktadır (Tablo 4.11). Yüksek heyelan duyarlılığı sınıfına ise havzanın %6'21'inde rastlanmaktadır. Bu iki sınıf birlikte değerlendirildiğinde havzanın yaklaşık %20'sinde heyelan afeti gerçekleşme ihtimali fazladır. Havzanın çok düşük ve düşük heyelan duyarlılığı sınıflarının toplamı havzanın yaklaşık %77'si kapsamaktadır.

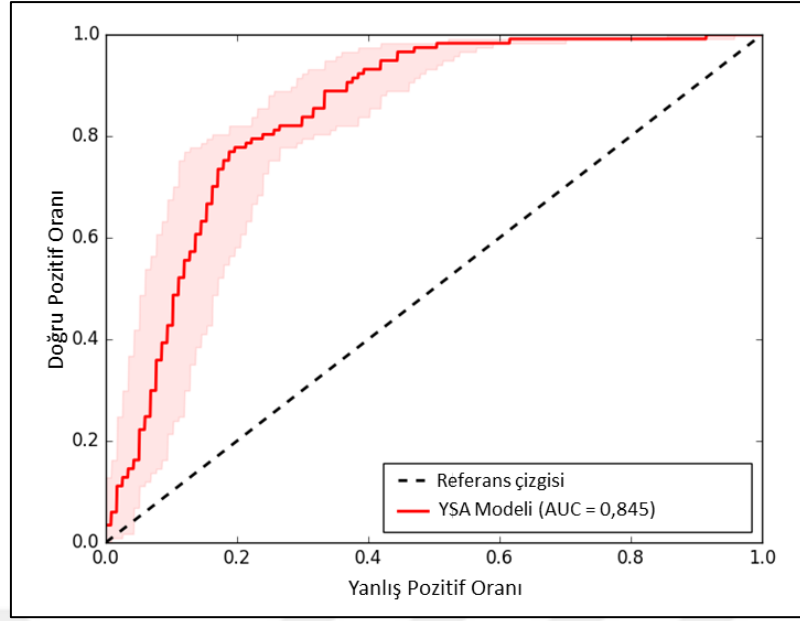
Tablo 4.11. Yapar sinir ağı yöntemi ile elde edilen duyarlılık haritasının alansal bilgileri

Heyelan Duyarlılığı Sınıfları	Alan	
	km ²	%
Çok düşük	718,59	68,96
Düşük	84,88	8,15
Orta	22,12	2,12
Yüksek	64,76	6,21
Çok yüksek	151,63	14,55



Şekil 4.10. Yapay sinir ağı yöntemi ile elde edilen heyelan duyarlılığı haritası

Yapay sinir ağı yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılığı haritasının doğruluğu, test envanter veri seti kullanılarak üretilen ROC eğrisi ve AUC değerleri üzerinden değerlendirilmiştir. AUC değeri 0,845 olarak bulunmuştur (Şekil 4.11). Bu değer sınıflandırmanın iyi olduğu anlamına gelmektedir (Tablo 2.6).



Şekil 4.11. Yapay sinir ağı yöntemi ile üretilmiş heyelan duyarlılığı haritasına ait ROC eğrisi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye’de en fazla heyelan afeti Doğu Karadeniz Bölümü’nde gerçekleşmektedir. En fazla heyelan afetinin kayıt altına alındığı ilk iki il ise Trabzon ve Rize’dir. Bu çalışmanın alanını oluşturan İyidere Havzası da bu iki ilin sınırları arasında konumlanmıştır. Havza, sahip olduğu lokasyonu itibariyle heyelan problemi açısından değerlendirilmesi önemli bir sahadır. Bu bağlamda öncelikli olarak İyidere Havzası’nda gerçekleşmiş heyelanlar kayıt altına alınmıştır. Ortofoto görüntüleri, arazi çalışmaları, yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleri ve arşiv kaynaklarından yararlanılarak belirlenen 588 heyelan ile heyelan envanter haritası oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında 18 farklı çevresel bileşen (Litoloji, toprak tekstürü, yükselti, bakı, eğim, plan yamaç eğriliği, profil yamaç eğriliği, drenaj yoğunluğu, akarsulara mesafe, yollara mesafe, arazi örtüsü, topografik nemlilik indeksi, akarsu aşındırma gücü indeksi, topografik pozisyon indeksi, arazi pürüzlülük indeksi, Sediment taşıma kapasitesi indeksi, depremsellik, yağış) ile heyelanlar arasındaki ilişki ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

İyidere Havzası’ndaki çevresel bileşenler ile heyelanlar arasındaki ilişkiler ayrı ayrı detaylıca değerlendirilmiştir. Heyelan duyarlılığı modellerinde de çevresel bileşenlerin heyelanlar üzerindeki etkinliği hakkında veriler elde edilmiştir. Farklı yöntem ve değerlendirmeler ile edilen bütün bulgular göz önüne alındığında İyidere Havzası’nda; yükseltinin düşük, eğimin 30-35°’nin üzerinde, profil ve plan yamaç eğrilikleri iç bükey, litolojik birimlerin Çağlayan ve Kızılkaya formasyonu, toprak tekstürünün kumlu killi tın, drenaj yoğunluğunun yüksek, akarsulara ve yollara yakın, arazi örtüsünün tarım alanı, SPI-TRI-STI’nın yüksek, TPI’nın düşük olduğu alanlar heyelan duyarlılığını artırmaktadır. TWI ve bakının heyelan üzerindeki etkisi İyidere Havzası özelinde sınırlı bulunmuştur. Tüm parametreler içerisinde drenaj yoğunluğu, eğim, eğim şekli, litoloji, arazi örtüsü ile akarsulara ve yollara mesafe parametrelerinin duyarlılık üzerinde en belirleyici çevresel bileşenler olduğu söylenebilir. Nitekim elde edilen beş farklı haritada da duyarlılığın mekânsal olarak farklılaşmasını bu parametrelerin kontrol ettiği görülebilmektedir.

Çalışma kapsamında hazırlanan 18 çevresel bileşenden 16’sı kullanılarak (Depremsellik ve yağış modele dahil edilmemiştir.) havzada heyelan gerçekleşme olasılığının yani duyarlılığın mekânsal dağılışı modellenmiştir. Bu aşamada iki değişkenli istatistiksel yöntemler (frekans oranı yöntemi, istatistiksel indeks yöntemi,

kanıt ağırlığı yöntemi) ile çok değişkenli makine öğrenmesi yöntemleri (mantıksal regresyon, yapay sinir ağları) kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerin hepsinin heyelan duyarlılığı çalışmalarında kabul görmüş olmasına karşın İyidere Havzası özelinde bütün yöntemler kıyaslanmıştır. Böylece hangi yöntemin daha başarılı sonuç verdiğinin değerlendirilebilme imkânı olmuştur. Yöntemlerin başarı performansları ROC eğrisi ve AUC değerleri üzerinden niceliksel olarak değerlendirilmiştir (Tablo 5.1). Beş farklı yöntemle üretilen duyarlılık haritalarının hepsi istatistiksel anlamda kabul edilebilir AUC değerine sahiptir. Bu yöntemler kendi içlerinde değerlendirildiğinde kanıt ağırlığı yöntemi ile hazırlanmış olan duyarlılık modelinden üretilen haritanın daha yüksek performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Performans başarısı açısından bu yöntemi sırasıyla; istatistiksel indeks, mantıksal regresyon, yapay sinir ağları ve frekans oranı yöntemleri takip etmektedir. Modellerin niceliksel değerlendirmesinin yanı sıra arazi çalışmaları ve kişisel deneyimler göz önüne alındığında mantıksal regresyon yöntemi ile üretilen modelin sahadaki heyelana duyarlı alanları daha doğru yansıttığı söylenebilir.

Tablo 5.1. Farklı yöntemler ile üretilen duyarlılık haritalarının AUC ve alansal değerleri

Yöntemler	AUC	Heyelan Duyarlılığı Sınıfları									
		Çok düşük		Düşük		Orta		Yüksek		Çok yüksek	
		km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Frekans Oranı	0,837	299,18	28,56	286,47	27,34	227,35	21,70	160,14	15,28	74,58	7,12
İstatistiksel İndeks	0,862	160,25	15,23	285,16	27,10	258,31	24,55	270,03	25,66	78,63	7,47
Kanıt Ağırlığı	0,865	232,84	22,22	217,40	20,75	197,81	18,88	244,72	23,36	154,95	14,79
Mantıksal Regresyon	0,853	566,48	54,00	136,15	13,08	102,16	9,81	99,14	9,52	137,33	13,19
Yapay Sinir Ağları	0,845	718,59	68,96	84,88	8,15	22,12	2,12	64,76	6,21	151,63	14,55

Bütün yöntemler bir arada değerlendirildiğinde havzanın yaklaşık %7 ile %14'ünün çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip olduğu belirlenmiştir. Yüksek heyelan duyarlılığı sınıfının havza içerisinde kapladığı alan ise yaklaşık %6 ile %25 arasında değişim göstermektedir. Çok yüksek ve yüksek heyelan duyarlılığı sınıfları bir arada değerlendirildiği havzanın yaklaşık %22 ile %37'lik alanında yayılış göstermektedir. Farklı yöntemler ile üretilen bütün değerler göz önünde bulundurulduğunda havzanın dörtte birinden fazlasında heyelan duyarlılığının yüksek seyrettiği açıktır. Üretilen duyarlılık haritalarının alansal değerleri farklılık göstermekle birlikte yüksek heyelan duyarlılığına sahip alanların havza içerisinde genel dağılışı oldukça benzerdir. Deniz kıyısından havza içerisine doğru Kilise

Tepe - Baba Tepe hattına kadar duyarlılık yüksek tespit edilmiştir. Bu alan içerisinde Kalkandere'nin doğusu ile yine Kalkandere'nin batı hizasında Birlik, Gümüşören ve Bayırca yerleşmeleri çevresinde heyelan duyarlılığı azalmaktadır. Havzanın aşağı çığırındaki duyarlılığın nispeten az olduğu bu kesimin sınırlarına bakıldığında litoloji sınırları ile paralellik gösterdiği görülmektedir. Bakırköy formasyonu (kumtaşı, killi kireçtaşı, marn, şeyl) ile Kabaköy formasyonu (andezit, bazalt ve piroklastikleri; kumtaşı, kumlu kireçtaşı) bu paralellik gösteren sınırları oluşturmaktadır. Bu formasyonlarda, çağlayan formasyonuna oranla daha az heyelan tespit edilmiştir. Bu durum heyelan duyarlılığı modellerinde bu formasyonların sonuç üzerinde daha az etkin olmasına neden olmuştur. Neticesinde de havzanın aşağı çığırında, kıyıda Baba Tepe – Kilise Tepe hattına kadar olan sahada duyarlılığın nispeten düşük olmasını sağlamıştır. Baba Tepe – Kilise Tepe hattından güneye, havza içerisine doğru yüksek heyelan duyarlılığına sahip alanlar genel itibariyle eğimin fazla olduğu akarsulara yakın yerlerde görülmektedir. İyidere Havzası'nda heyelan duyarlılığının yüksek olduğu yerler aynı zamanda beşeri faaliyet ve unsurlarında en fazla olduğu alanlara karşılık gelmektedir. Özellikle havzanın aşağı çığırı hem insan faaliyetlerinin en fazla olduğu hem de heyelana karşı duyarlılığın yüksek olduğu kısımdır. Bu alanlarda duyarlılığın yüksek olmasında insan faaliyetleri yanında; çevresel bileşenler de etkili olmuştur.

İki değişkenli yöntemler ve çok değişkenli makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak üretilen duyarlılık sınıflarının alansal değerleri incelendiğinde; makine öğrenmesi yöntemleri ile elde edilen sonuçlarda ara duyarlılık sınıflarının (düşük, orta ve yüksek heyelan duyarlılığı sınıfları) alanları, diğer yöntemlerle elde edilenlerden dikkate değer oranda düşüktür. Bu durum makine öğrenmesi yöntemlerinin ikili çıktı (heyelan var ya da heyelan yok) ile çalışmasından kaynaklanmaktadır.

İyidere Havzası'nda büyük ve olağanüstü büyük alansal sınıfta heyelan tespit edilememiştir. Sahada bu alansal özelliklere sahip paleo-heyelanlar olabilir. Ancak çalışma kapsamında kullanılan malzeme dikkate alındığında orta ölçekli bir envanter üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu veriler İyidere Havzası'nda büyük ve olağanüstü büyük alansal sınıfta heyelanların varlığını belgelememiştir.

Arazi örtüsü sınıfları içerisinde en fazla heyelan tarım alanlarında tespit edilmiştir. Bu durumun arazi çalışmalarında tarım alanlarının ulaşılabilir ve buradaki

heyelanların kolay gözlenebilir oluşundan kaynaklandığı düşünülmemelidir. Aksine tarım arazilerindeki geçmiş heyelanları tespit etmek daha zordur. En büyük envanter kaynağı olan ortofotolarda doğal vejetasyona sahip (ormanlık) alanlardaki heyelanların sınırları daha net ayırt edilebilmektedir. Ayrıca çay bahçelerinde gerçekleşen heyelanların izleri yöre halkı tarafından çok hızlı bir şekilde silinmekte, yeniden tarım arazisine dönüştürülmektedir. Bu nedenle insan faaliyetlerinin bulunduğu alanlardaki heyelanların tespiti ulaşım açısından avantajlı, zamanlama açısından dezavantajlı bir durumdur. Tarım alanlarındaki heyelanları tespit etmeyi güçleştiren hususlara rağmen; envanterdeki heyelanların %43,48'i bu arazi örtüsü sınıfı içerisinde dir.

Geçmiş dönemde gerçekleşmiş ve envantere kayıt edilmiş heyelanlar ile günümüz arazi koşulları arasındaki ilişki değerlendirilmektedir. Geçmişte heyelanın gerçekleştiği zamanki arazi örtüsü ile günümüz arazi örtüsü bir olmayabilir. Günümüzde tarım alanı olan ancak heyelan gerçekleştiğinde orman arazi örtüsü olan envanter kayıtları olabilir. Bu durumda heyelan duyarlılığı modellenirken o envanter günümüz arazi örtüsü sınıfı ile yani tarım alanı olarak ilişkilendirilmektedir. Aynı durum yollara mesafe parametresi için de geçerli olabilir. Ancak çalışmanın tamamı göz önüne alındığında bu tip örneklerin münferit olduğu, genel sonucu etkilemeyeceği söylenebilir.

Yapılan çalışma kapsamında toprak testürü verisinin üretimi için araziden örnekler 0-30 cm derinlikten alınmıştır. Bu örnekler ile üretilen harita yalnızca üst toprağın tekstürel özellikleri hakkında bilgi vermektedir. Toprak derinliği ile tekstürel özellikler değişim gösterebilir. Bu nedenle farklı derinliklerden (30-60 cm, 60-90 cm gibi) alınacak örnekler, özellikle de heyelan yoğunluğunun yüksek olduğu yerlerde, daha detaylı bulguların elde edilmesini sağlayabilir. Bu bağlamda toprak testürü ile heyelanlar arasındaki ilişkinin daha detaylı anlaşılması amacıyla farklı derinliklerden toprak örneklerinin alınması önerilmektedir. Ancak havzanın yüksek kesimlerinde toprak çok sık olduğundan dolayı buralarda böylesi örnekleme mümkün olmayabilir.

Heyelan duyarlılığı çalışmaları, mekânsal olarak heyelan olayının gerçekleşme ihtimalinin yüksek olduğu yerlerin tespit edilmesini amaçlamaktadır. Duyarlılığın sınıflandırıldığı haritaların karar vericiler ve yöre halkı gibi paydaşlar için alacakları kararlarda bir altlık olması beklenmektedir. Bu çalışmanın da temel

motivasyonu budur. Ancak çalışma sonucunda tespit edilen yüksek duyarlı alanların beşeri faaliyet ve yapılardan tamamen arındırılması gibi bir beklenti yoktur. Çalışma kapsamında belirlenen yüksek duyarlı alanlarda yapılacak faaliyetlerin heyelan afeti açısından oldukça iyi değerlendirilmesi, daha detaylı ölçekte duyarlılığın çalışılması, önleyici eylemlerin ve afete hazırlıkların yapılması şarttır. Çalışma kapsamında elde edilen heyelan duyarlılığı haritaları düşünüldüğünde insan faaliyetlerinin kümelenildiği alanların zaten yüksek duyarlı alanlar olduğu görülmektedir. Bu durum bu alanların insan faaliyetlerin arındırılmasının imkânsız olduğunu göstermektedir.

Heyelan duyarlılığı haritalarının hepsinde Kalkandere İlçesi'nin doğusu ile Birlik, Gümüşören ve Bayırca yerleşmelerinin çevresi, havzanın aşağı çığırındaki nispeten düşük duyarlı alanlar olarak belirlenmiştir. Havza içerisinde yapılacak kamusal yatırımlarda bu alanlara öncelik verilmesi, heyelan afetinden korunma açısından değerlidir.

Çalışma kapsamında yağış ve deprensellik parametreleri teorik olarak değerlendirilmiş, heyelan duyarlılık modeline dahil edilmemiştir. İyidere Havzası'nda deprensellik heyelanları tetikleyen bir kuvvet değildir. Ayrıca havzada deprenselliği modele dahil edecek mekânsal veri kaydı da bulunmamaktadır. Havza içerisinde uzun dönemli ölçüm yapan yalnızca iki meteoroloji (İkizdere, Kalkandere) istasyonu vardır. Diğer istasyonların yalnızca 4 ile 6 yıllık kayıtları vardır. Bu kayıtlarda da eksiklikler vardır. Sınırlı sayıdaki istasyon verisini enterpole ederek üretilecek yağış haritasının gerçeği yansıtmayacağı açıktır. Açık kaynaklardan (worldclim, chelsa) sağlanabilen yağış haritalarının da mekânsal çözünürlüğü düşüktür. Bu nedenlerle yağış parametresi duyarlılık modeline dahil edilmemiş, yalnızca teorik değerlendirme yapılmıştır. Yıllık ortalama yağış, 0,1 mm'nin üzerinde yağışlı gün sayısının ortalaması, 10 mm'nin üzerinde yağışlı gün sayısının ortalaması ve 50 mm'nin üzerindeki yağışlı gün sayısının ortalama değerlerine bakıldığında havzanın aşağı çığırındaki istasyonlarda daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum da havzanın aşağı kesiminde daha fazla heyelanın gelişmesine etki edebilir.

Mekânsal olarak heyelana duyarlı alanları belirlemek, bu afetle mücadelenin yalnızca ilk adımını oluşturmaktadır. Yapılan arazi çalışmalarında görünen en önemli durum yöre halkının heyelan bilgisinin oldukça düşük olduğudur. Yörede heyelanla mücadele amacıyla yapılacak akademik ve mühendislik çalışmalarının yanı sıra, yöre

halkını heyelan afeti hususunda bilinçlendirmek de oldukça önem arz etmektedir.

İyidere Havzası sahip olduğu morfolojik karakteri ile genç, şekillenmeye devam eden bir arazidir (Şekil 3.14). Araziyi şekillendiren en önemli dış kuvvet ise flüvyal süreçlerdir. Havzada gerçekleşen heyelan olayları aslında arazinin jeomorfolojik evriminin bir sonucudur. Gerçekleşen heyelanlar üzerinde drenaj yoğunluğu, akarsulara mesafe ve flüvyal süreçlerin yarattığı yüksek eğimlerin etkin olduğu görülmüştür. Arazinin şekillenmesi açısından gayet sıradan olan heyelan olaylarının beşerî faaliyetler ile büyüklükleri ve sıklıkları artmış, afet boyutu kazanmıştır.

Heyelan duyarlılığı çalışmalarının en önemli veri kaynağı heyelan kayıtlarıdır. Bu kayıtların ilgili kurumlarca tutulması ve paylaşılması oldukça önem arz etmektedir. Çalışma kapsamında ilgili kurumlardan elde edilen heyelan kayıtlarının yetersiz olduğu görülmüştür. Özellikle heyelanlara ait mekânsal verilerin, haritaların doğru üretilmesi, yapılacak çalışmaların sonuçlarının doğruluğu açısından önemlidir. Bu kapsamda ilgili kurumların bu hususlara dikkat etmesi önerilmektedir. Ayrıca kurumlar heyelanları bir beşerî unsura zarar verdiğinde yani afet boyutu kazandığında kayıt altına almaktadır. Yalnızca bu kayıtlar üzerinden de heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi mümkün olmamaktadır. Bu bağlamda ilgili kurumların teknolojik fırsatları (Uzaktan algılama, insansız hava araçları vb.) kullanarak doğal ortamda gerçekleşen heyelanları kayıt altına alması yararlı olacaktır. Çünkü gerçekleşmiş her bir heyelan, gerçekleşecek yeni bir heyelan hakkında fikir verecektir. Bu nedenle yalnızca afet boyutu kazanan heyelanlar değil; hepsi arşivlenmelidir.

KAYNAKÇA

- Abedini, M., Ghasemyan, B. and Rezaei Mogaddam, M. H. (2017). Landslide susceptibility mapping in Bijar city, Kurdistan Province, Iran: a comparative study by logistic regression and AHP models. *Environmental Earth Sciences*, 76(8). <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6502-3>
- Achu, A. L., Aju, C. D. and Reghunath, R. (2020). Spatial modelling of shallow landslide susceptibility: a study from the southern Western Ghats region of Kerala, India. *Https://Doi.Org/10.1080/19475683.2020.1758207*, 26(2), 113–131. <https://doi.org/10.1080/19475683.2020.1758207>
- Aditama, M. R. (2019). The analysis of the landslide vulnerability sub watershed arus in banyumas regency. *Geographia Technica*, 14(2), 112–119. <https://doi.org/10.21163/GT>
- Adition, A., Kubota, T. and Shinohara, Y. (2018). Comparison of GIS-based landslide susceptibility models using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network in a tertiary region of Ambon, Indonesia. *Geomorphology*, 318, 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.06.006>
- AFAD. (2014). *Açıklamalı Afet Terimleri Sözlüğü*. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. <https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu>
- AFAD. (2015). *Heyelan-Kaya Düşmesi Temel Kılavuz*. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- AFAD. (2018). *Türkiye’de Afet Yönetimi ve Doğa Kaynaklı Afet İstatistikler*.
- Ağan, A., Altınbaş, A. F., Eroğlu, C. İ., Hamzaçebi, S., Aydın, Ü. ve Çetiner, L. (2017). Trabzon-Rize (Doğu Karadeniz Bölgesi) metalik maden aramaları. *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*2, 23, 53–65.
- Ağar, Ü. (1977). *Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) Bölgesinin Jeolojisi*. İstanbul Üniversitesi.
- Ahmad, I., Dar, M. A., Teka, A. H., Gebre, T., Gadissa, E. and Tolosa, A. T. (2019). Application of hydrological indices for erosion hazard mapping using Spatial Analyst tool. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(8). <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7614-x>
- Akçalı, E. (2011). *Heyelan-Yağış ilişkisinin modellenmesi ve analizi; Trabzon ili örneği*. Sakarya Üniversitesi.
- Akçalı, E., Erdoğan, B., Dağdeviren, M. ve Biroğlu, İ. (2016). Doğu Karadeniz Bölgesinde lokal heyelanların taşkına olan etkisini azaltma çalışması; geçirgen bentler. *Ulusal Heyelan Sempozyumu*, 151–164.
- Akçalı, E., Selek, B., Demir, E. ve Deniz, S. (2016). Doğu Karadeniz havzası taşkın ihbar sistemi ile heyelan erken uyarı sisteminin entegrasyonu. *Ulusal Heyelan Sempozyumu*, 137–150.
- Akgun, A., Dag, S. ve Bulut, F. (2008). Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*, 54(6), 1127–1143. <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0882-8>
- Akgün, A. ve Türk, N. (2010). İki ve çok değişkenli istatistik ve sezgisel tabanlı heyelan duyarlılık modellerinin karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) Örneği. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 34(2), 85–112.
- Akkemik, Ü. (2020). *Türkiye’nin Bütün Ağaçları ve Çalıları*. Türkiye İş Bankası Kültür

Yayımları.

- Al-Najjar, H. A. H., Pradhan, B., Kalantar, B., Sameen, M. I., Santosh, M. and Alamri, A. (2021). Landslide Susceptibility Modeling: An Integrated Novel Method Based on Machine Learning Feature Transformation. *Remote Sensing 2021, Vol. 13, Page 3281, 13(16)*, 3281. <https://doi.org/10.3390/RS13163281>
- Alan, İ., Balcı, V., Keskin, H., Altun, İ., Böke, N., Demirbağ, H., Arman, S., Elibol, H., Soyakıl, M., Kop, A. and Hanilçı, N. (2019). Çayeli (Rize) ve İspir (Erzurum) arasında kalan alanın tektonostratigrafik özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 158*, 1–29. <https://doi.org/10.19076/mta.65883>
- Alan, İ., Keskin, H., Altun, İ. E., Balcı, V., Böke, N., Arman, S., Elibol, H., Soyakıl, M., Demirbağ, H., Kop, A. ve Hanilçı, N. (2016). *Çayeli (Rize)-İspir (Erzurum) arasında kalan alanın jeolojisi (Rapor No:11859)*.
- Aleotti, P. and Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: Summary review and new perspectives. In *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. <https://doi.org/10.1007/s100640050066>
- Alin, A. (2010). Multicollinearity. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 2(3)*, 370–374. <https://doi.org/10.1002/WICS.84>
- Alp, E. A. (2019). Lojistik Regresyon Analizi. In S. Alp & E. Öz (Eds.), *Makine Öğrenmesinde Sınıflandırma Yöntemleri ve R Uygulamaları* (pp. 145–166). Nobel Yayın Dağıtım.
- Alp, S. (2019). Yapay Sinir Ağları. In S. Alp & E. Öz (Eds.), *Makine Öğrenmesinde Sınıflandırma Yöntemleri ve R Uygulamaları* (pp. 113–144). Nobel Yayın Dağıtım.
- Althuwaynee, O. F., Pradhan, B., Park, H. J. and Lee, J. H. (2014). A novel ensemble decision tree-based CHi-squared Automatic Interaction Detection (CHAID) and multivariate logistic regression models in landslide susceptibility mapping. *Landslides, 11(6)*, 1063–1078. <https://doi.org/10.1007/S10346-014-0466-0/FIGURES/7>
- Altun, L., Kara, Ö., Akgün, A., Babur, E. ve Kezik, U. (2016). Doğu Karadeniz Bölgesinde meydana gelen güncel heyelanlar ve olası çözüm önerileri. *Ulusal Heyelan Sempozyumu*, 489–504.
- Anbalagan, R. (1992). Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Engineering Geology, 32(4)*, 269–277. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(92\)90053-2](https://doi.org/10.1016/0013-7952(92)90053-2)
- Anonim. (2018). *Taşlıdere Havzası (Rize, Güneysu) heyelan duyarlılık haritası ve tehlike değerlendirme projesi*.
- Arabameri, A., Saha, S., Roy, J., Chen, W., Blaschke, T. and Bui, D. T. (2020). Landslide Susceptibility Evaluation and Management Using Different Machine Learning Methods in The Gallicash River Watershed, Iran. *Remote Sensing 2020, Vol. 12, Page 475, 12(3)*, 475. <https://doi.org/10.3390/RS12030475>
- Arca, D., Keskin Citiroglu, H. ve Tasoglu, I. K. (2019). A comparison of GIS-based landslide susceptibility assessment of the Satuk village (Yenice, NW Turkey) by frequency ratio and multi-criteria decision methods. *Environmental Earth Sciences, 78(3)*, 0. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8094-6>
- Ardos, M. ve Pekcan, N. (1997). *Jeomorfoloji Sözlüğü*. Çantay Kitabevi.
- Atalay, İ. (1992). *Genel Fiziki Coğrafya*. Ege Üniversitesi Basımevi.
- Atalay, İ. (2011a). *Toprak Oluşumu, Sınıflandırılması ve Coğrafyası*. Meta Basım ve Matbaacılık.
- Atalay, İ. (2011b). *Türkiye coğrafyası ve jeopolitiği*. Meta Basım ve Matbaacılık.

- Atalay, İ. (2013). *Doğa Bilimleri Sözlüğü*. Meta Basım ve Matbaacılık.
- Atalay, İ. (2016). Karadeniz Bölgesi'nde Sel ve Kütle Hareketleri. *Ulusal Heyelan Sempozyumu*, 87–104.
- Atalay, İ. (2005). Kuvaterner'deki iklim değişimlerinin Türkiye doğal ortamı üzerindeki etkileri. *Türkiye Kuvaterner Sempozyumu V*, 121–128.
- Atalay, İ. ve Mortan, K. (2011). *Türkiye Bölgesel Coğrafyası*. İnkılap Kitapevi.
- Atkinson, P. M. and Massari, R. (1998). Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in the central Apennines, Italy. *Computers and Geosciences*, 24(4), 373–385. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(97\)00117-9](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(97)00117-9)
- Avcı, V. (2016). Kanıt ağırlığı yöntemi ile Esence deresi havzasının (Bingöl) heyelan duyarlılık analizi. *The Journal of Academic Social Science Studies*, 3(Number: 44), 287–287. <https://doi.org/10.9761/jasss3347>
- Avcı, V. ve Sunkar, M. (2018). Bulancak'ta (Giresun) sel ve taşkın olaylarına neden olan Pazarsuyu, İncüvez, Kara ve Bulan derelerinin morfolojik analizi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 28(2), 15–41. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.460907>
- Ayalew, L. and Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1–2), 15–31. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.06.010>
- Bahrami, Y., Hassani, H. and Maghsoudi, A. (2020). Landslide susceptibility mapping using AHP and fuzzy methods in the Gilan province, Iran. *GeoJournal*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10162-y>
- Bai, S., Lü, G., Wang, J., Zhou, P. and Ding, L. (2011). GIS-based rare events logistic regression for landslide-susceptibility mapping of Lianyungang, China. *Environmental Earth Sciences*, 62(1), 139–149. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0509-3>
- Baltacı, H. (2010). *Doğu Karadeniz Bölgesi (Rize, Trabzon, Giresun) Heyelan-Yağış İlişkisinin İncelenmesi ve Minimum Eşik Değerlerinin Belirlenmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Bangroo, S. A., Najjar, G. R., Achin, E. and Truong, P. N. (2020). Application of predictor variables in spatial quantification of soil organic carbon and total nitrogen using regression kriging in the North Kashmir forest Himalayas. *Catena*, 193(September 2019), 104632. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104632>
- Besnard, A. G., La Jeunesse, I., Pays, O. and Secondi, J. (2013). Topographic wetness index predicts the occurrence of bird species in floodplains. *Diversity and Distributions*, 19(8), 955–963. <https://doi.org/10.1111/ddi.12047>
- Beven, K. J. and Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1), 43–69. <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
- Bhandari, R. K. (1987). Slope Instability in the Fragile Himalaya and Strategy for Development. *Indian Geotechnical Journal*, 275–325. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(89\)90843-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(89)90843-7)
- Bilgili, S. (2016). Rize ilinde tarım arazilerinde heyelan problemleri ve yapılan çalışmalar. *Ulusal Heyelan Sempozyumu*, 565–584.
- Bilgin, M. (2018). *Veri Biliminde Makine Öğrenmesi* (A. Yılmaz (ed.); 2nd ed.). Papatya Yayıncılık.
- Bonham-Carter, G. (1994). *Geographic information systems for geoscientists : modelling with GIS*. 417.

- Bouyoucos, G. J. (1951). A Recalibration of the Hydrometer Method for Making Mechanical Analysis of Soils1. *Agronomy Journal*, 43(9), 434–438. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ1951.00021962004300090005X>
- Brabb, E. E., Pampeyan, E. H. and Bonilla, M. G. (1972). Landslide susceptibility in San Mateo County, California. In *Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map* (Vol. 360). <http://pubs.usgs.gov/wri/1985/4075/report.pdf>
- Brohi, A. R., Aydeniz, A. ve Karaman, M. R. (1997). *Toprak Verimliliği*. Türk Hava Kurumu Basımevi.
- Brown, M. K. (2012). *Landslide Detection and Susceptibility Mapping Using Lidar and Artificial Neural Network Modeling: a Case Study in Glacially Dominated Cuyahoga River Valley, Ohio* (Issue December). Bowling Green State University.
- Budimir, M. E. A., Atkinson, P. M. and Lewis, H. G. (2015). A systematic review of landslide probability mapping using logistic regression. *Landslides*, 12(3), 419–436. <https://doi.org/10.1007/s10346-014-0550-5>
- Can, A., Dagdelenler, G., Ercanoğlu, M. and Sonmez, H. (2019). Landslide susceptibility mapping at Ovacık-Karabük (Turkey) using different artificial neural network models: comparison of training algorithms. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(1), 89–102. <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1034-3>
- Canoğlu, M. C. (2017). Deterministic landslide susceptibility assessment with the use of a new index (factor of safety index) under dynamic soil saturation: An example from Demirciköy watershed (Sinop/Turkey). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 12(2), 423–436. <https://www.researchgate.net/publication/316938853>
- Cao, C., Xu, P., Wang, Y., Chen, J., Zheng, L. and Niu, C. (2016). Flash flood hazard susceptibility mapping using frequency ratio and statistical index methods in coalmine subsidence areas. *Sustainability*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/su8090948>
- Capitani, M., Ribolini, A. and Bini, M. (2013). The slope aspect: A predisposing factor for landsliding? *Comptes Rendus - Geoscience*, 345(11–12), 427–438. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2013.11.002>
- Carrara, A. (1983). Multivariate models for landslide hazard evaluation. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 15(3), 403–426. <https://doi.org/10.1007/BF01031290>
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F. and Reichenbach, P. (1995). GIS Technology in Mapping Landslide Hazard. In *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards* (pp. 135–175). https://doi.org/10.1007/978-94-015-8404-3_8
- Cascini, L. (2008). Applicability of landslide susceptibility and hazard zoning at different scales. *Engineering Geology*, 102(3–4), 164–177. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.016>
- Çevik, E. and Topal, T. (2003). GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental Geology*, 44(8), 949–962. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0838-6>
- Chau, K. T., Tang, Y. F. and Wong, R. (2004). GIS Based rockfall hazard map for Hong Kong. *Rock Mechanics*, 41(3), 1–6.
- Chauhan, S., Sharma, M. and Arora, M. K. (2010). Landslide susceptibility zonation of the Chamoli region, Garhwal Himalayas, using logistic regression model. *Landslides*, 7(4), 411–423. <https://doi.org/10.1007/s10346-010-0202-3>
- Chauhan, S., Sharma, M., Arora, M. K. and Gupta, N. K. (2010). Landslide susceptibility zonation through ratings derived from artificial neural network. *International Journal*

- of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(5), 340–350. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.04.006>
- Chen, T., Niu, R. and Jia, X. (2016). A comparison of information value and logistic regression models in landslide susceptibility mapping by using GIS. *Environmental Earth Sciences*, 75(10), 1–16. <https://doi.org/10.1007/S12665-016-5317-Y/TABLES/4>
- Chen, W., Chai, H., Sun, X., Wang, Q., Ding, X. and Hong, H. (2016). A GIS-based comparative study of frequency ratio, statistical index and weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(3). <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2150-7>
- Chen, W., Hong, H., Panahi, M., Himan, S., Wang, Y., Shrizadi, A. and Pirasted, S. (2019). Spatial prediction of landslide susceptibility using GIS-Based data mining techniques of ANFIS with Whale Optimization Algorithm (WOA) and Grey Wolf Optimizer (GWO). *Applied Sciences*, 9.
- Chen, W., Sun, Z. and Han, J. (2019). Landslide Susceptibility Modeling Using Integrated Ensemble Weights of Evidence with Logistic Regression and Random Forest Models. *Applied Sciences*, 9(1), 171. <https://doi.org/10.3390/APP9010171>
- Chiba, T., Kaneta, S. and Suzuki, Y. (2008). Red relief image map: New visualization method for three dimensional data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 1071–1076.
- Choi, J., Oh, H. J., Lee, H. J., Lee, C. and Lee, S. (2012). Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models using ASTER images and GIS. *Engineering Geology*, 124(1), 12–23. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.09.011>
- Ciabatta, L., Camici, S., Brocca, L., Ponziani, F., Stelluti, M., Berni, N. and Moramarco, T. (2016). Assessing the impact of climate-change scenarios on landslide occurrence in Umbria Region, Italy. *Journal of Hydrology*, 541, 285–295. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.007>
- Cihangir, M. E. (2018). *Kelkit çayı vadisinde (Umurca-Koyulhisar arası) heyelan riskinin belirlenmesi*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Üniversitesi.
- Çilek, A., Berberoğlu, S., Ünal Çilek, M. ve Dönmez, C. (2019). Topografik özellikleri kullanarak arazi morfolojisi analizi: Uşak Ulubey Kayonu örneği. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 3, 77–88. <https://doi.org/10.30516/bilgesci.645588>
- Cohen, J. M., Ernst, K. C., Lindblade, K. A., Vulule, J. M., John, C. C. and Wilson, M. L. (2010). Local topographic wetness indices predict household malaria risk better than land-use and land-cover in the western Kenya highlands. *Malaria Journal*, 9, 1–10.
- Collison, A., Wade, S., Griffiths, J. and Dehn, M. (2000). Modelling the impact of predicted climate change on landslide frequency and magnitude in SE England. *Engineering Geology*, 55(3), 205–218. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(99\)00121-0](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(99)00121-0)
- Comert, R., Avdan, U., Gorum, T. and Nefeslioglu, H. A. (2019). Mapping of shallow landslides with object-based image analysis from unmanned aerial vehicle data. *Engineering Geology*, 260(February), 105264. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105264>
- Condon, L. E. and Maxwell, R. M. (2015). Evaluating the relationships between topography and groundwater using outputs from a continental-scale integrated hydrology model. *Water Resources Research*, 51, 6602–6621. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1969.tb04897.x>
- Conforti, M., Aucelli, P. P. C., Robustelli, G. and Scarciglia, F. (2011). Geomorphology and

- GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy). *Natural Hazards*, 56(3), 881–898. <https://doi.org/10.1007/s11069-010-9598-2>
- Conforti, M., Robustelli, G., Muto, F. and Critelli, S. (2012). Application and validation of bivariate GIS-based landslide susceptibility assessment for the Vittravo river catchment (Calabria, south Italy). *Natural Hazards*, 61(1), 127–141. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9781-0>
- Conoscenti, C., Ciaccia, M., Caraballo-Arias, n A., Gomez-Gutierrez, A., Rotigliano, E., and Agnesi, V. (2014). Assessment of susceptibility to earth-flow landslide using logistic regression and multivariate adaptive regression splines: A case of the Belice River basin (western Sicily, Italy). *Geomorphology*, 242, 49–64. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.09.020>
- Conoscenti, Christian, Rotigliano, E., Cama, M., Caraballo-Arias, N. A., Lombardo, L. and Agnesi, V. (2016). Exploring the effect of absence selection on landslide susceptibility models: A case study in Sicily, Italy. *Geomorphology*, 261, 222–235. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.03.006>
- Cornforth, D. H. (2004). *Landslides in Practice: Investigation, Analysis and Remedial/Preventative Options in Soils*. John Wiley & Sons Ltd.
- Costanzo, D., Rotigliano, E., Irigaray, C., Jiménez-Perálvarez, J. D. and Chacón, J. (2012). Factors selection in landslide susceptibility modelling on large scale following the gis matrix method: Application to the river Beiro basin (Spain). *Natural Hazards and Earth System Science*, 12(2), 327–340. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-327-2012>
- Cotecchia, V. (1978). Systematic reconnaissance mapping and registration of slope movements. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 17(1), 5–37. <https://doi.org/10.1007/BF02634670>
- Cox, D. R. and Snell, E. J. (1981). *Applied Statistics Principles and Examples*. Chapman & Hall.
- Cruden, D. M. and Varnes, D. J. (1996). Landslide Types and Process. In *Landslides: investigation and mitigation*.
- Cürebal, İ. (2004). Madra Çayı havzasının hidrografik özelliklerine sayısal yaklaşım. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(11), 11–24.
- Cürebal, İ. (2006). Strahler yöntemiyle komşu akarsu havzalarının karşılaştırmalı analizi: Mıhlı ve Şahin Dereleri. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(2), 71–84.
- Cürebal, İ. ve Erginal, A. E. (2007). Mıhlı Çayı Havzası'nın jeomorfolojik özelliklerinin jeomorfik indislerle analizi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(19), 126–135. www.e-sosder.com
- Dağ, S. ve Bulut, F. (2012). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına bir örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36(1), 35–62.
- Dağdelenler, G. (2013). *Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde örneklem ve doğrulama stratejilerinin değerlendirilmesi (Gelibolu Yarımadası'nın doğu kesimi)*. Hacettepe Üniversitesi.
- Dai, F. C. and Lee, C. F. (2002). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42(3–4), 213–228. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00087-3](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00087-3)
- De Reu, J., Bourgeois, J., Bats, M., Zwertvaegher, A., Gelorini, V., De Smedt, P., Chu, W., Antrop, M., De Maeyer, P., Finke, P., Van Meirvenne, M., Verniers, J. and Crombé, P. (2013a). Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes.

Geomorphology, 186, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.12.015>

- De Reu, J., Bourgeois, J., Bats, M., Zwertvaegher, A., Gelorini, V., De Smedt, P., Chu, W., Antrop, M., De Maeyer, P., Finke, P., Van Meirvenne, M., Verniers, J. and Crombé, P. (2013b). Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. *Geomorphology*, 186, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.12.015>
- Demir, G., Aytekin, M., Çakır, T. ve İkizler, S. B. (2006). Rize-Pazar'da Bir Stabilité Analizi. *Zemin Mekaniđi Ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi*.
- Demiralay, İ. (2010). *Toprak Fiziksel Analizleri*. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:143.
- Demirbağ, H., Alan, İ., Keskin, H., Altun, İ. E., Balcı, V., Elibol, H., Böke, N., Soyakıl, M. ve Arman, S. (2018). *Türkiye Jeoloji Haritaları - 1:100.000 Ölçekli Artvin F45 Paftası*. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Derin, L. ve Ercanoğlu, M. (2018). Heyelan duyarlılığı, tehlikesi ve riski ile ilgili çalışmalarında Türkiye ve Avrupa Birliği Ülkelerinin Karşılaştırılması. *Afet ve Risk Dergisi*, 1(1), 26–38.
- Devkota, K. C., Regmi, A. D., Pourghasemi, H. R., Yoshida, K., Pradhan, B., Ryu, I. C., Dhital, M. R. and Althuwaynee, O. F. (2013). Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling-Narayanghat road section in Nepal Himalaya. *Natural Hazards*, 65(1), 135–165. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0347-6>
- Dilts, T. (2015). *Topography Tools for ArcGIS 10.3 and earlier*.
- Dixon, N. and Brook, E. (2007). Impact of predicted climate change on landslide reactivation: Case study of Mam Tor, UK. *Landslides*, 4(2), 137–147. <https://doi.org/10.1007/s10346-006-0071-y>
- Dokuz, A. (2000). *Yusufeli (Artvin) yöresinin jeolojisi, jeotektoniği, magmatik-metamorfik kayaçların jeokimyası ve petrojenezi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Dönmez, Y. (1985). *Bitki Coğrafyası*. İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Yayınları No.3213.
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., Marquéz, J. R. G., Gruber, B., Lafourcade, B., Leitão, P. J., Münkemüller, T., McClean, C., Osborne, P. E., Reineking, B., Schröder, B., Skidmore, A. K., Zurell, D. and Lautenbach, S. (2013). Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), 27–46. <https://doi.org/10.1111/J.1600-0587.2012.07348.X>
- Dou, J., Yamagishi, H., Pourghasemi, H. R., Yunus, A. P., Song, X., Xu, Y. and Zhu, Z. (2015). An integrated artificial neural network model for the landslide susceptibility assessment of Osado Island, Japan. *Natural Hazards*, 78(3), 1749–1776. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1799-2>
- Dragičević, N., Karleuša, B. and Ožanić, N. (2019). Different approaches to estimation of drainage density and their effect on the Erosion Potential Method. *Water*, 11(3), 1–14. <https://doi.org/10.3390/w11030593>
- Drennon, C. B. and Schleining, W. G. (1975). Landslide Hazard Mapping on a Shoestring. *Journal of Surveying and Mapping Division*, 101(1), 107–114.
- Dube, F., Nhapi, I., Murwira, A., Gumindoga, W., Goldin, J. and Mashauri, D. A. (2014). Potential of weight of evidence modelling for gully erosion hazard assessment in Mbire District - Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 67–69, 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2014.02.002>

- Duman, T. Y., Nefeslioglu, H. A., Çan, T., Olgun, Ş., Durmaz, S., Hamzaçebi, S. and Çörekçioğlu, Ş. (2007). *1:500.000 Ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Haritası-Trabzon Paftası*. MTA Genel Müdürlüğü.
- Eker, R. and Aydın, A. (2014). Assessment of forest road conditions in terms of landslide susceptibility: A case study in Yığılca Forest Directorate (Turkey). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(2), 281–290. <https://doi.org/10.3906/tar-1303-12>
- Elmacı, H., Tekin, S. ve Ünsal, N. (2017). Coğrafi Bilgi Sistemleri tabanlı mantıksal regresyon yöntemi kullanılarak Çubuk-Kalecik (Ankara) Şabanözü (Çankırı) arasının heyelan duyarlılık değerlendirilmesi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 155, 165–190.
- EM-DAT. (2020). *The International Disaster Database*. <https://www.emdat.be/database>
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H. and Çan, T. (2018). Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3229–3275. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>
- Ercanoglu, M. (2005). Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region, Turkey) by artificial neural networks. *Natural Hazards and Earth System Science*, 5(6), 979–992. <https://doi.org/10.5194/nhess-5-979-2005>
- Ercanoglu, M. and Gokceoglu, C. (2004). Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, 75(3–4), 229–250. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.06.001>
- Erener, A. ve Düzgün, H. S. B. (2007). Heyelan analizlerinde coğrafi ağırlıklandırılmış regresyon (CAR) metodu. *Türkiye Bilimsel Harita ve Teknik Kurultayı*.
- Ergene, A. (1997). *Toprak Biliminin Esasları*. Öz Eğitim Basın Yayın Dağıtım.
- Erinç, S. (2015). *Jeomorfoloji I*. DER Yayınları.
- Ermini, L., Catani, F. and Casagli, N. (2005). Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology*, 66(1-4 SPEC. ISS.), 327–343. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.09.025>
- Ersayın, K. (2016). *Kızılırmak Deltası'nda ekolojik hassasiyet ve risk değerlendirmesi*. Balıkesir Üniversitesi.
- Ertek, T. A. (2018). Toprak Coğrafyası. In B. Gönençgil (Ed.), *Genel Fiziki Coğrafya* (pp. 295–327). Nobel Yayın Dağıtım.
- Ertuğrul, E. T., Mert, A. and Oğurlu, İ. (2017). Mapping habitat suitabilities of some wildlife species in Burdur Lake Basin. *Turkish Journal of Forestry | Türkiye Ormançılık Dergisi*, 18(2), 149–154. <https://doi.org/10.18182/tjf.330950>
- Evcimen, Ö. ve Karslı, O. (2012). İkizdere Plütону'nun (KD-Türkiye) U-Pb jeokronolojisi, petrolojisi ve jeodinamik önemi. *65. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 366–367.
- Fan, D., Cui, X. M., Yuan, D. B., Wang, J., Yang, J. and Wang, S. (2011). Weight of evidence method and its applications and development. *Procedia Environmental Sciences*, 11(PART C), 1412–1418. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.12.212>
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E. and Savage, W. Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102(3–4), 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022>
- Fernández, T., Irigaray, C., El Hamdouni, R. and Chacón, J. (2003). Methodology for landslide susceptibility mapping by means of a GIS. Application to the contraviesa area (Granada, Spain). *Natural Hazards*, 30(3), 297–308. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000007092.51910.3f>
- Filiz, M., Avcı, H. ve Usta, P. (2011). Heyelanların yerleşim alanlarına etkilerinin

- incelenmesi (Rize-Gündoğdu örneği). *Engineering Sciences*, 6(4), 1200–1211.
- Fritsch, S., Guenther, F. and Wright, M. N. (2019). *neuralnet: Training of Neural Networks* (R package version 1.44.2). <https://cran.r-project.org/package=neuralnet>
- Froude, M. J. and Petley, D. N. (2018). Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(8), 2161–2181. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018>
- Galli, M., Ardizzone, F., Cardinali, M., Guzzetti, F., & Reichenbach, P. (2008). Comparing landslide inventory maps. *Geomorphology*, 94(3–4), 268–289. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.023>
- García-Rodríguez, M. J. and Malpica, J. A. (2010). Assessment of earthquake-triggered landslide susceptibility in El Salvador based on an artificial neural network model. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(6), 1307–1315. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-1307-2010>
- Gedik, A., Ercan, T., Korkmaz, S. ve Karataş, S. (1992). Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin arasında (Doğu Kardeniz) yer alan mağmatik kayaların petrolojisi ve Doğu Pontidlerdeki bölgesel yayılımları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 35, 15–38.
- Gemitzi, A., Falalakis, G., Eskioglou, P. and Petalas, C. (2011). Evaluating landslide susceptibility using environmental factors, fuzzy membership functions and GIS. *Global Nest Journal*, 13(1), 28–40. <https://doi.org/10.30955/gnj.000734>
- Gökçe, O., Özden, Ş. ve Demir, A. (2008). *Türkiye’de Afetlerin Mekansal ve İstatiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri*. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü.
- Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni*, 23, 189–206.
- Gokceoglu, C. and Sezer, E. (2009). A statistical assessment on international landslide literature (1945-2008). *Landslides*, 6(4), 345–351. <https://doi.org/10.1007/s10346-009-0166-3>
- Gokceoglu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H. A., Duman, T. Y. and Can, T. (2005). The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology*, 81(1), 65–83. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.07.011>
- Gómez, H. and Kavzoglu, T. (2005). Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology*, 78(1–2), 11–27. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.10.004>
- Görçelioğlu, E. (1991). Bitki örtüsünün yamaç ve şev stabilitesine etkileri. In *Türkiye I. Ulusal Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (pp. 5–21).
- Görüm, T. (2006). *Coğrafi bilgi sistemi ve istatistiksel yöntemler kullanılarak heyelan duyarlılık analizi: Melen Boğazı ve yakın çevresi*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Görüm, T. and Fidan, S. (2021). Spatiotemporal variations of fatal landslides in Turkey. *Landslides*, 18(5), 1691–1705. <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01580-7>
- Gorunescu, F. (2011). *Data Mining Concepts, Models and Techniques*. Springer.
- Gray, D. H. (1994). Influence of vegetation on the stability of slopes. In D. H. Barker (Ed.), *Vegetation and Slopes* (pp. 2–25). Thomas Telford Publishing.
- Gray, D. H. and Leiser, A. T. (1982). Biotechnical Slope Protection and Erosion Control. In *Krieger Publishing*. <https://doi.org/10.1097/00010694-198302000-00008>

- Greenbaum, D., Tutton, M., Bowker, M. R., Browne, T. J., Buleka, J., Greally, K. B., Kuna, G., McDonald, A. J. W., Marsh, S. H., Northmore, K. H. and O'Connor, E. A. (1995). *Rapid Methods of Landslide Hazard Mapping: Papua New Guinea Case Study*. <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/9967>
- Gülsoy, S. ve Çıvğa, A. (2016). Diken ardıç (*Juniperus oxycedrus* L. subsp. *oxycedrus*) kozalaklarının uçucu yağ özellikleri ve çevresel faktörlerle ilişkileri. *Turkish Journal of Forestry*, 17(2), 142. <https://doi.org/10.18182/tjf.83849>
- Güney, C. O., Özkan, K. ve Şentürk, Ö. (2015). Antalya-Manavgat yöresi ormanlarında tutuşma riskinin coğrafi dağılım modellemesi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 66(2), 459–470. <https://doi.org/10.17099/jffiu.42696>
- Guo, C., Montgomery, D. R., Zhang, Y., Wang, K. and Yang, Z. (2015). Quantitative assessment of landslide susceptibility along the Xianshuihe fault zone, Tibetan Plateau, China. *Geomorphology*, 248, 93–110. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.07.012>
- Güven, İ. H. (1990). *Doğu Karadeniz Bölgesi'nin 1/100.000 ölçekli kompilasyon çalışması*.
- Güven, İ. H. (1993). *Doğu Pontidler'in jeolojisi ve 1/250.000 ölçekli kompliasyonu*.
- Güven, İ. H. (1998a). *Türkiye Jeoloji Haritaları - 1:100.000 Ölçekli Tortum D31 Paftası*. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Güven, İ. H. (1998b). *Türkiye Jeoloji Haritaları - 1:100.000 Ölçekli Trabzon C30 ve D30 Paftaları*. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P. and Carrara, A. (2000). Comparing landslide maps: A case study in the upper Tiber River basin, central Italy. *Environmental Management*, 25(3), 247–263. <https://doi.org/10.1007/s002679910020>
- Guzzetti, Fausto, Carrara, A., Cardinali, M. and Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181–216. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00078-1)
- Guzzetti, Fausto, Mondini, A. C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M. and Chang, K. T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112(1–2), 42–66. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001>
- Guzzetti, Fausto, Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M. and Galli, M. (2006). Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology*, 81(1–2), 166–184. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.04.007>
- Harmouzi, H., Nefeslioglu, H. A., Rouai, M., Sezer, E. A., Dekayir, A. and Gokceoglu, C. (2019). Landslide susceptibility mapping of the Mediterranean coastal zone of Morocco between Oued Laou and El Jebha using artificial neural networks (ANN). *Arabian Journal of Geosciences*, 12(22), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4892-0>
- Hasekioğullari, G. D. and Ercanoglu, M. (2012). A new approach to use AHP in landslide susceptibility mapping: A case study at Yenice (Karabuk, NW Turkey). *Natural Hazards*, 63(2), 1157–1179. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0218-1>
- Hasekioğulları. (2010). *Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde parametre etkilerinin değerlendirilmesi*. Hacettepe Üniversitesi.
- Havenith, H. B., Strom, A., Caceres, F. and Pirard, E. (2006). Analysis of landslide susceptibility in the Suusamy region, Tien Shan: Statistical and geotechnical approach. *Landslides*, 3(1), 39–50. <https://doi.org/10.1007/s10346-005-0005-0>
- Heckman, K. and Rasmussen, C. (2011). Lithologic controls on regolith weathering and mass flux in forested ecosystems of the southwestern USA. *Geoderma*, 164, 99–111. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.05.003>

- Hemasinghe, H., Rangali, R. S. S., Deshapriya, N. L. and Samarakoon, L. (2018). Landslide susceptibility mapping using logistic regression model (a case study in Badulla District, Sri Lanka). *Procedia Engineering*, 212, 1046–1053. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.135>
- Hong, H., Chen, W., Xu, C., Youssef, A. M., Pradhan, B. and Tien Bui, D. (2017). Rainfall-induced landslide susceptibility assessment at the Chongren area (China) using frequency ratio, certainty factor, and index of entropy. *Geocarto International*, 32(2), 139–154. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1130086>
- Hong, Y., Adler, R. and Huffman, G. (2007). Use of satellite remote sensing data in the mapping of global landslide susceptibility. *Natural Hazards*, 43(2), 245–256. <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9104-z>
- Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions American Geophysical Union*, 13(1), 350–361. <https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>
- Hoşgören, M. Y. (2014). *Jeomorfoloji terimleri sözlüğü*. Çantay Kitabevi.
- Hou, E., Wang, J. and Chen, W. (2018). A comparative study on groundwater spring potential analysis based on statistical index, index of entropy and certainty factors models. *Geocarto International*, 33(7), 754–769. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1299801>
- Huabin, W., Gangjun, L., Weiya, X. and Gonghui, W. (2005). GIS-based landslide hazard assessment: An overview. *Progress in Physical Geography*, 29(4), 548–567. <https://doi.org/10.1191/0309133305pp462ra>
- Hungr, O., Leroueil, S. and Picarelli, L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2), 167–194. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>
- Hürlimann, M., Heping, S., Gonzalez, M. and Pinyol, J. (2019). Will future land cover changes decrease the landslide susceptibility in high mountain areas? Inventory and modelling results from the Val d’Aran, Pyrenees. *EGU General Assembly 2019*.
- IAEG. (1976). *Engineering Geological Maps: A Guide to Their Preparation*. UNESCO Press.
- Iliä, I. and Tsangaratos, P. (2016). Applying weight of evidence method and sensitivity analysis to produce a landslide susceptibility map. *Landslides*, 13(2), 379–397. <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0576-3>
- Intrarawichian, N. and Dasananda, S. (2010). Analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping in lower Mae Chaem watershed, Northern Thailand. *Suranaree Journal of Science & Technology*, 17(3), 277–292.
- Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H. R., Rezaeian, J. and Sattarian, A. (2014). GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(4), 909–926. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0464-0>
- Jenks, G. F. (1967). The data model concept in statistical mapping. *Int. Yearbook Cartogr.*, 186–190.
- Jenness, J. (2006). Topographic Position Index (TPI) v. 1.2. In *Jennes Enterprises*. <http://esc-web.lib.cbs.dk/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=7089103&site=ehost-live&scope=site>
- Kadirhodjaev, A., Kadavi, P. R., Lee, C. W. and Lee, S. (2018). Analysis of the relationships between topographic factors and landslide occurrence and their application to landslide susceptibility mapping: a case study of Mingchukur, Uzbekistan. *Geosciences Journal*, 22(6), 1053–1067. <https://doi.org/10.1007/s12303-018-0052-x>
- Kalantar, B., Pradhan, B., Amir Naghibi, S., Motevalli, A. and Mansor, S. (2018). Assessment

- of the effects of training data selection on the landslide susceptibility mapping: a comparison between support vector machine (SVM), logistic regression (LR) and artificial neural networks (ANN). *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 49–69. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1407368>
- Kamp, U., Growley, B. J., Khattak, G. A. and Owen, L. A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping for the 2005 Kashmir earthquake region. *Geomorphology*, 101(4), 631–642. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.03.003>
- Kanungo, D. P., Arora, M. K., Sarkar, S. and Gupta, R. P. (2006). A comparative study of conventional, ANN black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas. *Engineering Geology*, 85(3–4), 347–366. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.03.004>
- Karsli, F., Atasoy, M., Yalcin, A., Reis, S., Demir, O. and Gokceoglu, C. (2009). Effects of land-use changes on landslides in a landslide-prone area (Ardesen, Rize, NE Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 156(1–4), 241–255. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0481-5>
- Kavzoglu, T., Kutlug Sahin, E. and Colkesen, I. (2015). An assessment of multivariate and bivariate approaches in landslide susceptibility mapping: a case study of Duzkoy district. *Natural Hazards*, 76(1), 471–496. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1506-8>
- Kavzoglu, T., Sahin, E. K. and Colkesen, I. (2014). Landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis, support vector machines, and logistic regression. *Landslides*, 11(3), 425–439. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0391-7>
- Kaya, A., Demirbaş, C. ve Dağ, S. (2018). Gündoğan (Ardeşen-Rize) Köyü Yerleşim Alanındaki Yamaç Duraysızlığının Jeoteknik Açından İncelenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 90(464), 221–235. <https://doi.org/10.21324/dacd.417920>
- Kayastha, P., Dhital, M. R. and De Smedt, F. (2013). Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal. *Computers and Geosciences*, 52, 398–408. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.11.003>
- Kaynak, G. (2007). *Uzunkaya (Rize) Heyelanının Geoteknik İncelenmesi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Keller, E. A. and Pinter, N. (2002). *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape* (2nd ed.). Prentice-Hall.
- Kim, D. (1999). Normalization methods for input and output vectors in Backpropagation neural networks. *International Journal of Computer Mathematics*, 71(1–2), 161–171. <https://doi.org/10.1080/00207169908804800>
- Kim, H. G., Lee, D. K., Park, C., Kil, S., Son, Y. and Park, J. H. (2015). Evaluating landslide hazards using RCP 4.5 and 8.5 scenarios. *Environmental Earth Sciences*, 73(3), 1385–1400. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3775-7>
- King, F. H. (1899). *Principles and Conditions of the Movements of Ground Water*. U.S. Geological Survey.
- Kitutu, M. G., Muwanga, A., Poesen, J. and Deckers, J. A. (2009). Influence of soil properties on landslide occurrences in Bududa district, Eastern Uganda. *African Journal of Agricultural Research*, 4(7), 611–620.
- Kopecky, M. and Cízková, S. (2010). Using topographic wetness index in vegetation ecology: does the algorithm matter? *Applied Vegetation Science*, 13(4), 450–459. <https://doi.org/10.1111/J.1654-109X.20W.01083.X>
- Kornejady, A., Pourghasemi, H. R. and Afzali, S. F. (2018). Presentation of RFFR New Ensemble Model for Landslide Susceptibility Assessment in Iran. In *Advances in*

Natural and Technological Hazards Research (pp. 123–143). Springer International Publishing AG. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77377-3_7

- Kramm, T., Hoffmeister, D., Curdt, C., Maleki, S., Khormali, F. and Kehl, M. (2017). Accuracy Assessment of Landform Classification Approaches on Different Spatial Scales for the Iranian Loess Plateau. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 2017, Vol. 6, Page 366, 6(11), 366. <https://doi.org/10.3390/IJGI6110366>
- Kumar, S. and Gupta, S. (2016). Geospatial approach in mapping soil erodibility using CartoDEM – a case study in hilly watershed of Lower Himalayan Range. *Journal of Earth System Science*, 125(7), 1463–1472. <https://doi.org/10.1007/s12040-016-0738-2>
- Lay, U. S., Jibrin, G., Tijani, I. and Pradhan, B. (2017). Geomorphometric analysis of landform pattern using topographic position and ASTER GDEM. *Global Civil Engineering Conference*, 1139–1160. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-8016-6>
- Lee, C. T., Huang, C. C., Lee, J. F., Pan, K. L., Lin, M. L. and Dong, J. J. (2008). Statistical approach to earthquake-induced landslide susceptibility. *Engineering Geology*, 100(1–2), 43–58. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.004>
- Lee, E. M. and Jones, D. K. C. (2004). *Landslide Risk Assessment*. Thomas Telford Publishing.
- Lee, M.-J. (2016). Rainfall and Landslide Correlation Analysis and Prediction of Future Rainfall Base on Climate Change. In *Geohazard Caused by Human Activity* (Issue 89). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/57353>
- Lee, S., Choi, J. and Min, K. (2004). Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun, Korea. *International Journal of Remote Sensing*, 25(11), 2037–2052. <https://doi.org/10.1080/01431160310001618734>
- Lee, S. and Min, K. (2001). Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental Geology*, 40(9), 1095–1113. <https://doi.org/10.1007/s002540100310>
- Lee, S. and Talib, J. A. (2005). Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental Geology*, 47(7), 982–990. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-1228-z>
- Lee, S. (2005). Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(7), 1477–1491. <https://doi.org/10.1080/01431160412331331012>
- Lee, S., Choi, J. and Min, K. (2002). Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model. *Environmental Geology*, 43(1–2), 120–131. <https://doi.org/10.1007/s00254-002-0616-x>
- Lee, S., and Dan, N. T. (2005). Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: focus on the relationship between tectonic fractures and landslides. *Environmental Geology*, 48(6), 778–787. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-0019-x>
- Lee, S. and Pradhan, B. (2006). Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island, Malaysia. *Journal of Earth System Science*, 115(6), 661–672. <https://doi.org/10.1007/s12040-006-0004-0>
- Lee, S., Ryu, J. H., Min, K. and Won, J. S. (2003). Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural network. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28(12), 1361–1376. <https://doi.org/10.1002/esp.593>
- Lee, S. and Sambath, T. (2006). Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environmental Geology*, 50(6), 847–855. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0256-7>
- Leoni, L. (2008). *Shallow landslides triggered by rainfall: integration between ground-based*

weather radar and slope stability models in near-real time. [Università degli Studi di Firenze Facoltà]. <https://core.ac.uk/download/pdf/301562848.pdf>

- Ließ, M., Glaser, B. and Huwe, B. (2012). Uncertainty in the spatial prediction of soil texture: Comparison of regression tree and Random Forest models. *Geoderma*, 170, 70–79. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2011.10.010>
- Lindsay, J. B. (2016). Whitebox GAT: A case study in geomorphometric analysis. In *Computers and Geosciences* (Vol. 95). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.07.003>
- Lutgens, F. K., Tarbuck, E. J. and Tasa, D. (2017). *Genel Jeoloji Temel Kavramlar*. Nobel Yayın Dağıtım.
- Ma, H.-S. (1994). Studies on Development of Prediction Model of Landslide Hazard and Its Utilization. *Journal of Korean Society of Forest Science*, 83(2), 175–190.
- Mahalingam, R., Olsen, M. J. and O'Banion, M. S. (2016). Evaluation of landslide susceptibility mapping techniques using lidar-derived conditioning factors (Oregon case study). *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(6), 1884–1907. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1172520>
- Malik, M. I., Bhat, M. S. and Kuchay, N. A. (2011). Watershed based drainage morphometric analysis of Lidder catchment in Kashmir valley using geographical information system. *Recent Research in Science and Technology*, 3(4), 118–126.
- Małka, A. (2021). Landslide susceptibility mapping of Gdynia using geographic information system-based statistical models. In *Natural Hazards* (Vol. 107, Issue 1). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04599-8>
- Mallick, J., Singh, R. K., AlAwadh, M. A., Islam, S., Khan, R. A. and Qureshi, M. N. (2018). GIS-based landslide susceptibility evaluation using fuzzy-AHP multi-criteria decision-making techniques in the Abha Watershed, Saudi Arabia. *Environmental Earth Sciences*, 77(7), 1–25. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7451-1>
- Mancini, F., Ceppi, C. and Ritrovato, G. (2010). GIS and statistical analysis for landslide susceptibility mapping in the Daunia area, Italy. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(9), 1851–1864. <https://doi.org/10.5194/nhess-10-1851-2010>
- Mandal, S. and Mondal, S. (2018). *Statistical Approaches for Landslide Susceptibility Assessment and Prediction*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93897-4>
- Mater, B. (2004). *Toprak Coğrafyası*. Çantay Kitabevi.
- Mehnatkesh, A., Ayoubi, S., Jalalian, A. and Sahrawat, K. L. (2013). Relationships between soil depth and terrain attributes in a semi arid hilly region in western Iran. *Journal of Mountain Science*, 10(1), 163–172. <https://doi.org/10.1007/s11629-013-2427-9>
- Menteşe, E. Y. (2009). *CBS Ortamında Gerçeğe Yakın Zamanlı Heyelan Tahmini-Rize Örneği*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Menteşe, E. Y., Erturaç, K. ve Özcan, O. (2009). Rize ili genelinde heyelan tehlikesi altında bulunan bölgelerin kullanım türlerinin belirlenmesi. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, 163.
- Mert, A. ve Kıraç, A. (2017). Isparta-Sütçüler Yöresinde Anatololacerta danfordi (Günter, 1876)'nin Habitat Uygunluk Haritalaması. *Bilge Uluslararası Fen ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 16–22.
- Meten, M., PrakashBhandary, N. and Yatabe, R. (2015). Effect of Landslide Factor Combinations on the Prediction Accuracy of Landslide Susceptibility Maps in the Blue Nile Gorge of Central Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*, 2(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s40677-015-0016-7>

- Meusburger, K. and Alewell, C. (2008). Impacts of anthropogenic and environmental factors on the occurrence of shallow landslides in an alpine catchment (Urseren Valley, Switzerland). *Natural Hazards and Earth System Science*, 8(3), 509–520. <https://doi.org/10.5194/nhess-8-509-2008>
- Mieza, M. S., Cravero, W. R., Kovac, F. D. and Bargiano, P. G. (2016). Delineation of site-specific management units for operational applications using the topographic position index in La Pampa, Argentina. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.06.005>
- Mohammady, M., Pourghasemi, H. R. and Pradhan, B. (2012). Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: A comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer, and weights-of-evidence models. *Journal of Asian Earth Sciences*, 61, 221–236. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.10.005>
- Mokarram, M., Roshan, G. and Negahban, S. (2015). Landform classification using topography position index (case study: salt dome of Korsia-Darab plain, Iran). *Modeling Earth Systems and Environment*, 1(4), 1–7. <https://doi.org/10.1007/S40808-015-0055-9/FIGURES/6>
- Mokhtari, M. and Abedian, S. (2019). Spatial prediction of landslide susceptibility in Taleghan basin, Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 2019 33:7, 33(7), 1297–1325. <https://doi.org/10.1007/S00477-019-01696-W>
- Montgomery, D. R. and Dietrich, W. E. (1989). Source areas, drainage density and channel initiation. *Water Resources*, 25(8), 1907–1918.
- Montgomery, D. R. and Dietrich, W. E. (1994). Landscape dissection and drainage area-slope thresholds. In M. J. Kirkby (Ed.), *Process Models and Theoretical Geomorphology*. John Wiley & Sons Ltd.
- Moore, I. D. and Burch, G. J. (1986). Sediment transport capacity of sheet and rill flow: Application of unit stream power theory. *Water Resources Research*, 22(8), 1350–1360.
- Moore, I. D., Grayson, R. B. and Ladson, R. (1991). Digital Terrain Modeling : A Review of Hydrological Geomorphological and Biological Applications. *Hydrological Processes*, 5(1), 3–30. <https://doi.org/DOI: 10.1002/hyp.3360050103>
- Moreiras, S. M. (2005). Landslide susceptibility zonation in the Rio Mendoza Valley, Argentina. *Geomorphology*, 66(1-4 SPEC. ISS.), 345–357. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2004.09.019>
- Mousavi, S. Z., Kaviani, A., Soleimani, K., Mousavi, S. R. and Shirzadi, A. (2011). GIS-based spatial prediction of landslide susceptibility using logistic regression model. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2(1), 33–50. <https://doi.org/10.1080/19475705.2010.532975>
- Muddarisna, N., Yuniwati, E. D., Masrurroh, H. and Oktaviansyah, A. R. (2020). An Automated Approach Using Topographic Position Index (TPI) for Landform Mapping (Case Study: Gede Watershed, Malang Regency, East Java, Indonesia). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 412(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/412/1/012027>
- Nag, S. K. (1998). Morphometric Analysis Using Remote Sensing Techniques in the Chaka Sub-basin. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 26(1&2), 69–76.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A. and Khire, M. V. (2000). Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58(4), 275–287. <https://doi.org/10.1007/s100649900032>
- Nagelkerke, N. J. D. (1991). A Note on a General Definition of the Coefficient of

Determination. *Biometrika*, 78(3), 691–692.

- Nahayo, L., Kalisa, E., Maniragaba, A. and Nshimiyimana, F. X. (2019). Comparison of analytical hierarchy process and certain factor models in landslide susceptibility mapping in Rwanda. *Modeling Earth Systems and Environment* 2019 5:3, 5(3), 885–895. <https://doi.org/10.1007/S40808-019-00575-1>
- Nandi, A. and Shakoor, A. (2010). A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. *Engineering Geology*, 110(1–2), 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.10.001>
- Nefeslioglu, H. A. and Gokceoglu, C. (2011). Probabilistic risk assessment in medium scale for rainfall-induced earthflows: Catakli catchment area (Cayeli, Rize, Turkey). *Mathematical Problems in Engineering*, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/280431>
- Nefeslioglu, H., Duman, T. and Durmaz, S. (2008). Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology*, 94(3–4), 401–418. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.10.036>
- Nefeslioglu, Hakan A., Gokceoglu, C., Sonmez, H. and Gorum, T. (2011). Medium-scale hazard mapping for shallow landslide initiation: The Buyukkoy catchment area (Cayeli, Rize, Turkey). *Landslides*, 8(4), 459–483. <https://doi.org/10.1007/s10346-011-0267-7>
- Negiz, M. G., Çınar, K. ve Aygül, E. Ö. (2019). Karaçam (Pinus nigra Arnold) Türünün Verimlilik ve Dağılım Özellikleri Üzerine Ekolojik Değerlendirmeler: Isparta - Yenişarbademli Örneği. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 3(2), 189–200.
- Neuland, H. (1976). A prediction model of landslides. *Catena*, 3(2), 215–230.
- Ng, K. Y. (2006). Landslide locations and drainage network development: A case study of Hong Kong. *Geomorphology*, 76(1–2), 229–239. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.10.008>
- Norouzi, M., Ayoubi, S., Jalalian, A., Khademi, H. and Dehghani, A. A. (2010). Predicting rainfed wheat quality and quantity by artificial neural network using terrain and soil characteristics. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*, 60(4), 341–352. <https://doi.org/10.1080/09064710903005682>
- Nsengiyumva, J. B., Luo, G., Amanambu, A. C., Mind'je, R., Habiyaremye, G., Karamage, F., Ochege, F. U. and Mupenzi, C. (2019). Comparing probabilistic and statistical methods in landslide susceptibility modeling in Rwanda/Centre-Eastern Africa. *Science of the Total Environment*, 659(818), 1457–1472. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.248>
- Oh, H. J. and Lee, S. (2017). Shallow Landslide Susceptibility Modeling Using the Data Mining Models Artificial Neural Network and Boosted Tree. *Applied Sciences* 2017, Vol. 7, Page 1000, 7(10), 1000. <https://doi.org/10.3390/APP7101000>
- Ohlmacher, G. C. (2007). Plan curvature and landslide probability in regions dominated by earth flows and earth slides. *Engineering Geology*, 91(2–4), 117–134. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.01.005>
- Ohlmacher, G. C. and Davis, J. C. (2003). Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. *Engineering Geology*, 69(3–4), 331–343. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(03\)00069-3](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(03)00069-3)
- Önalp, A. (1991). Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanları - Nedenleri, Analizi ve Kontrolü. In *Türkiye I. Ulusal Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (pp. 85–96).
- Ortiz, J. A. V. and Martínez-Graña, A. M. (2018). A neural network model applied to landslide susceptibility analysis (Capitanejo, Colombia). *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 1106–1128. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1513083>

- Oruç, M. S., Mert, A. and Özdemir, İ. (2017). Modelling Habitat Suitability For Red Deer (*Cervus elaphus* L.) Using Environmental Variables In Çatacık Region. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 1(2), 135–142. <https://dergipark.org.tr/bilgesci/issue/32353/347811>
- Osaragi, T. (2002). Classification Methods for Spatial Data Representation. *UCL-Centre for Advanced Spatial Analysis-Working Paper Series*, 44(1), 1–19. <http://www.casa.ucl.ac.uk/paper40.pdf%0Acasa@ucl.ac.uk>
- Othman, A. A., Gloaguen, R., Andreani, L. and Rahnama, M. (2018). Improving landslide susceptibility mapping using morphometric features in the Mawat area, Kurdistan Region, NE Iraq: Comparison of different statistical models. *Geomorphology*, 319, 147–160. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.07.018>
- Ozdemir, A. (2011). Using a binary logistic regression method and GIS for evaluating and mapping the groundwater spring potential in the Sultan Mountains (Aksehir, Turkey). *Journal of Hydrology*, 405(1–2), 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.015>
- Ozdemir, A. and Altural, T. (2013). A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan mountains, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 180–197. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.12.014>
- Özdemir, H. (2006). Taşkın Çalışmaları Açısından Topografik Haritalardan ve DEM'den Üretilmiş Akarsu Morfometrik Özelliklerin Karşılaştırılması. 1. *Uzaktan Algılama-CBS Çalıştay ve Paneli*, 212.
- Özmen, B., Nurlu, M. ve Güler, H. (1997). *Coğrafi Bilgi Sistemleri ie Deprem Bölgelerinin İncelenmesi*. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Özşahin, E. (2008). Keçi Dere (Gönen Çayı'nın bir kolu) havzasının hidrografik özelliklerine sayısal bir yaklaşım. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5(10).
- Öztemel, E. (2003). *Yapay Sinir Ağları* (1st ed.). Papatya Bilim Yayınevi.
- Öztürk, M. Z., Özkan, D. ve Şimşek, M. (2019). Kapadokya Bölgesinin Drenaj Özellikleri. *Journal of Geography*, 0(38), 23–34. <https://doi.org/10.26650/jgeog2019-0002>
- Park, S., Choi, C., Kim, B. and Kim, J. (2013a). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, analytic hierarchy process, logistic regression, and artificial neural network methods at the Inje area, Korea. *Environmental Earth Sciences*, 68(5), 1443–1464. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1842-5>
- Park, S., Choi, C., Kim, B. and Kim, J. (2013b). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, analytic hierarchy process, logistic regression, and artificial neural network methods at the Inje area, Korea. *Environmental Earth Sciences*, 68(5), 1443–1464. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1842-5>
- Patanakanog, B. (2001). Landslide hazard potential area in 3 dimension by remote sensing and GIS technique. *Land Development Department, Thailand. Available on Wwww. Ecy. Wa. Gov/Programs/Sea/Landslides/Help/Drainage. Html. Accessed On*, 2(figure 1), 2011.
- Pei, T., Qin, C. Z., Zhu, A. X., Yang, L., Luo, M., Li, B. and Zhou, C. (2010). Mapping soil organic matter using the topographic wetness index: A comparative study based on different flow-direction algorithms and kriging methods. *Ecological Indicators*, 10(3), 610–619. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.10.005>
- Pelin, S. (1977). *Alucra (Giresun) Güneydoğu Yöresinin Petrol Olanakları Bakımından Jeolojik İncelenmesi*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları.

- Pérez-Peña, J. V., Azañón, J. M. and Azor, A. (2009). CalHypso: An ArcGIS extension to calculate hypsometric curves and their statistical moments. Applications to drainage basin analysis in SE Spain. *Computers & Geosciences*, 35(6), 1214–1223. <https://doi.org/10.1016/J.CAGEO.2008.06.006>
- Pike, R. J. and Wilson, S. E. (1971). Elevation-Relief Ratio, Hypsometric Integral, and Geomorphic Area-Altitude Analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 82, 1079–1083.
- Pisano, L., Zumpano, V., Malek, Roskopf, C. M. and Parise, M. (2017). Variations in the susceptibility to landslides, as a consequence of land cover changes: A look to the past, and another towards the future. *Science of the Total Environment*, 601–602, 1147–1159. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.231>
- Polykretis, C. and Chalkias, C. (2018). Comparison and evaluation of landslide susceptibility maps obtained from weight of evidence, logistic regression, and artificial neural network models. *Natural Hazards*, 93(1), 249–274. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3299-7>
- Polykretis, C., Ferentinou, M. and Chalkias, C. (2014). A comparative study of landslide susceptibility mapping using landslide susceptibility index and artificial neural networks in the Krios River and Krathis River catchments (northern Peloponnesus, Greece). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74(1), 27–45. <https://doi.org/10.1007/s10064-014-0607-7>
- Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R. and Fatemi Aghda, S. M. (2013). Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Natural Hazards*, 69(1), 749–779. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0728-5>
- Pourghasemi, H R, Moradi, H. R. and Fatemi Aghda, S. M. (2013). Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Natural Hazards*, 69(1), 749–779. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0728-5>
- Pourghasemi, Hamid Reza, Mohammady, M. and Pradhan, B. (2012). Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. *Catena*, 97, 71–84. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.05.005>
- Pourghasemi, Hamid Reza, Pradhan, B. and Gokceoglu, C. (2012). Remote Sensing Data Derived Parameters and its Use in Landslide Susceptibility Assessment Using Shannon's Entropy and GIS. *Applied Mechanics and Materials*, 225, 486–491. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.225.486>
- Pradhan, A., Kang, H.-S. and Kim, K. Y.-T. (2016). Mapping Climate Change, Landslide Hazards, and Vulnerability: A Case Study from Seoul, South Korea. *Geotechnical and Structural Engineering Congress 2016, 0*, 1588–1595.
- Promper, C., Puissant, A., Malet, J. P. and Glade, T. (2014). Analysis of land cover changes in the past and the future as contribution to landslide risk scenarios. *Applied Geography*, 53, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.05.020>
- Raduła, M. W., Szymura, T. H. and Szymura, M. (2018). Topographic wetness index explains soil moisture better than bioindication with Ellenberg's indicator values. *Ecological Indicators*, 85(October 2017), 172–179. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.011>
- Rahmati, O., Kalantari, Z., Samadi, M., Uuemaa, E., Moghaddam, D. D., Nalivan, O. A., Destouni, G. and Bui, D. T. (2019). GIS-based site selection for check dams in watersheds: Considering geomorphometric and topo-hydrological factors. *Sustainability (Switzerland)*, 11(20). <https://doi.org/10.3390/su11205639>
- Rai, P. K., Chandel, R. S., Mishra, V. N. and Singh, P. (2018). Hydrological inferences

- through morphometric analysis of lower Kosi river basin of India for water resource management based on remote sensing data. *Applied Water Science*, 8(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0660-7>
- Reddy, G. P. O., Maji, A. K. and Gajbhiye, K. S. (2004). Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India - A remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.06.003>
- Regmi, N. R., Giardino, J. R. and Vitek, J. D. (2010). Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology*, 115(1–2), 172–187. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.10.002>
- Reichenbach, P., Busca, C., Mondini, A. C. and Rossi, M. (2014). The Influence of Land Use Change on Landslide Susceptibility Zonation: The Briga Catchment Test Site (Messina, Italy). *Environmental Management*, 54(6), 1372–1384. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0357-0>
- Reichenbach, Paola, Rossi, M., Malamud, B. D., Mihir, M. and Guzzetti, F. (2018). A review of statistically-based landslide susceptibility models. *Earth-Science Reviews*, 180(March), 60–91. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.001>
- Reis, S, Bayrak, T., Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R. and Ekercin, S. (2008). Rize Bölgesinde Yağış Heyelan İlişkisi. *Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2(99), 5–9.
- Reis, S, Yalcin, A., Atasoy, M., Nisanci, R., Bayrak, T., Erduran, M., Sancar, C. and Ekercin, S. (2012). Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio and analytical hierarchy methods in Rize province (NE Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 66(7), 2063–2073. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1432-y>
- Reis, S, Yalçın, A., Atasoy, M., Nişancı, R., Bayrak, T., Sancar, C. and Ekercin, S. (2009). CBS ve uzaktan algılama teknikleri ile heyelan duyarlılık haritalarının üretimi: Rize ili örneği. *Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği V. Teknik Sempozyumu (TUFUAB 2009)*.
- Reis, Selçuk, Bayrak, T., Erduran, M. and Yalçın, A. (2009). Deprem ve Patlatmaların Rize Bölgesi Heyelanlarına Etkisi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(3), 34–55.
- Rejith, R. G., Anirudhan, S. and Sundararajan, M. (2019). Delineation of groundwater potential zones in hard rock terrain using integrated remote sensing, GIS and MCDM techniques: A case study from vamanapuram river basin, Kerala, India. In *GIS and Geostatistical Techniques for Groundwater Science*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815413-7.00025-0>
- Riley, S. J., DeGloria, S. D. and Elliot, R. (1999). A terrain ruggedness index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of Sciences*, 5(1–4), 23–27.
- Riza Kadavi, P., Lee, C.-W. and Lee, S. (2019). *Landslide-susceptibility mapping in Gangwon-do, South Korea, using logistic regression and decision tree models*. 78, 116. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8119-1>
- Roy, J., Saha, S., Arabameri, A., Blaschke, T. and Bui, D. T. (2019). A Novel Ensemble Approach for Landslide Susceptibility Mapping (LSM) in Darjeeling and Kalimpong Districts, West Bengal, India. *Remote Sensing 2019, Vol. 11, Page 2866, 11(23)*, 2866. <https://doi.org/10.3390/RS11232866>
- Rózycka, M., Migoń, P. and Michniewicz, A. (2015). Topographic Wetness Index and Terrain Ruggedness Index in geomorphic characterisation of landslide terrains, on examples from the Sudetes, SW Poland. *Zeitschrift Für Geomorphologie*, 59, 227–245. <https://doi.org/10.1127/zfg>

- Sağlam, M. T., Bahtiyar, M., Cangir, C. and Tok, H. H. (1993). *Toprak Bilimi*. Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi.
- Şahin, C. (2006). *Türkiye Fiziki Coğrafyası*. Gündüz Eğitim ve Yayıncılık.
- Sahin, E. K. (2011). *CBS tabanlı çok kriterli karar analizi ile heyelanlardan etkilenecek yol güzegahlarının tespiti*.
- Şahin, E. K. (2017). *Özellik seçimi algoritmaları kullanılarak heyelanda etkili faktörlerin belirlenmesi ve heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Şahin, E. K. (2018). Heyelan duyarlılık haritası için adımsal regresyona dayalı faktör seçme yönteminin etkinliğinin araştırılması. *Harita Dergisi*, 159, 1–15.
- Sahin, S. Y., Güngör, Y. and Boztuğ, D. (2004). Comparative petrogenetic investigation of Composite Kaçkar Batholith granitoids in Eastern Pontide magmatic arc—Northern Turkey. *Earth, Planets and Space*, 56(4), 429–446. <https://doi.org/10.1186/BF03352496>
- Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., De Paz, A. and Marturiá, J. (2003). A GIS-based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility mapping in La Pobla de Lillet Area (Eastern Pyrenees, Spain). *Natural Hazards*, 30(3), 281–295. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000007169.28860.80>
- Sarkar, S. and Kanungo, D. P. (2004). An integrated approach for landslide susceptibility mapping using remote sensing and GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 70(5), 617–625.
- Sasaki, Y. (2013). Shallow Landslide - Proposal of its risk evaluation procedure using new SPT. In F. Wu & S. Qi (Eds.), *Global View of Engineering Geology and the Environment* (pp. 189–195). Taylor & Francis.
- Sessions, J., Balcom, J. C. and Boston, K. (1987). Road Location and Construction Practices: Effects on Landslide Frequency and Size in the Oregon Coast Range. *Western Journal of Applied Forestry*, 2(4), 119–124. <https://doi.org/10.1093/wjaf/2.4.119>
- Shahri, A. A., Spross, J., Johansson, F. and Larsson, S. (2019). Landslide susceptibility hazard map in southwest Sweden using artificial neural network. *Catena*, 183, 104225. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104225>
- Shankar, M. N. R. and Mohan, G. (2006). Assessment of the groundwater potential and quality in Bhatsa and Kalu river basins of Thane district, western Deccan Volcanic Province of India. *Environmental Geology*, 49(7), 990–998. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-0137-5>
- Sharma, A. (2010). Integrating terrain and vegetation indices for identifying potential soil erosion risk area. *Geo-Spatial Information Science*, 13(3), 201–209. <https://doi.org/10.1007/s11806-010-0342-6>
- Singh, P., Sharma, A., Sur, U. and Rai, P. K. (2021). Comparative landslide susceptibility assessment using statistical information value and index of entropy model in Bhanupali-Beri region, Himachal Pradesh, India. *Environment, Development and Sustainability*, 23(4), 5233–5250. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00811-0>
- Singh, V. and Singh, S. K. (2018). Hypsometric Analysis Using Microwave Satellite Data and GIS of Naina–Gorma River Basin (Rewa district, Madhya Pradesh, India). *Water Conservation Science and Engineering*, 3(4), 221–234. <https://doi.org/10.1007/s41101-018-0053-7>
- Skentos, A. (2017). Topographic Position Index Based Landform Analysis of Messaria (Ikaria Island, Greece). *Acta Geobalcánica*, 4(1), 7–15. <https://doi.org/10.18509/agb.2018.01>

- Soeters, R. and Van Westen, C. J. (1996). Slope instability recognition, analysis, and zonation. In *Landslides: investigation and mitigation* (Issue December, pp. 129–177).
- Sola, J. and Sevilla, J. (1997). Importance of input data normalization for the application of neural networks to complex industrial problems. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 44(3 PART 3), 1464–1468. <https://doi.org/10.1109/23.589532>
- Soma, A. S., Kubota, T. and Mizuno, H. (2019). Optimization of causative factors using logistic regression and artificial neural network models for landslide susceptibility assessment in Ujung Loe Watershed, South Sulawesi Indonesia. *Journal of Mountain Science*, 16(2), 383–401. <https://doi.org/10.1007/s11629-018-4884-7>
- Sørensen, R., Zinko, U. and Seibert, J. (2006). On the calculation of the topographic wetness index: Evaluation of different methods based on field observations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(1), 101–112. <https://doi.org/10.5194/hess-10-101-2006>
- Stambaugh, M. C. and Guyette, R. P. (2008). Predicting spatio-temporal variability in fire return intervals using a topographic roughness index. *Forest Ecology and Management*, 254(3), 463–473. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.08.029>
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of The Geological Society of America*, 63, 1117–1142. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)
- Süel, H. (2019). Türkiye’de leylek (*Ciconia ciconia* Linnaeus, 1758) dağılımının iklim değişikliğine göre kestirimi. *Türkiye Ormancılık Dergisi*, 20(3), 243–249. <https://doi.org/10.18182/tjf.565284>
- Sujatha, E. R. and Sridhar, V. (2021). Landslide Susceptibility Analysis: A Logistic Regression Model Case Study in Coonor, India. *Hydrology 2021, Vol. 8, Page 41*, 8(1), 41. <https://doi.org/10.3390/HYDROLOGY8010041>
- Süzen, M. L. and Doyuran, V. (2004). Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: A method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 71(3–4), 303–321. [https://doi.org/10.1016/S0013-7952\(03\)00143-1](https://doi.org/10.1016/S0013-7952(03)00143-1)
- Tağıl, Ş. and Jennes, J. (2008). GIS-Based automated landform classification and topographic, landcover and geologic attributes of landforms around the Yazoren Polje, Turkey. *Journal of Applied Sciences*, 8(6), 910–921.
- Tarhan, F. (1991). Doğu Karadeniz Bölgesi heyelanlarına genel bir bakış. In *Türkiye I. Ulusal Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı* (pp. 38–63).
- Tarhan, F., Bulut, F., Akgün, A. ve Ersoy, H. (2015). Doğu Karadeniz kıyı şeridi potansiyel heyelan alanlarının çağdaş değerlendirme yöntemleriyle incelenmesi. *Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu*, 82–89.
- Tekin, S. ve Can, T. (2016). Heyelan örneklem seçiminde farklı yaklaşımların heyelan duyarlılık haritalamalarının başarı tahmin davranışları üzerine etkisi. 6. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25211.72484>
- Tekin, S., Çan, T., Mazman, T. ve Duman, T. Y. (2015). Doğu Akdeniz Bölgesinin yapay sınır ağları yöntemi ile heyelan duyarlılık değerlendirmesi. *MÜHJEO’2015: Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21856.28167>
- Tian, Y., Xu, C., Hong, H., Zhou, Q. ve Wang, D. (2019). Mapping earthquake-triggered landslide susceptibility by use of artificial neural network (ANN) models: an example of the 2013 Minxian (China) Mw 5.9 event. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 1–25. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1487471>
- Tóth, J. (1963). A Theoretical Analysis of Groundwater Flow in Small Drainage Basins. *Journal of Geophysical Research*, 68(16), 4795–4812.

- Turan, İ. D. ve Dengiz, O. (2017). Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak İnebolu havzasında (Kastamonu) Heyelan Duyarlılık Analizi. *Uluslararası Jeomorfoloji Sempozyumu 2017*, 194–201.
- Turan, I. D., Özkan, B., Türkeş, M. and Dengiz, O. (2020). Landslide susceptibility mapping for the Black Sea Region with spatial fuzzy multi-criteria decision analysis under semi-humid and humid terrestrial ecosystems. *Theoretical and Applied Climatology*, 140(3–4), 1233–1246. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03126-2>
- Türkan, O. (2016). Çankırı İlinde Yerleşmelerin Yükselti Basamaklarına Göre Dağılışı Dispersion of settlements according to level states in Çankırı. *TÜCAUM Uluslararası Coğrafya Sempozyumu*, 414–429.
- Türkeş, M. (2010). *Klimatoloji ve Meteoroloji*. Kriter Yayınevi.
- Turoğlu, H. (1997). İyidere Havzasının Hidrografik Özelliklerine Sayısal Bir Yaklaşım. *Türk Coğrafya Dergisi*, 32, 355–364.
- Tzvetkov, J. (2018). Relief visualization techniques using free and open source GIS tools. *Polish Cartographical Review*, 50(2), 61–71. <https://doi.org/10.2478/pcr-2018-0004>
- Ulusay, R. (2007). Heyelanlar ve Mühendislik Şevlerindeki Duraysızlıklar: Türleri, Etkileri ve Zararların Azaltılması. *Sel-Heyelan-Çığ Sempozyumu*, 157–185.
- Uromeihy, A. and Mahdaviifar, M. R. (2000). Landslide hazard zonation of the Khorshrostan area, Iran. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58(3), 207–213. <https://doi.org/10.1007/s100640050076>
- USGS. (2004). *Landslide types and processes*. <https://doi.org/10.1002/2015GC006147>
- Üyetürk, E., Bayraktaroğlu, H., Huvaj, N. ve Hüseyinpaşaoğlu, M. (2018). Rize ilinde yağışlarla tetiklenen heyelanların malzeme özellikleri. 2. *Ulusal Heyelan Sempozyumu*.
- Uzun, A. (1992). Kop Dağı Heyelanı. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1(7), 272–282.
- Uzun, A. ve Uzun, S. (2003). Doğu Karadeniz Kıyı Kuşağındaki Dağınk Yerleşme Dokusu ve Arazi Kullanımındaki Köklü Değişimlerin Heyelan Oluşumuna Etkileri. *Doğu Karadeniz Bölgesinde Kırsal Alanda Ulaşım, Yerleşim Sorunları ve Çözümleri Sempozyumu*.
- Uzun, A., Zeybek, H. İ., Bahadır, M. and Hatipoğlu, İ. K. (2016). Yenikoy Landslide, Persembe/ Ordu. *The Journal of Academic Social Science Studies*, 50, 247–259.
- Vakhshoori, V. and Zare, M. (2016). Landslide susceptibility mapping by comparing weight of evidence, fuzzy logic, and frequency ratio methods Landslide susceptibility mapping by comparing weight of evidence, fuzzy logic, and frequency ratio methods. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(5), 1731–1752. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1144655>
- Van Westen, C. J., Rengers, N. and Soeters, R. (2003). Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural Hazards*, 30(3), 399–419. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000007097.42735.9e>
- van Westen, C. J., van Asch, T. W. J. and Soeters, R. (2006). Landslide hazard and risk zonation - Why is it still so difficult? *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65(2), 167–184. <https://doi.org/10.1007/s10064-005-0023-0>
- van Westen, C J, Rengers, N., Terlien, M. T. J. and Soeters, R. (1997). Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. *Geol. Rundsch.*, 86, 404–414.
- Van Westen, Cees J., Castellanos, E. and Kuriakose, S. L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering*

- Geology*, 102(3–4), 112–131. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.010>
- Varnes, D. J. (1984). Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. In *UNESCO Press*. <https://doi.org/10.1007/BF02594720>
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. In *Landslides: Analysis and Control. Transportation research board special report 176*.
- Varnes, D. J. (1958). Landslide Types and Processes. *Landslides and Engineering Practice*, 24, 20–47. <https://doi.org/Fact Sheet 2004-3072>
- Wati, S. E., Hastuti, T., Widjojo, S. and Pinem, F. (2010). Landslide susceptibility mapping with heuristic approach in mountainous area a case study in Tawangmangu Sub District, Central Java, Indonesia. *ISPRS Technical Commission VIII Symposium on Networking the World with Remote Sensing*, 38, 248–253. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84855338750&partnerID=40&md5=c0a9cf2cd0af65badf286367a50708e1>
- Weiss, A. D. (2001). Topographic Position and landforms analysis. *ESRI User Conference*. https://doi.org/http://www.jennessent.com/downloads/TPI-poster-TNC_18x22.pdf
- Westen, C. Van. (1997). Statistical landslide hazard analysis. *Ilwis*, 1–10. http://www.adpc.net/casita/Case_studies/Landslide_hazard_assessment/Statistical_landslide_susceptibility_assessmen_landslide_index_method_CS_Chinchina_Colombia/Statistical_landslide_susceptibility_analysis.pdf
- Wilson, J. P. and Gallant, J. C. (2000). *Terrain analysis: Principles and Applications*. John Wiley and Sons.
- WP/WLI. (1993). A suggested method for describing the activity of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 47.
- WP/WLI. (1995). A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 52(1), 75–78. <https://doi.org/10.1007/BF02602683>
- Wu, C. H. (2015). Landslide susceptibility mapping by using landslide ratio-based logistic regression: A case study in the southern Taiwan. *Journal of Mountain Science*, 12(3), 721–736. <https://doi.org/10.1007/s11629-014-3416-3>
- Wu, T. H. (1984). Effect of Vegetation on Slope Stability. *Transportation Research Record*, 37–46. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(85\)92272-7](https://doi.org/10.1016/0148-9062(85)92272-7)
- Wu, Y., Ke, Y., Chen, Z., Liang, S., Zhao, H. and Hong, H. (2020). Application of alternating decision tree with AdaBoost and bagging ensembles for landslide susceptibility mapping. *Catena*, 187(December 2019), 104396. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104396>
- Xu, C., Xu, X., Dai, F. and Saraf, A. K. (2012). Comparison of different models for susceptibility mapping of earthquake triggered landslides related with the 2008 Wenchuan earthquake in China. *Computers and Geosciences*, 46, 317–329. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.01.002>
- Yalcin, A. (2007). The effects of clay on landslides: A case study. *Applied Clay Science*, 38(1–2), 77–85. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2007.01.007>
- Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.01.003>
- Yalcin, A. and Bulut, F. (2007). Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: A case study from Ardesen (NE-Turkey). *Natural Hazards*, 41(1), 201–226. <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9030-0>

- Yalçın, A. (2007). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde analitik hiyerarşi yönteminin ve CBS'nin kullanımı. *S.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 32(3), 1–14.
- Yang, F., Zhang, G., Yin, X. and Liu, Z. (2011). Field-Scale Spatial Variation of Saline-Sodic Soil and Its Relation with Environmental Factors in Western Songnen Plain of China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2011, Vol. 8, Pages 374–387, 8(2), 374–387. <https://doi.org/10.3390/IJERPH8020374>
- Yang, X., Tang, G., Xiao, C., Gao, Y. and Zhu, S. (2011). The scaling method of specific catchment area from DEMs. *Journal of Geographical Sciences*, 21(4), 689–704. <https://doi.org/10.1007/s11442-011-0873-2>
- Yaprak, S., Yildirim, O., Susam, T. and Inyurt, S. (2018). The role of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in monitoring rapidly occurring landslides. *Geodetski List*, 72(2), 113–132. <https://doi.org/10.5194/nhess-2018-13>
- Yeon, Y.-K., Han, J.-G. and Ho Ryu, K. (2010). *Landslide susceptibility mapping in Injae, Korea, using a decision tree*. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.09.009>
- Yesilnacar, E. and Topal, T. (2005). Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 79(3–4), 251–266. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.02.002>
- Yilmaz, I. (2007). GIS based susceptibility mapping of karst depression in gypsum: A case study from Sivas basin (Turkey). *Engineering Geology*, 90(1–2), 89–103. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.12.004>
- Yilmaz, I. (2009). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat-Turkey). *Computers and Geosciences*, 35(6), 1125–1138. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.08.007>
- Yıldırım, Ü. (2021). Trabzon (KD Türkiye) Akarsu Havzalarının Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Morfometrik Analiz Yoluyla Hidrolojik Değerlendirmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(1), 244–253. <https://doi.org/10.24011/barofd.894180>
- Yokoyama, R., Shirasawa, M. and Pike, R. J. (2002). Visualizing topography by openness: A new application of image processing to digital elevation models. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(3), 257–265.
- Zhang, G., Cai, Y., Zheng, Z., Zhen, J., Liu, Y. and Huang, K. (2016). Integration of the Statistical Index Method and the Analytic Hierarchy Process technique for the assessment of landslide susceptibility in Huizhou, China. *Catena*, 142, 233–244. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.028>
- Zine, R., Abidine, E. L. and Abdelmansour, N. (2019). Landslide susceptibility mapping using information value and frequency ratio for the Arzew sector (North-Western of Algeria). *Bull. Min. Res. Exp*, 160, 197–211. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.502343>

İNTERNET KAYNAKLARI

- Web 1 - <https://www.yenisafak.com/gundem/rize-ve-ikizderede-heyelan-53417> (Son erişim: 01.04.2019)
- Web 2 - <http://www.haberci53.com/rize/iyiderede-heyelan-h8626.html> (Son erişim: 01.04.2019)
- Web 3 - <http://www.kalkanderehaber.com/kalkandere/kalkandere-dulgerli-koyu-heyelan/966> (Son erişim: 01.04.2019)
- Web 4 - <https://www.haberler.com/siddetli-yagis-sonrasi-dereler-tasti-heyelan-11107242->

- haberi/ (Son erişim: 01.04.2019)
- Web 5 - <https://www.aksam.com.tr/yasam/rizede-siddetli-yagis-heyelana-yol-acti/haber-793175> (Son erişim tarihi: 01.04.2019)
- Web 6 – SAGA GIS Tutorials - <https://sagatutorials.wordpress.com/basic-terrain-analysis/> (Son erişim tarihi: 20.04.2021)
- Web 7- ESRI ArcMap Tutorials - <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm> (Son erişim tarihi: 20.04.2021)
- Web 8 – MTA Yerbilimleri Harita Görüntüleyicisi ve izim Editörü <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> (Son erişim tarihi: 25.05.2021)



ÖZGEÇMİŞ

Kemal ERSAYIN, Samsun Yeşilkent Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Balıkesir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü'nden 2014 yılında mezun oldu. 2016 yılında Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans programını bitirdi. 2017 yılında Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalına araştırma görevlisi olarak atandı. Halen aynı bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaya devam eden Kemal ERSAYIN iyi derecede İngilizce bilmektedir. Temel araştırma alanları; Afetler Coğrafyası, Çevre Sorunları, Jeomorfoloji, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılamadır.

İletişim Bilgileri

ORCID ID: 0000-0002-5963-1590

Ulusal ve Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanmış Makaleler

1. Tağıl, Ş. ve Ersayın, K. (2015). Balıkesir ilinde dış ortam termal konfor değerlendirmesi. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 8(41), 747-755.
2. Ersayın, K. ve Tağıl, Ş. (2017). Ecological sensitivity and risk assessment in the Kizilirmak Delta. Fresenius Environmental Bulletin, 11(26), 6508-6516.

Kongre, Sempozyum ve Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler

1. Ersayın, K. ve Uzun, A. (2021). İyidere Havzası'nda (Rize) heyelan-arazi kullanımını ilişkisinin incelenmesi. Karadeniz 7. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, Ordu. (Tam metin Bildiri)
2. Kılıç, O. M., Duman, E. ve Ersayın, K. (2018). Çekerek Havzası'nın USLE yöntemine dayalı erozyon modellemesi. TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, Ankara. (Tam metin bildiri)
3. Kılıç, O. M., Ersayın, K., Yürüdür, E., Babacan, Ş. ve Hardal, S. (2017). Determination of land use and temporal change of Dardanelles province by use GIS and RS. International Symposium on GIS Applications in Geography and Geosciences, Çanakkale. (Poster bildiri)
4. Yürüdür, E., Kılıç, O. M., Ersayın, K., Babacan, Ş. ve Hardal, S. (2017). Tokat ili yerleşim alanındaki zamansal değişim ile jeomorfolojik birimler arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi. Uluslararası Jeomorfoloji Sempozyumu 2017, Elazığ. (Özet metin bildiri)
5. Ersayın, K. (2014). Balıkesir kent merkezinde ortam gürültü kirliliği ve sağlık riski. Türkiye Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi, Muğla. (Poster bildiri)

Görev Aldığı Projeler

1. Heyelan Duyarlılığı Analizine Bir Örnek: İyidere Havzası (Rize), 2021-2022, Yardımcı araştırmacı, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Proje Yönetim Ofisi Başkanlığı (PYO.FEN.1904.21.005)
2. Coğrafya Bölümü Coğrafi Bilgi Sistemleri Laboratuvar Birimi Altyapı Destek İnsansız Hava Aracı (İHA) Projesi, 2020-2021, Araştırmacı, Tokat

Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi.

3. UNESCO Dünya Miras Listesi Yolunda Balıca Mağarası, 2017-2018, Araştırmacı, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (2017/77).
4. Kızılırmak Deltası'nda Ekolojik Hassasiyet ve Risk Değerlendirilmesi, 2015-2017, Araştırmacı, Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (2015/1559).



