

**YENİCE (KARABÜK) BÖLGESİNİN  
HEYELAN TEHLİKESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENT OF  
YENİCE (KARABÜK) REGION**

**SİNEM ÇETİNKAYA**

**PROF. DR MURAT ERCANOĞLU**

**Tez Danışmanı**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

olarak hazırlanmıştır.

2019

**SİNEM ÇETİNKAYA'nın hazırladığı "Yenice (Karabük) Bölgesinin Heyelan Tehlikesinin Değerlendirilmesi" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.**

Prof. Dr. Dilek TÜRER

Başkan

.....

Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU

Danışman

.....

Prof. Dr. Harun SÖNMEZ

Üye

.....

Doç. Dr. Celal TUNUSLUOĞLU

Üye

.....

Dr. Öğr. Üyesi Nehir VAROL

Üye

.....

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak ..... / ..... /..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

17 / 06 / 2019

SİNEM ÇETİNKAYA

## YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren .... ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

17 / 06 / 2019

(İmza)

SİNEM ÇETİNKAYA

## ÖZET

# YENİCE (KARABÜK) BÖLGESİNİN HEYELAN TEHLİKESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

**Sinem ÇETİNKAYA**

**Yüksek Lisans, Jeoloji Mühendisliği Bölümü**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU**

**Haziran 2019, 103 sayfa**

Özellikle son yıllarda, heyelan envanter, duyarlılık, tehlike ve risk çalışmalarında yaşanan önemli gelişmeler sonucunda, bu tür çalışmaların sayısında ve kalitesinde önemli bir artış söz konusudur. Dünya genelindeki temel yaklaşım, heyelenların gelişmesi olası alanlarda genelden özele inen bir yaklaşımın benimsenmesiyle, seçilen alanlarda bu tür haritaların üretilmesi ve uygulamaya sokulmasıdır. Türkiye’de heyelanlar nedeniyle günümüze değin birçok can ve mal kaybı yaşanmıştır. Bu nedenle, bu tür kayıpların sıklıkla yaşandığı bir bölge olan Karabük ve Yenice arasındaki yaklaşık 837 km<sup>2</sup>’lik bir alanda, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) temelli heyelan tehlike değerlendirmelerinin yapılması amaçlanmıştır. Tez kapsamında, ilk aşamada, kapsamlı bir literatür araştırması yapılmış, bir sonraki aşamada, çalışma alanına ilişkin heyelan tehlike analizleri için en uygun yaklaşım ortaya konulmuştur. Mevcut arşiv verileri, AFAD ve MTA tarafından yapılan çalışmalar, ortofoto ve hava fotoğrafı yorumlamaları ve yerinde haritalamalar ile gerçekleştirilen bu çalışmalar kapsamında, 104 adet heyelan

haritalanmıştır. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde 20mx20m piksel boyutuna sahip yamaç eğimi, bakı, topoğrafik yükseklik, yamaç eğriselliği, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), akış gücü indeksi (SPI), sediman taşıma kapasitesi (STCI), litoloji, drenaja uzaklık, yollara uzaklık, arazi kullanımı parametre haritaları oluşturularak, toplam 11 adet parametre haritası ile alanın envanter haritası dikkate alınarak, lojistik regresyon yöntemi ile heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Bu haritaya göre, çalışma alanının % 60.7'si çok düşük, % 10.9'u düşük, % 3.5'i orta, % 5.7'si yüksek ve % 19.2'si de çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip olarak belirlenmiş, ROC analizi gerçekleştirilerek, 0.881 AUC değeri elde edilmiştir. Yağış verilerindeki kesiklik/eksiklikler nedeniyle, heyelan tehlike değerlendirmelerinin yağış analizleri yerine çok zamanlı tehlike analiz yaklaşımı tercih edilmiştir. Çalışma alanındaki heyelanların zamansal olasılığının belirlenmesinde 1905-2013 yılları arasında gelişmiş 164 adet heyelan olayı ele alınmış, Poisson ve Binom dağılımlar ile analiz edilmiştir. Farklı zamansal ve alansal büyüklükler dikkate alınarak, bölgenin heyelan tehlike haritaları üretilmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, küçük boyutlu heyelanlar için kısa dönemlerde heyelan tehlikesinin, büyük boyutlu heyelanlardan çok daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Bölgeye ilişkin veri kalitesinin artırılmasıyla, heyelan risk çalışmalarının da ivedilikle yapıлып, uygulamaya sokulması önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** envanter, heyelan, heyelan duyarlılığı, heyelan tehlikesi, Yenice (Karabük)

## **ABSTRACT**

# **LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENT OF YENİCE (KARABÜK) REGION**

**Sinem ÇETİNKAYA**

**Master of Science, Department of Geological Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU**

**June 2019, 103 pages**

Particularly in recent years, there has been a significant increase in the number and quality of landslide inventory, susceptibility, hazard and risk studies as a result of significant developments in such studies. The fundamental approach around the world is the production and implementation of such maps in the selected areas by adopting an approach from the general to the specific in areas where the development of landslides is possible. In Turkey, up to date, there have been many losses of lives and properties because of the landslides. For this reason, it was aimed at conducting a GIS (Geographical Information System) based landslide hazard assessment in an area of 837 km<sup>2</sup> between Karabük and Yenice at which such losses are frequently encountered. In the first stage of the thesis, a comprehensive literature research was conducted, and in the next step, the most appropriate approach for the landslide hazard analysis was presented. The existing archive data, the studies carried out by AFAD and MTA, orthophoto

and aerial photography interpretations and in-situ mapping were performed and a total of 104 landslides were mapped. For the evaluation of landslide susceptibility, the conditioning parameters such as slope, aspect, topographical elevation, slope curvature, topographic wetness index (TWI), stream power index (SPI), sediment transport capacity index (STCI), lithology, distance to drainage, distance to roads and land use parameter maps with the pixel size of 20mx20m were prepared, and a total of 11 parameter maps were taken into account for the landslide susceptibility map produced by logistic regression method. According to this map, it was identified that 60.7% of the study area was very low, 10.9% was low, 3.5% was moderate, 5.7% was high and 19.2% was very high landslide susceptibility, and by performing a ROC analysis, the AUC value was calculated as 0.881. Due to the lack/deficiencies in the rainfall data, a multi temporal landslide hazard analysis approach was preferred instead of precipitation data analysis. In the determination of the temporal probability of the landslides in the study area, 164 landslide events occurred in the period between 1905 and 2013 were considered, and were analyzed with Poisson and Binomial distributions. Considering different temporal and spatial magnitudes, landslide hazard maps of the region were produced. In general terms, it was found that the landslide hazard is much higher for small-scaled landslides in the short term than that of the large-scaled landslides. It is recommended that landslide risk studies should be immediately carried out and put into practice by increasing the data quality of the region.

**Keywords:** inventory, landslide, landslide susceptibility, landslide hazard, Yenice (Karabük)



## TEŞEKKÜR

Çalışmanın baőından beri desteğini esirgemeyen, bilgi, öneri ve tecrübeleriyle beni yönlendiren özellikle tezin sonuca ulaşmasında bilimsel katkıda bulunan, bana sabır, maddi ve manevi yol gösteren değerli Tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Murat ERCANOğLU'na,

Bu tezin tamamlanmasında 113Y455 numaralı "Yenice ve Karabük Arasındaki Alanın Taşkın ve Heyelan Potansiyelinin Değerlendirilmesi ve Bölgesel Tehlike Haritalarının Üretilmesi" projesiyle maddi destek sağlayan TÜBİTAK'a,

Çalışmam süresince beni teşvik eden, yorumlarını ve manevi desteğini benden esirgemeyen Dr. Gülseren DAğDELENLER'e,

Tez çalışması süresince gerçekleştirilen arazi çalışmalarına katkıda bulunan aynı zamanda manevi desteğini benden esirgemeyen Doç.Dr. Erman ÖZSAYIN, Dr. Burcu KAHRAMAN ve Dr. İbrahim UÇAR'a,

Tez çalışması süresince gösterdikleri sabır, maddi ve manevi destekten dolayı sevgili aileme ve arkadaşlarıma,

Sonsuz Teőekkürler..

Sinem ÇETİNKAYA

## İÇİNDEKİLER

ABSTRACT .....	iii
TEŞEKKÜR .....	v
İÇİNDEKİLER .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışma Alanının Tanıtımı .....	2
1.2. Çalışma Alanın Bölgesel Jeolojik Özellikleri.....	5
1.2.1. Jeolojik Evrim .....	5
1.2.2. Çalışma Alanının Stratigrafisi .....	7
1.2.2.1. Bolu Granitoyidi (P&b) .....	8
1.2.2.2. Ulus Formasyonu (Ku).....	8
1.2.2.2.1. Ahmetusta Üyesi (Kus).....	9
1.2.2.2.2. Sunduk Üyesi (Kua).....	9
1.2.2.3. Yemişliçay Formasyonu (Ky) .....	9
1.2.2.4. Akveren Formasyonu (Kta) .....	10
1.2.2.5. Yığılca Formasyonu (Ty) .....	10
1.2.2.6. Çerçen Formasyonu (Tekaç).....	10
1.2.2.7. Akçapınar Formasyonu (Tea) .....	10
1.2.2.8. Yamaç Molozu (Qym) .....	10
1.2.2.9. Alüvyon (Qal).....	11
1.2.3 Çalışma Alanın Depremselliği.....	11
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	13
2.1. Parametrelerin Seçimine Yönelik Çalışmalar.....	13

2.2. Heyelan Duyarlılık ve Tehlikesine Yönelik Önceki Çalışmalar .....	20
3. HEYELAN KAVRAMI .....	35
4. HEYELAN ENVANTER VE PARAMETRE HARİTALARININ OLUŞTURULMASI .....	39
4.1. Heyelan Envanteri .....	41
4.2. Heyelan Parametre Haritaları .....	42
4.2.1. Yamaç Eğimi .....	43
4.2.2. Bakı .....	45
4.2.3. Litoloji .....	48
4.2.4. Drenaja Uzaklık .....	50
4.2.5. Topoğrafik Yükseklik .....	52
4.2.6. Yamaç Eğriselliği .....	54
4.2.7. Sediman Taşıma Kapasitesi İndeksi.....	56
4.2.8. Yollara Uzaklık.....	58
4.2.9. Topoğrafik Nemlilik İndeksi.....	60
4.2.10. Akış Gücü İndeksi (SPI) .....	62
4.2.11. Arazi Kullanımı .....	64
5. HEYELAN DUYARLILIK VE TEHLİKE ANALİZLERİ .....	67
5.1. Heyelan Duyarlılık Analizi .....	67
5.2. Heyelan Tehlike Analizi .....	71
5.2.1. Poisson Dağılımı .....	75
5.2.2. Binom Dağılımı .....	78
5.2.3. Alansal Olabilirlik .....	80
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	85
7. KAYNAKLAR .....	89
EKLER .....	104

EK1- Çalışma alanına ait 1 yıl içinde, 0.01 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası .....	104
EK2- Çalışma alanına ait 5 yıl içinde, 0.01 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası .....	105
EK3- Çalışma alanına ait 10 yıl içinde, 0.01 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası .....	106
EK4- Çalışma alanına ait 25 yıl içinde, 0.01 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası .....	107
EK5- Çalışma alanına ait 50 yıl içinde, 0.01 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası .....	108
EK6- Çalışma alanına ait 100 yıl içinde, 0.01 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası.....	109
EK7- Çalışma alanına ait 1 yıl içinde, 0.001 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası .....	110
EK8- Çalışma alanına ait 5 yıl içinde, 0.001 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası .....	111
EK9- Çalışma alanına ait 10 yıl içinde, 0.001 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası.....	112
EK10- Çalışma alanına ait 25 yıl içinde, 0.001 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası.....	113
EK11- Çalışma alanına ait 50 yıl içinde, 0.001 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası.....	114
EK12- Çalışma alanına ait 100 yıl içinde, 0.001 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası.....	115
EK13- Çalışma alanına ait 1 yıl içinde, 0.0003 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası.....	116
EK14- Çalışma alanına ait 5 yıl içinde, 0.0003 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası.....	117
EK15- Çalışma alanına ait 10 yıl içinde, 0.0003 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası.....	118

EK16- Çalışma alanına ait 25 yıl içinde, 0.0003 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası .....	119
EK17- Çalışma alanına ait 50 yıl içinde, 0.0003 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası .....	120
EK18- Çalışma alanına ait 100 yıl içinde, 0.0003 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası .....	121
EK19- Tezden Türetilmiş Yayınlar .....	122
EK20- Tezden Türetilmiş Bildiriler .....	140
EK21- Tez Çalışması Orjinallik Raporu .....	141
ÖZGEÇMİŞ .....	142

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Çalışma alanı yer bulduru haritası. ....	3
Şekil 1.2.	Çalışma alanındaki yağış istasyonlarındaki en yüksek aylık yağış dağılımı.....	4
Şekil 1.3.	Çalışma alanının genel jeolojik özellikleri [9].....	6
Şekil 1.4.	İnceleme alanının stratigrafik dikme kesiti [10].....	7
Şekil 1.5.	Kumtaşı, şeyl ardalanmalı Ulus formasyonuna ait filiş birimler (ölçeksiz).....	9
Şekil 1.6.	Kuzey Anadolu Fay Zonunun geometrisi ve konumu [22].....	11
Şekil 2.1.	Heyelanlara neden olan tetikleyici ve hazırlayıcı faktörler [24].....	14
Şekil 2.2.	İncelenen çalışmalarda kullanılan parametrelerin dağılımı. ....	19
Şekil 3.1.	Heyelan terminolojisini gösteren ideal heyelan kesiti [99]. ....	35
Şekil 3.2.	Heyelan envanter haritaları sınıflaması [100].....	36
Şekil 3.3.	Heyelan değerlendirilmesi ile ilgili akış şeması.....	38
Şekil 4.1.	Çalışma alanına ait heyelan envanter ve parametre haritalarının üretimini gösterir akış şeması.....	40
Şekil 4.2.	Çalışma alanında haritalanmış olan heyelanlar ve heyelan envanter haritası.....	42
Şekil 4.3.	Çalışma alanının yamaç eğimi parametre haritası. ....	44
Şekil 4.4.	Yamaç eğimi parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı. ....	45
Şekil 4.5.	Çalışma alanının bakı parametre haritası. ....	46
Şekil 4.6.	Bakı parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı. ....	47
Şekil 4.7.	Çalışma alanına ait litoloji haritası [9].....	49
Şekil 4.8.	Litoloji parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı. ....	50
Şekil 4.9.	Çalışma alanının drenaja uzaklık parametre haritası. ....	51

Şekil 4.10.	Drenaja uzaklık parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı. ....	52
Şekil 4.11.	Çalışma alanın topoğrafik yükseklik parametre haritası. ....	53
Şekil 4.12.	Topoğrafik yükseklik parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı. ....	54
Şekil 4.13.	Çalışma alanın yamaç eğriselliği parametre haritası. ....	55
Şekil 4.14.	Yamaç eğriselliği parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı. ....	56
Şekil 4.15.	Çalışma alanın sediman taşıma kapasitesi parametre haritası. ....	57
Şekil 4.16.	Sediman taşıma kapasitesi indeksi parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı. ....	58
Şekil 4.17.	Çalışma alanın yollara uzaklık parametre haritası. ....	59
Şekil 4.18.	Yollara uzaklık parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı. ....	60
Şekil 4.19.	Çalışma alanın topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) parametre haritası. ....	61
Şekil 4.20.	Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı. ....	62
Şekil 4.21.	Çalışma alanının akış gücü indeksi (SPI) parametre haritası. ....	63
Şekil 4.22.	Akış gücü indeksi (SPI) parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı. ....	64
Şekil 4.23.	Çalışma alanının arazi kullanımı parametre haritası. ....	65
Şekil 4.24.	Arazi kullanımı parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı. ....	66
Şekil 5.1.	Çalışma alanının lojistik regresyon yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası. ....	69
Şekil 5.2.	Yağış tetikleyicili heyelan tehlike analiz ve haritalama çalışmalarının aşamaları [140]. ....	71
Şekil 5.3.	Çalışma alanına yakın istasyonların gösterimi. ....	73

Şekil 5.4.	1905-2013 yılları arasında gerçekleşen heyelan olayları. ....	75
Şekil 5.5.	Poisson dağılımına göre heyelan olayının 1, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl içerisinde en az 1 kere gerçekleşme olasılığının grafiksel gösterimi. ....	78
Şekil 5.6.	Binom dağılıma göre heyelan olayının 1, 5, 10, 25 ve 100 yıl içerisinde en az 1 kere gerçekleşme olasılığının grafiksel gösterimi. ....	80
Şekil 5.7.	Çalışma alanına için hazırlanmış üç parametrelili ters gamma yoğunluk eğrisi $p = 1.21$ , $s = 1.1 \times 10^{-4}$ , $a = 2.5 \times 10^{-4}$ . ....	81
Şekil 5.8.	Çalışma alanına ait alansal olasılık dağılımı. ....	82
Şekil 5.9.	Çalışma alanına ait 1, 5 ve 10 yıl içinde, 0.0003 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen örnek tehlike haritaları. ....	83
Şekil 5.10.	Çalışma alanına ait 25, 50 ve 100 yıl içinde, 0.0003 km <sup>2</sup> 'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen örnek tehlike haritaları. ....	84



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. 2010- 2017 yılları arasında taranan makaleler.....	15
Çizelge 5.1. Çalışma alanının lojistik regresyon analizi sonuçları.....	70
Çizelge 5.2. Çalışma alanına en yakın yağış gözlem istasyonları.....	72
Çizelge 5.3. Çalışma alanına ait yıllık toplam yağış (mm).....	74
Çizelge 5.4. Poisson dağılımına göre heyelan olayının 1 yıl ile 100 yıl arasında gerçekleşme olasılığı.....	77
Çizelge 5.5. Binom dağılıma göre heyelanların 1 yıl ile 100 yıl arasında gerçekleşme olasılığı.....	79

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Kısaltmalar

CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
TWI	Topoğrafik Nemlilik İndeksi
SPI	Akış Gücü İndeksi
SCI	Science Citation Index
STCI	Sediman Taşıma Kapasitesi
NDVI	Normalized Differential Vegetation Index
WLC	Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyon
AUC	Area Under Curve
ROC	Relative Operating Characteristic
LR	Logistic Regression
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu

## 1. GİRİŞ

Doğa kökenli afetler, kaynağını yer yüzeyi ya da yer kabuğundaki faaliyetler etkisiyle, litosfer, hidrosfer, biyosfer ve atmosfer içerisindeki etkileşimlerle, canlılara zarar verme potansiyeline sahip doğa olayları olarak tanımlanmaktadır. Sözü edilen doğa kökenli afet türlerinden biri olan heyelanlar, dünya genelinde günümüze değin çok sayıda can ve mal kaybına neden olan, ülkemizde de depremlerden sonra en fazla hasar verici etkiye sahip ikinci sırada bulunan kütle hareketlerinden birisidir [1], [2]. Heyelanların sebep olduğu can ve mal kayıplarının azaltılması, zararların en aza indirilmesi için heyelan duyarlılık, tehlike ve risk çalışmaları, bilim adamları, yerel yönetimler, planlamacılar ve karar vericiler için son derece büyük öneme sahip bir konuma gelmiştir [3]. Günümüzde heyelanlara yönelik çalışmalarda matematiksel/istatistiksel yöntemler ve Coğrafi Bilgi Sistemleri teknolojisinin bu tür değerlendirmelerde kullanımı da, vazgeçilmez unsurlar olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın (AFAD) kayıtlarında, heyelan sayısının ülkemizde en yüksek olduğu bilinen Karabük iline bağlı Yenice ilçesi, heyelan duyarlılık ve tehlike analizlerinin yapılması ve değerlendirilmesi için seçilmiştir. Amaca yönelik olarak ilk aşamada, heyelan duyarlılığı ve tehlike analizleri üzerine yapılan araştırmaların yer aldığı, SCI (Science Citation Index) kapsamında taranan dergilerdeki bilimsel çalışmalar incelenmiş, tez çalışmasına temel oluşturacak yöntembilim ortaya konulmuştur. Bölgeye ait heyelan envanter haritası, arşivlerdeki kayıtlar dikkate alınarak arazi çalışmaları ve hava fotoğrafı yorumlamaları yapılarak güncellenmiş, bilgisayar ortamında güncellenen veriler sayısallaştırılmıştır. Harita Genel Komutanlığı'ndan elde edilen çalışma alanının içerisinde yer aldığı 1/25000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalardan 20mx20m piksel boyutuna sahip Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) elde edilmiştir. Yamaç eğimi, bakı, topoğrafik yükseklik, yamaç eğriliği, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), akış gücü indeksi (SPI), sediman taşıma kapasitesi (STCI), litoloji, drenaja uzaklık, yollara uzaklık, arazi kullanımı parametre haritaları oluşturularak, toplam 11 adet parametre haritası ile alanın envanter haritası dikkate alınarak, lojistik regresyon yöntemi heyelan duyarlılığı analizleri gerçekleştirilmiştir. Heyelan tehlike analizleri kapsamında, bölgedeki heyelanların yağışlar tarafından tetiklendiği, ilk aşamada değerlendirilmeye

alışılmıştır. Ancak, yağış verilerinde, özellikle çalışma alanındaki heyelanların büyük oranda geliştiği Yenice istasyonundaki verilerde önemli oranda kesikliklerin/eksikliklerin bulunması nedeniyle, tehlike analizlerinde yağış modellemesinin tutarlı sonuçlar üretemeyeceği dşnlmştr. Bu nedenle, çok zamanlı tehlike analizi yaklaşımı tercih edilerek, tez çalışma alanının heyelan tehlike değerlendirmesi yapılmıştır.

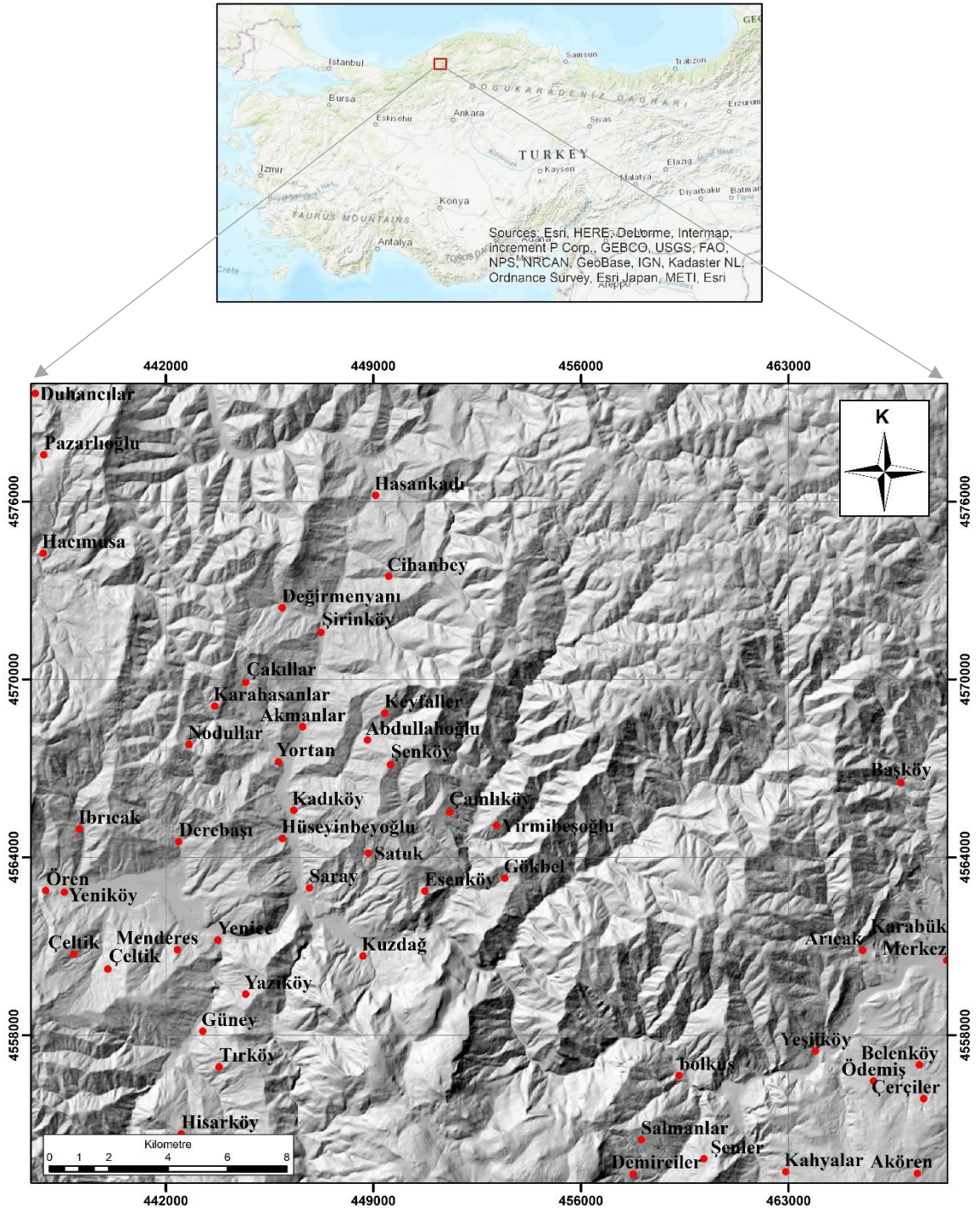
### **1.1. Çalışma Alanının Tanıtımı**

Çalışma alanı, Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölgesi'nde Karabük ili sınırlarına ait, 1/25.000 lekli Zonguldak F28-b3, Zonguldak F28-b4, Zonguldak F28-c1, Zonguldak F28-c2, Zonguldak F29-a4, Zonguldak F29-d1 paftaları içerisinde bulunmakta ve yaklaşık 837 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamaktadır. Söz konusu alan, 36. UTM zonunun 4137<sup>725</sup>-4112<sup>278</sup> K/3224<sup>695</sup>-4112<sup>278</sup> E koordinatları içerisinde kalmaktadır (şekil 1.1).

Çalışma alanındaki önemli yükseltiler; iğdem Tepe, Boyundurluk Tepe, Tekirdağ, İbel Tepe, Dneğen Tepe ve Başköy Dağları, Sarıçiçek Tepesi (1750 m), Araç ve Soğanlı aylarının arasında kalan kesimde Brnk Tepesi (1143 m), Esendoğdu Tepesi (1144 m) ve Tepedağ yer almaktadır. Çalışma alanının güneybatısında Keltepe, Yenidağ ve Karadağ, güneyde Aladağlar (1040 m), güneydoğuda ise akmak Dağları uzanmaktadır.

Çalışma alanının önemli akarsularını Araç ayı, Soğanlı ayı ve bu iki ayın Karabük il merkezinde birleşerek Yenice ile merkezinden geçen Filyos Nehri oluşturmaktadır. Filyos ayı yaklaşık 2400 m yükseklikten doğarak, Karadeniz'e dökülmektedir.

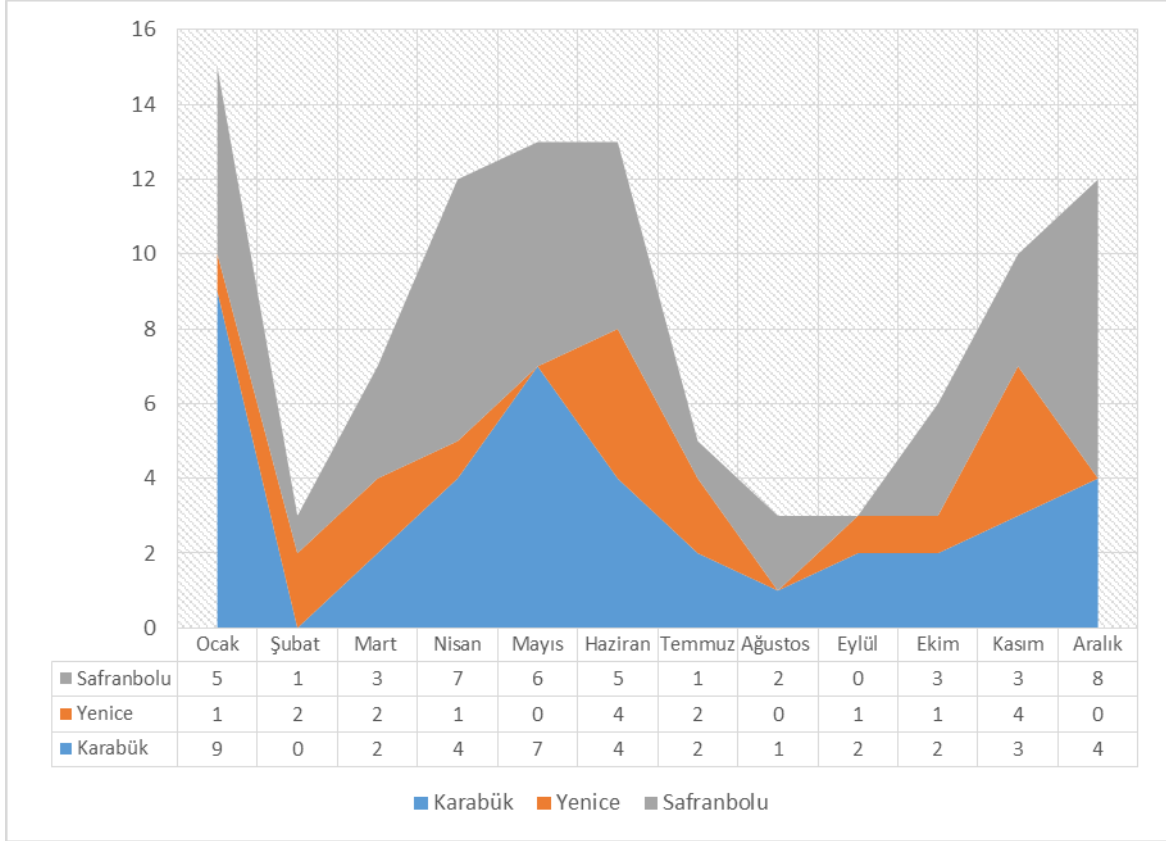
Çalışma alanı içerisinde; su kaynağı zenginliği ve el değmemiş habitadı ile Yenice Ormanları yer almaktadır. Yenice Ormanları, su kaynaklarının bolluğu ve bitki örtüsünün etkisiyle oluşan farklı ekosistem tipleriyle fauna ve flora çeşitliliğine sahiptir [4].



Şekil 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.

Çalışma alanı, içerisinde bulunduğu tipik Karadeniz iklimi ile karasal iklim arasında geçişleri olan iklim özellikleri taşımaktadır. Yağış rejimi aylara bağlı olarak büyük farklılıklar göstermektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen, çalışma alanında yer alan Karabük-Merkez, Yenice, Safranbolu yağış

gözlem istasyonlarının 1961-2014 yılları arasına ait yağış verilerine göre, yıllık toplam yağış ortalaması 462 kg/m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Bölgede gerçekleşen yağışların Nisan-Mayıs-Haziran ve Kasım-Aralık-Ocak dönemlerinde en yüksek değere ulaştığı, veriler doğrultusunda hazırlanan Şekil 1.2' de verilmiştir.



Şekil 1.2. Çalışma alanındaki yağış istasyonlarındaki en yüksek aylık yağış dağılımı.

Çalışma alanı içerisine giren yerleşim bölgelerinde, AFAD tarafından tutulan heyelanlara yönelik afet raporları incelenmiştir. İncelenen raporlar doğrultusunda, bölge içerisinde gerçekleşen toplam 164 heyelan olayı (aynı lokasyoda tekrarlayan/reaktive olan heyelanlar da dahil olmak üzere) tespit edilmiş, ancak 104 tanesi haritalanabilmiştir. Raporlarda deprem tarafından tetiklenen heyelanların varlığına rastlanmamış, yağışlar tarafından tetiklenen heyelanların varlığına yönelik bulgular dikkat çekmiştir.

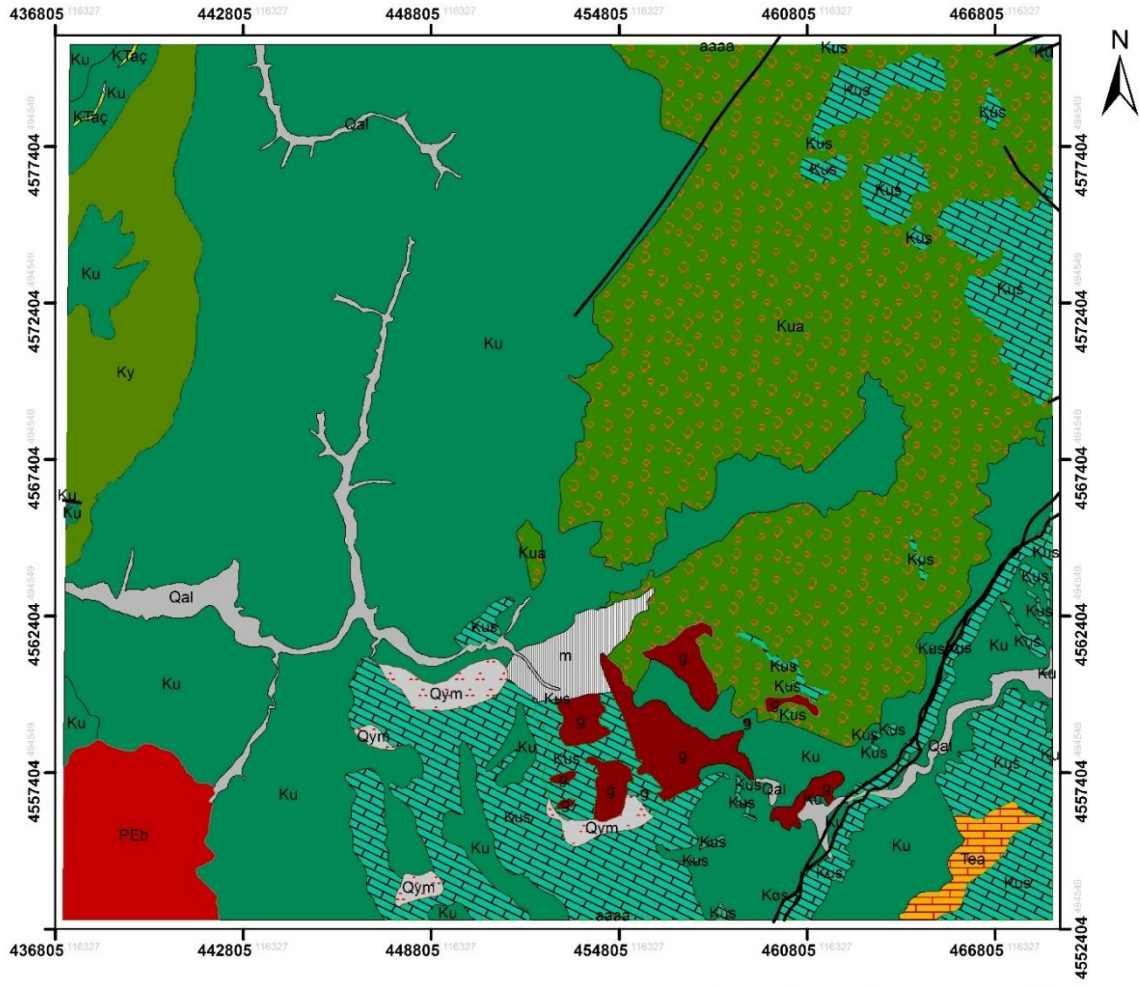
## 1.2. Çalışma Alanının Bölgesel Jeolojik Özellikleri

### 1.2.1. Jeolojik Evrim














Çalışma alanının da içinde kaldığı Karadeniz bölgesi, Ketin [5] tarafından Türkiye'nin en önemli tektonik kuşaklarından biri olan Pontidler içerisinde yer almakta olduğu belirtilmiştir. Üst Kretase'de, Neotetis Okyanusu'nun kapanmaya başlamasıyla, Orta Eosen sonlarına kadar devam eden sıkışma rejimine bağlı olarak Anatolid ve Pontidler yakınsamış; kıta- kıta arasında gelişen rejim sonucunda ada yayı ürünleri gelişmiştir [6].

Çalışma alanı kuzeydoğusunda Alt Kretase yaşlı filiş istifini temsil eden Ulus Formasyonu, güneye gelindikçe Karabük- Safranbolu Tersiyer havzasının üzerinde geniş yayılım göstermektedir. Karabük- Safranbolu Tersiyer havzası Blumenthal [7] tarafından, kuzeybatı kenarı tektonik özellikte olduğu vurgulanıp, Karabük Hattı olarak ifade edilmiştir. Havzada antiklinaller daha dar, senklinaller daha belirgin olduğu gözlenir. Karabük civarında sıkışma nedeniyle Tersiyer yaşlı kayalar, kuzey kanadı güneye devrik bir senklinal oluşturmuştur [8]. Çalışma alanının içerisinde yer alan Karabük merkeze yaklaşık 55 km uzaklıkta olan Kuzey Anadolu Fayının gelişimine bağlı olarak doğrultu atımlı faylar gözlenmektedir [6].

Bölgeye ait jeoloji haritası (Şekil 1.3), açık kaynak kodlu QGIS yazılımında Web Haritalama Sunucu (WMS) olarak MTA Yerbilimleri Portalı'NA eklenmiş, çalışma alanına ait sayısal jeoloji haritası güncellenmiştir.



### Birimlerin Açıklaması

	Qal	Alüvyon
	Qym	Yamaç molozu
	Tea	Akçapınar formasyonu: dolomitik killi kireçtaşı, çört ve jips arakatlı
	Kta	Akveren formasyonu: yarı pelajik kireçtaşı, şeyl, kalkarenit, kumtaşı, konglomera
	KTaç	Çangaza volkanit üyesi: bazalt, andezit
	Ky	Yemişliçay formasyonu: volkanojenik kumtaşı, tuf, aglomera, andezit, bazalt
	Ku	Ulus formasyonu: kumtaşı, şeyl, konglomera, kireçtaşı
	g	Ulus formasyonu içerisindeki mermer blokları
	m	Ulus formasyonu içerisindeki granit blokları
	Kua	Ahmetusta üyesi: konglomera
	Kus	Sunduk üyesi: Kireçtaşı
	PEb	Bolu granitoyidi: granodiyorit, tonalit, granit, gabro, lamprofir, apilit
		Yapısal Unsurlar

Şekil 1.3. Çalışma alanının genel jeolojik özellikleri [9].





### **1.2.2.1. Bolu Granitoyidi (P&B)**

İlk olarak Erendil vd. [11] tarafından adlandırılan Bolu Granitoyidi, magmatik çekirdek kayaları topluluğu içinde granodiyorit, tonalit, granit, gabro gibi plütonik kayalarla; bunları dayklar şeklinde kesen lamprofir ve aplitlerden oluşmaktadır. Bolu Granitoyidi, Paleozoyik yaşlı Yedigöller Formasyonu iç içe olmasına rağmen Alt Ordovisiyen yaşlı birimlere özellikle alt birimlerine kırıntılılara malzeme vermiştir.

### **1.2.2.2. Ulus Formasyonu (Ku)**

Bartın ili, Ulus ilçesi civarında tip kesitler vermekte ve geniş yayılım göstermekte olan formasyon, ilk olarak Akyol vd. [12] tarafından isimlendirilmiştir. Ulus formasyonu Alt Kretase 3000 metre kalınlığa ulaşan, kumlu şeyl, silttaş ardalımalı, kumlu kireçtaşı ara katlarından oluşmaktadır [13]. Formasyon içerisinde %10-50 arasında değişim gösteren CaCO<sub>3</sub> çimento malzemesiyle, farklı kaynaklardan gelen feldispat, plajiyoklas, muskovit, kuvars, serpatin, klorit tanelerinden meydana gelmektedir ([14]. Birim içerisinde yer yer diyabaz daykları bulunmaktadır. Ulus formasyonunun bazı kesimlerinde kalınlığı 45-50 metreye kadar ulaşan yelpaze çökelleri bulunmakta ve genellikle, çakıltaşı, kumtaşı ve az miktarda kilitaşlarından oluşmaktadır [15]. Ulus Formasyonu Bolu Granitoyidleri üzerinde uyumsuz seri olarak yer almakta olup, genç birimler tarafından aşılma uyumsuzlukla örtülmektedir [16].

Formasyonun iyi yuvarlanmış, kötü boylanmış kahverengimsi sarı, sarı ve gri seviyeli konglomeralardan oluşan Ahmetusta üyesi [10] gri, bej renkli, orta kalın katmanlı, masif görünümlü kireçtaşlarından oluşan Sunduk üyesi olarak iki üyesi bulunmaktadır. Formasyon içerisinde heyelanların sıklıkla geliştiği ve formasyonun bozunmaya karşı son derece duyarlı olduğu bilinmektedir [17] (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Kumtaşı, şeyl ardalımalı Ulus formasyonuna ait filiş birimler (ölçeksiz).

#### 1.2.2.2.1. Ahmetusta Üyesi (Kus)

Ulus Formasyonu içerisinde yamaçta gelişmiş moloz akma çökelleri olarak görülen Ahmetusta üyesi, karbonat veya silis çimentoya sahip, çakılları iyi yuvarlanmış olan kötü boylanmalı birimdir [18], [10], 100 ile 800 metre arasında kalınlık değiştiren birimin yaşını, Ulus formasyonu ile olan stratigrafik ilişkisini inceleyerek, Erken Kretase olarak belirlemişlerdir.

#### 1.2.2.2.2. Sunduk Üyesi (Kua)

Kalınlığı 2000 metre olduğu tahmin edilen Sunduk üyesi kireçtaşları, İnaltı formasyonundan türemiş olup, platformdan kütle akması yoluyla ve/veya bloklar halinde Ulus formasyonu içine taşınarak yeniden çökelmiş kayalar temsil eder [18].

#### 1.2.2.3. Yemişliçay Formasyonu (Ky)

Alt dokanağı Kilimli Formasyonu birimleri, üst dokanağı Akveren formasyonu ile geçişli olan Yemişliçay formasyonu içerisinde, pelajik, yarı pelajik kireçtaşı ve

karbonatlı çamurtaşından oluşan seviyeler yer almaktadır [6]. Tüysüz vd. [8] tarafından planktonik foraminifere göre birimin yaşı belirlenmiş, değerlendirmeler sonucunda Orta Turoniyen - Erken Kampaniyen olarak belirlenmiştir.

#### **1.2.2.4. Akveren Formasyonu (Kta)**

Özer ve Toker [19] çalışmalarında derin deniz ortamında çökelmeyi ifade eden marn, kilttaşı, killi kireçtaşı ardalınlı litolojiye sahip Akveren formasyonu, Alt Kampaniyen'den itibaren kesintisiz bir istif oluşturduğunu belirtmiştir. Yaklaşık 600 m kalınlığa ulaşabilen formasyon içerisinde, Tüysüz vd. [8] tarafından bazaltların da bulunduğu ifade edilmiştir.

#### **1.2.2.5. Yığılca Formasyonu (Ty)**

Tokay [20] tarafından adlandırılan formasyon, içerisinde neritik kireçtaşı, kumtaşı, silttaşı içermektedir. Çaycuma formasyonu ve Akveren formasyonu ile yanal ve düşey geçişli olmasından dolayı Alt - Orta Eosen yaşlı olarak düşünülen Yığılca formasyonu, volkanitlerden piroklastitlerden oluşmaktadır [6].

#### **1.2.2.6. Çerçen Formasyonu (Tekaç)**

Çakıltaşından başlayarak birimin üstüne doğru çıkıldıkça kırmızı çakıltaşlarına rastlanmakta olup, Çerçen formasyonu kırmızı renkli çakıltaş, kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşından oluşmaktadır [8].

#### **1.2.2.7. Akçapınar Formasyonu (Tea)**

Saner [21] tarafından adlandırılan formasyon, ağırlıklı olarak kireçtaşı olmak üzere, dolomitik kireçtaşı, kilttaşı, çamurtaşı ve marn gibi kaya türlerinden oluşmaktadır [8].

#### **1.2.2.8. Yamaç Molozu (Qym)**

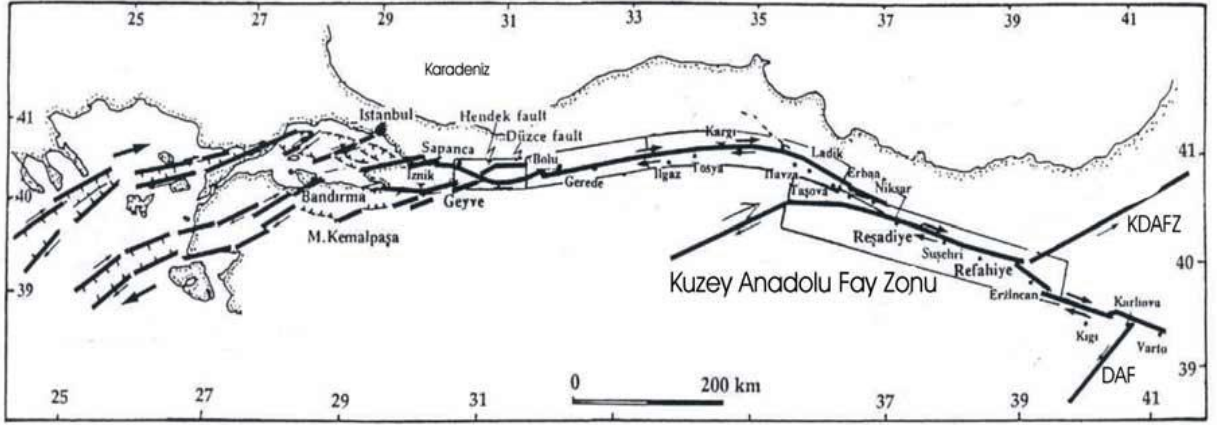
Tutturulmamış veya az tutturulmuş blok ve çakıllar, yüksek yamaçların eteklerinde birikintiler halinde bulunan yamaç molozları Kuvaterner yaşlı olmaktadır [6].

### 1.2.2.9. Alüvyon (Qal)

Kuvaterner yaşlı, akarsu yataklarında, eski çukurluklar üzerinde gelişmiş düz alanlardaki çakıl, kum, kil/silt boyutundaki çökeller, tüm birimler üzerine gelmektedir ([6], [9]).

### 1.2.3 Çalışma Alanının Depremselliği

Çalışma alanına en yakın ve en önemli yapısal unsur, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'dur. KAFZ, belirgin morfolojik özellikleri ve halen devam eden sismik aktivitesiyle batıda Saroz Körfezi ile doğuda Karlıova arasında uzanan, uzunluğu yaklaşık olarak 1500 km olan sağ yanal doğrultu atımlı bir faydır [22] (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. Kuzey Anadolu Fay Zonunun geometrisi ve konumu [22].

İlk kez Blumenthal [7] tarafından Karabük Hattı olarak tanımlanan, daha sonra Tüysüz [23] tarafından isimlendirilen Karabük fayı üzerinde hiç deprem kaydedilmemesine rağmen bazı araştırmacılar tarafından reaktif olduğu düşünülmektedir [23]. Bu fay Karabük merkezden geçen kuzeydoğuda Safranbolu'dan başlayarak güneybatıda Karaağaç'a kadar uzanan KD – GB doğrultulu ters eğim atım karakterli bir faydır. Türkiye'nin diri fay haritasında Kuvaterner fayı olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, Yenice batısından başlayarak Gökçebey'e kadar uzanan alan içinde bindirmeler ve doğrultu atımlı faylar bulunmaktadır [15].

Çalışma alanında yer alan heyelanların depremler tarafından tetiklenme durumunun söz konusu olup olmadığının anlaşılması için bölgede gerçekleşen deprem olayları incelenmiştir. AFAD tarafından hazırlanan deprem kataloğundan,

Çalışma alanın da içerisinde yer aldığı 1900–2012 yılları arasındaki büyüklüğü 3'ten fazla olan depremlere ait bilgilere ulaşılmıştır. Ulaşılan bilgiler doğrultusunda 1944 yılında M=7.2 Gerede, 1999 yılında M=7.4 İzmit ve M=7.2 Düzce depremleri çalışma alanındaki bazı binalarda hasara neden olduğu belirlenmekle birlikte, eldeki kayıtlara göre depremler tarafından tetiklenen bir heyelan kaydına ulaşılamamıştır. Bu nedenle, izleyen bölümlerde yapılacak olan tehlike değerlendirmelerinde, deprem parametresi dikkate alınmamıştır.

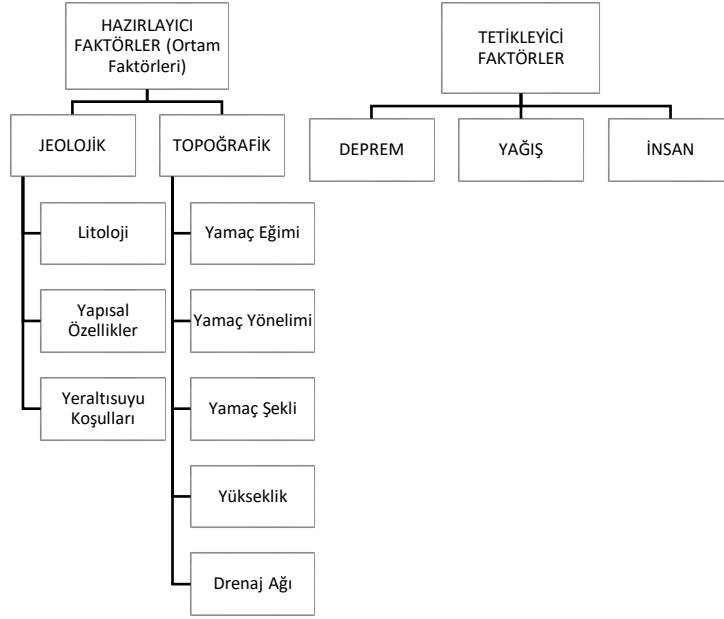
## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tez çalışmasının bu kısmında, heyelan duyarlılığı ve heyelan tehlike analizine yönelik SCI kapsamında yer alan dergilerde yayınlanmış, ulaşılabilen yayınlar incelenmiştir. Heyelan duyarlılığı olası heyelanın “nerede” gerçekleşeceği sorusuna cevap verilmesini sağlarken, heyelan tehlike analizi “ne zaman” ve “ne büyüklükte” gerçekleşeceği sorusuna cevap verilmesini sağlamaktadır. İncelenen makalelerin doğrultusunda önceki çalışmalar bölümünde “parametrelerin seçimine yönelik çalışmalar” ve “heyelan duyarlılık ve tehlike analizine yönelik çalışmalar” olarak iki ayrı başlık haline getirilmiştir.

### 2.1. Parametrelerin Seçimine Yönelik Çalışmalar

Brabb [23] tarafından, arazi koşullarından kaynaklı bir bölgede heyelan olma olasılığı olarak tanımlanan heyelan duyarlılığı analizleri, günümüzde tehlike ve risk analizlerinin hazırlanmasında, olası heyelanların mekansal olasılığının belirlenmesini sağlamaktadır. Heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan parametrelerin belirlenmesi ve belirlenecek parametrelerin uygunluğu konusunda kullanılacak yöntemlerin seçimi heyelan duyarlılığının temelini oluşturmaktadır.

Gökçeoğlu ve Ercanoğlu [24] çalışmalarında, heyelanların gerçekleşmesine neden olan faktörleri, hazırlayıcı ve tetikleyici faktörler olarak ikiye ayırmışlardır (Şekil 2.1). Hazırlayıcı faktörler jeolojik, topoğrafik ve çevresel diğer bir deyişle ortam koşullarından kaynaklı heyelana neden olan parametreleri ifade etmişken; tetikleyici faktörler deprem, aşırı yağışlar ve insan etkisi gibi doğrudan heyelana neden olan parametreleri ifade etmektedir.



Şekil 2.1. Heyelanlara neden olan tetikleyici ve hazırlayıcı faktörler [24].

Tez çalışması kapsamında, 2010-2018 arasında yayınlanmış heyelan duyarlılığı ve tehlike analizlerine yönelik 40 makale göz önünde bulundurulmuş, çalışmalarda seçilen nedensel faktörler incelenmiştir ([16], [25]–[64]) (Çizelge 2.1).



Çizelge 2.1. 2010- 2017 yılları arasında taranan makaleler.

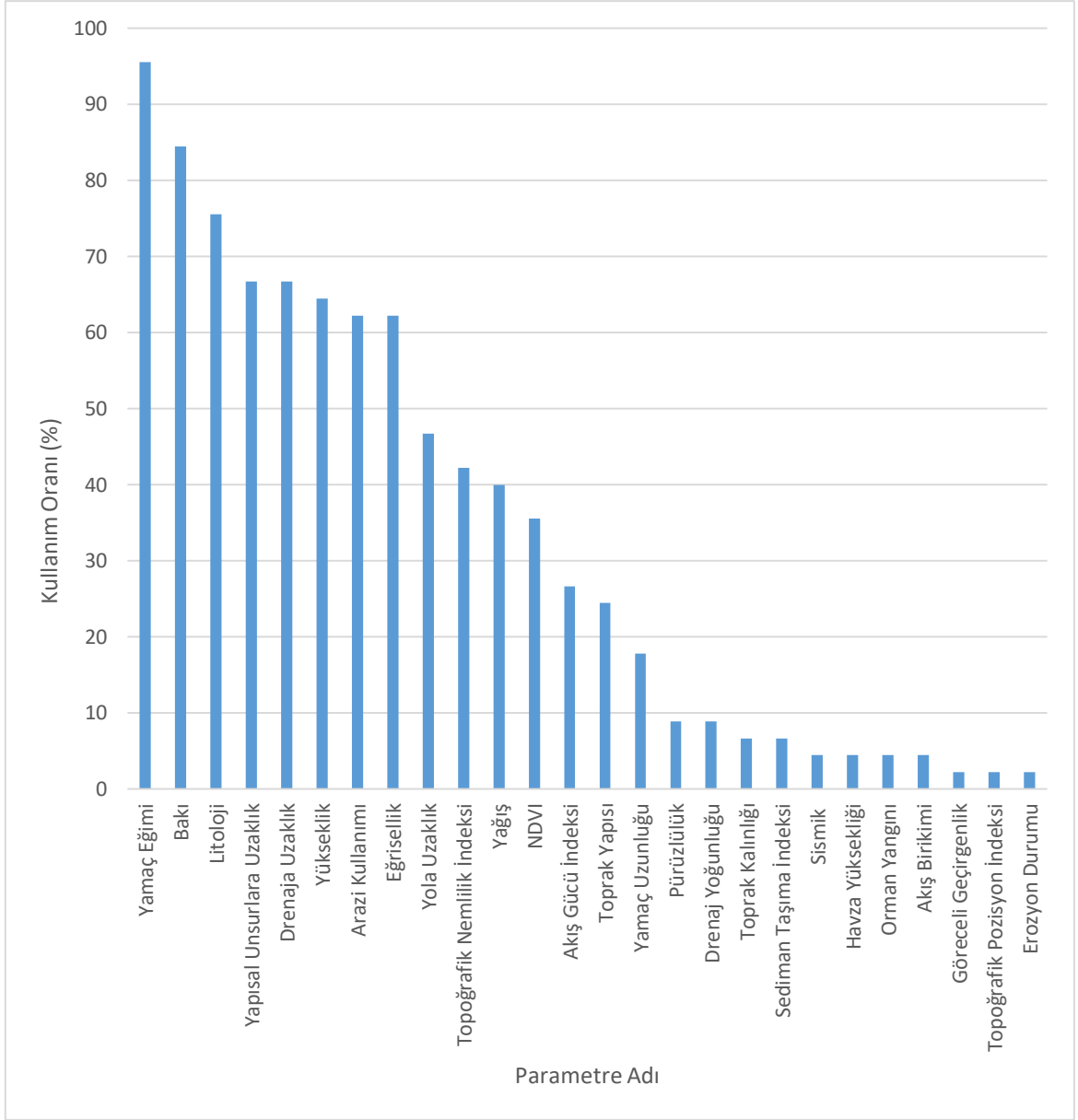
<b>Araştırmacı</b>	<b>Kullanılan Parametreler</b>	<b>Kullanılan Parametre Sayısı</b>
Pradhan vd. [25]	Bakı, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Arazi Kullanımı, Yağış, NDVI, Toprak Yapısı, Genel Eğrisellik	9
Bui vd [36]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Arazi Kullanımı, Yola Uzaklık, Yağış, Toprak Yapısı, Genel Eğrisellik	11
Choi vd. [47]	Yamaç Eğimi, Bakı, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Arazi Kullanımı, NDVI, Genel Eğrisellik	7
Kayastha vd. [58]	Yamaç Eğimi, Bakı, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Arazi Kullanımı, Yağış, Genel Eğrisellik, Göreceli Yükseklik	8
Lee vd. [60]	Yamaç Eğimi, Bakı, Yapısal Unsur, Yükseklik, Arazi Kullanımı, Yola Uzaklık, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, NDVI, Toprak Yapısı, Akış Gücü İndeksi, Genel Eğrisellik	11
Mashari vd. [61]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Arazi Kullanımı, Yola Uzaklık	8
Othman vd. [62]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Arazi Kullanımı, Yola Uzaklık, Yağış, Toprak Yapısı	9
Pourghasemi vd. [63]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Arazi Kullanımı, Yola Uzaklık, Plan Eğriselliği, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, Akış Gücü İndeksi, Yamaç Uzunluğu, Sediman Taşıma İndeksi	11
Capitani vd. [64]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık	5
Hadji vd. [26]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Yola Uzaklık, Yağış, Toprak Yapısı	9
Martha vd. [27]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Arazi Kullanımı, NDVI, Toprak Kalınlığı	7
Özdemir ve Altural [28]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Arazi Kullanımı, Yağış, Plan Eğriselliği, Topoğrafik Nemlilik	14

<b>Araştırmacı</b>	<b>Kullanılan Parametreler</b>	<b>Kullanılan Parametre Sayısı</b>
	İndeksi, NDVI, Akış Gücü İndeksi, Genel Eğrisellik, Göreceli Geçirgenlik	
Pradhan [30]	Litoloji, Yükseklik, Arazi Kullanımı, NDVI, Yamaç Uzunluğu, Toprak Kalınlığı, Drenaj Yoğunluğu	7
Wang vd. [31]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Arazi Kullanımı, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, Profil Eğriselliği	9
Wu ve Chen [32]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Yola Uzaklık, NDVI, Yamaç Uzunluğu, Arazi Pürüzlülüğü, Yamaç Pürüzlülüğü	11
Conforti vd. [33]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Yükseklik, Arazi Kullanımı, Plan Eğriselliği, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, Akış Gücü İndeksi, Drenaj Yoğunluğu	10
Damen vd. [34]	Yamaç Eğimi, Litoloji, Arazi Kullanımı, Yağış, Sediman Taşıma İndeksi, Sismik	6
Dragicevic vd. [35]	Yamaç Eğimi, Bakı, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Yola Uzaklık, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, Akış Gücü İndeksi	7
Epifanio vd. [37]	Yamaç Eğimi, Litoloji, Yükseklik, Plan Eğriselliği, Profil Eğriselliği	5
Feizizadeh vd. [38]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Arazi Kullanımı, Yola Uzaklık, Yağış, Göreceli Yükseklik, Drenaj Yoğunluğu	11
Luca vd. [39]	Yamaç Eğimi, Bakı, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Arazi Kullanımı, Yola Uzaklık, Plan Eğriselliği, Toprak Yapısı, Akış Gücü İndeksi, Yamaç Uzunluğu	9
Peng vd. [40]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Yükseklik, Arazi Kullanımı, Yağış, Plan Eğriselliği, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, NDVI, Profil Eğriselliği, Arazi Pürüzlülüğü, Havza Alanı, Havza Yüksekliği, Havza Yamacı, Yamaç Eğimi, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Arazi Kullanımı, Yola Uzaklık, Topoğrafik Nemlilik İndeksi	22
Sabokbar vd. [41]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Arazi Kullanımı,	12

<b>Araştırmacı</b>	<b>Kullanılan Parametreler</b>	<b>Kullanılan Parametre Sayısı</b>
	Yola Uzaklık, Yağış, NDVI, Toprak Yapısı, Erozyon Durumu	
Wu vd. [42]	Yamaç Eğimi, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yola Uzaklık	5
Conoscenti vd. [43]	Yamaç Eğimi, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Plan Eğriselliği, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, Profil Eğriselliği, Akış Gücü İndeksi, Yamaç Uzunluğu, Toplam Eğrisellik	9
Dehnavi vd. [44]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Arazi Kullanımı, Yola Uzaklık, Yağış, Plan Eğriselliği, Profil Eğriselliği, Sismik	11
Feizizadeh vd. [38]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Arazi Kullanımı, Yola Uzaklık, Yağış	9
Goetz vd. [45]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yükseklik, Plan Eğriselliği, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, Toprak Yapısı, Profil Eğriselliği, Arazi Pürüzlülüğu, Havza Yüksekliği	10
Guo vd. [46]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Yola Uzaklık, Yağış, Plan Eğrisellik, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, NDVI	11
Jaafari vd. [48]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Yükseklik, Yağış, Plan Eğriselliği, NDVI, Yamaç Uzunluğu	10
Kavzoğlu vd. [49]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Drenaja Uzaklık, Arazi Kullanımı, Yola Uzaklık, Plan Eğrisellik, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, NDVI, Profil Eğrisellik, Yamaç Uzunluğu, Göreceli Yükseklik, Toprak Kalınlığı, Topoğrafik Pozisyon İndeksi	15
Meinhardt vd. [50]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Drenaja Uzaklık, Arazi Kullanımı, Yola Uzaklık, Yağış, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, Toprak Yapısı, Akış Gücü İndeksi, Genel Eğrisellik, Vadi Derinliği	12
Palamakumbre vd. [51]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Plan Eğriselliği, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, Toprak Yapısı, Profil Eğriselliği, Genel Eğrisellik, Orman Yangını, Akış Birikimi	10

<b>Araştirmacı</b>	<b>Kullanılan Parametreler</b>	<b>Kullanılan Parametre Sayısı</b>
Sahin vd. [52]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yükseklik, Arazi Kullanımı, Plan Eğriselliği, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, NDVI	8
Shou ve Yang [53]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsur, Yükseklik, Yola Uzaklık, Yağış	7
Trigila vd. [55]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Drenaja Uzaklık, Arazi Kullanımı, Plan Eğriselliği, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, NDVI, Profil Eğriselliği, Akış Gücü İndeksi, Toplam Eğrisellik, Orman Yangını, Akış Birikimi	13
Ercanoğlu vd. [16]	Yamaç Eğimi, Bakı, Drenaja Olan Uzaklık, Yükseklik, Plan Eğrisellik, Profil Eğrisellik, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, NDVI, Akış Gücü İndeksi	9
Hamza ve Raghuvanshi [56]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yükseklik, Arazi Kullanımı	5
Vasu vd. [57]	Yamaç Eğimi, Bakı, Drenaja Olan Uzaklık, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, Akış Gücü İndeksi, Drenaj Yoğunluğu, Sediman Taşıma İndeksi, Orman Tipi	8
Lin vd. [59]	Yamaç Eğimi, Bakı, Litoloji, Yapısal Unsurlara Uzaklık, Drenaja Olan Uzaklık, Plan Eğrisellik, profil Eğrisellik, Topoğrafik Nemlilik İndeksi, Yamaç Uzunluğu	9

Çalışmalarda seçilen parametreler 27 farklı başlık altında toplanılarak, bu başlıklara ait kullanım oranları elde edilmiştir (şekil 2.2).



Şekil 2.2. İncelenen çalışmalarda kullanılan parametrelerin dağılımı.

İncelenen çalışmalarda, araştırmacıların %96'sının yamaç eğimini, %84'ünün bakıyı, %76'sının litolojiyi, %67'sinin yapısal unsurlara uzaklığı ve drenaja uzaklığı, %64'ünün yüksekliği, %62'sinin arazi kullanımını ve eğriselliği, %47'sinin yola uzaklığı, %42'sinin topoğrafik nemlilik indeksini, %40'ının NDVI değerini, %27'sinin akış gücü indeksini kullanarak analizlerini gerçekleştirdikleri ortaya çıkmıştır. Çalışma alanı için yapılacak analizlerde kullanılacak parametreler için, araştırmacılar arasında yaygın olarak kullanılan bu parametreler dikkate alınmıştır.

## 2.2. Heyelan Duyarlılık ve Tehlikesine Yönelik Önceki Çalışmalar

Çalışmanın bu bölümünde heyelan duyarlılık ve tehlike analizlerine yönelik çalışma özetlerine yer verilmiştir. Çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, bilgisayar destekli haritalama teknolojisinin gelişmesi ve verilerin elde edilebilirliğinin kolaylaşmasıyla heyelan duyarlılık ve tehlike analizlerinde kullanılan yöntem çeşitliliği ve elde edilen sonuçların verimliliği artmıştır. Heyelan duyarlılığı değerlendirmeleri heyelan tehlike ve risk değerlendirmelerinin başlangıcı olarak görülebileceği gibi, arazi kullanımı planlanması ve çevresel etki değerlendirmesi için sonuç ürünü olarak da kullanılabilir [65]. Heyelan duyarlılığı analizleri; niteliksel ve niceliksel yöntemler olmak üzere iki grupta incelenmektedir ([66]; [67]; [68]). Niteliksel yöntemler, araştırmacıların doğrudan saha gözlemlerine ve tecrübelerine/bilgilerine dayanan yöntemleri içermektedirken; niceliksel yöntemler, farklı veri grupları kullanılarak, çoğunlukla bilgisayar destekli ve veriye dayalı olarak gerçekleştirilmektedir. Nicel yöntemler, heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen faktörler ile heyelanların arasındaki ilişkiyi sayısal veri ve istatistiksel yöntemlerle ifade edilmesine yönelik olarak gerçekleştirilmektedir [69]. Literatürde analitik hiyerarşi süreci ([38], [52], [58], [62]; bulanık mantık ([35], [38], [44]); lojistik regresyon ([25], [26], [28], [31], [32], [39], [40], [43], [45], [49], [53], [55], [61]) destek vektör makinesi ([40], [45]) gibi niceliksel yöntemlere sıkça rastlanmaktadır. Bunların dışında karar ağacı, istatistiksel indeks, genetik algoritma, frekans oranı, kanıt ağırlığı gibi istatistiksel yöntemlerin de kullanıldığı, yapılan literatür araştırmalarına göre ortaya çıkmaktadır.

Lee [70] çalışmasında 23-25 Ağustos 2004 tarihleri arasında gerçekleşen, Tayvan'ın kuzeyine etki eden Aere Tayfunu'nun öncesi ve sonrası SPOT5 görüntülerinin karşılaştırılmasıyla, tayfun tarafından tetiklenen heyelanları belirleyerek, yayılımlarını hesaplamıştır. Tayfun tarafından 1624 tane tetiklenen heyelan gözlenmişken, bunlardan 663 tanesi tekrar aktif hale geçen veya genişleyen eski heyelanlar oldukları gözlenmiştir. Olay bazlı heyelan envanter haritası oluşturulurken duyarlılık modeline yönelik yalnızca yeni oluşan heyelanlar göz önüne alınmıştır. 10mx10m çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) heyelanları tetikleyen nedensel parametreler, sayısal jeoloji haritalarından litoloji ve faya uzaklık parametreleri elde edilmiştir. Nedensel ve

tetikleyici faktörler göz önünde bulundurulmuş, lojistik regresyon yöntemiyle heyelan duyarlılık modeli üretilmiştir. CBS uygulamaları kullanılarak havza veya drenaj alanlarında gerçekleşecek heyelanların yerini, alanını ve boyutunun tahminin başarılı bir şekilde yapılabileceği vurgulanmıştır.

Zeze vd. [71] çalışmalarında 50 yıldır yağışlar tarafından tetiklenen heyelanlara sıkça rastlanan Lizbon'un kuzeyini çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Kısa ve uzun süreli atmosferik koşullarda yağışlar tarafından tetiklenen heyelanlar detaylı bir şekilde incelenmiştir. 20 Mart, 25-29 Ekim ve 28 Kasım 2006 tarihlerinde gerçekleşen 3 heyelan olayı ele alınmıştır. 1956-2001 yıllarına ait günlük yağış verileri ile CAR (Calibrated Antecedent Rainfall) kullanılmış; 5, 10, 15, 30, 40, 60, 75 ve 90 günlük geriye dönük bölgesel yağış eşiği değeri hesaplanmıştır. Mart ve ekim aylarında gerçekleşen heyelanlar, sığ kaymalar ve yüzey akıntıları olarak gerçekleştiği, 4 - 10 gün arasında süren yağışlar tarafından tetiklendiği belirlenmiştir. Kasım 2006 sonlarına doğru gerçekleşen heyelan, diğer iki heyelan olayından farklı olarak, daha derin bir kayma yüzeyine sahip olduğu belirlenmiş, 30-90 günlük bir zaman aralığı içerisinde yağış eşiğinin aşılması ile gerçekleştiği belirtilmiştir.

Çil [72] tez çalışmasında öncelikli olarak, Mersin sınırları içerisinde yer alan Şahnadere su toplama havzasının çok zamanlı heyelan envanter haritasını hazırlamıştır. Heyelan duyarlılık analizleri için lojistik regresyon yöntemi kullanılmış, heyelanların mekansal olabilirliği belirlenmiştir. Çalışma alanı için heyelan tetikleyicisi olarak aşırı yağışlar kabul edilmiş, heyelanların zamansal olabilirliğinin hesaplanabilmesi için göz önünde bulundurulmuştur. Buna yönelik, yağışların uç (extrem) değerlerin belirlenmesinde, 1968 ile 2001 yılları arasında aşırı yağışın tetiklediği heyelanların olduğu bilindiğinden, döneme yönelik uygun görülen yağış istasyonlarından elde edilen veriler kullanılmıştır. Uç değer hesaplamalarında, Normal, Lognormal, Gumbel, Pearson Tip 3, Log Pearson Tip 3 ve Genelleştirilmiş Extrem Değer dağılımları sürekli olasılık fonksiyonları olarak tercih edilmiştir. Heyelanların meydana geldiği günden 1, 3, 5, 10, 15 ve 20 gün geriye gidilmiş, kümülatif yağış değerleri göz önünde bulundurulmuştur. 3 günlük yağış değerinin dikkate alınmasına karar verilmiştir. Çalışma alanında 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık zaman dilimlerinde gerçekleşmesi muhtemel heyelanların belirlenmesinde Poisson dağılımı kullanılmış, mekansal ve zamansal olabilirliği

gösteren heyelan tehlike haritası elde edilmiştir. Çalışma sonucunda heyelanlardan kaynaklı zararların azaltılabilmesi için bölgesel olarak üretilecek tehlike haritalarının, ilerleyen zaman içerisinde güncellenerek, çevresel ve ekonomik kayıpların da dikkate alınmasıyla, heyelan risk haritalarının oluşturulması gerektiği vurgulanmıştır.

Kouli vd. [73] Girit Adası'nın Retimno Bölgesi'nin merkezini çalışma alanı olarak seçmiş, bölgedeki heyelanların çoğunlukla, insan kaynaklı nedenlerden dolayı geliştiğini belirtmişlerdir. Çalışma alanında heyelan oluşumuna neden olan temel etmenlerin; zemin şartları (litoloji), jeomorfolojik süreçler (akarsu erozyonu vs.) ve insan kaynaklı işler (kazı, yükleme vs.) olduğu düşünülmüştür. Çalışmada heyelan tehlikesi ve risk haritaları oluşturulmuş, bölgeyi sürekli olarak izleme yapılması önerilmiştir. Bu sebeple, CBS ortamında yarı nicel tehlike analiz metodu olan ağırlıklı doğrusal kombinasyon yönteminden (WLC) faydalanılmıştır. Çıktılar IKONOS uydu görüntülerine işlenmiş ve görüntülerin yorumlanması yoluyla haritaya aktarılan yeni heyelan bölgeleriyle zenginleştirilmiştir. Önceden var olan bir heyelan veri tabanı kullanılmış, yeni heyelan bölgeleri ile karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar ağırlıklı doğrusal kombinasyon metodu, uzaktan algılama ve CBS tekniklerinin de yardımıyla, tehlikeli bölgelerdeki heyelan olasılıklarına yönelik mühendislik araştırmalarına büyük destek sağlayabileceğini vurgulamışlardır.

Brunetti vd. [74], İtalya'da gerçekleşen heyelan olayı ile sonuçlanan 753 yağış olayını ele almış, her olayın tam veya yaklaşık yerini, gerçekleşme zamanını veya başlama periyodunu katalog haline getirmişlerdir. Bilgilerden yağış süresi D ile yağış yoğunluğu ortalaması I ile ifade edilmiş, İtalya genelinde ve Abruzzo bölgesine ait yağış eşiği değeri elde edilmesi amaçlanmıştır. Bayesian ([75]) ve yeni bir Frequentist yaklaşımı kullanılmıştır. İtalya'ya ait büyük veri setleri ve küçük veri setleri ile yöntemlerin uygunluğunu test edilmiştir. Çalışma sonucunda Bayesian yöntemi küçük veri setlerinin analizinde, Frequentist yöntem geniş veri setlerinde uygulandığında daha başarılı olduğu görülmüştür.

Heyelan riski analizlerinin, heyelan tehlikesi ve heyelanın gerçekleşmesinin neden olacağı sonuçların hesaplanması olarak belirten Erener ve Düzgün [76], çalışmalarında Kumluca bölgesinin zamansal ve mekânsal etkisini analiz etmiş,



risk altındaki ölçülebilir elemanlar için “Damage Probability Matrix” yaklaşımını uygulamışlardır. Kumluca bölgesinde yer alan Hepler bölgesinin yolları ve binaları risk altındaki elemanlar olarak seçilmiştir. Heyelan riskinin bölge için ekonomik olarak ölçülebilir olması için; Bartın’a bağlı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı tarafından binalar için piksel başına 23600 TL değer belirlenmiş, Karayolları Genel Müdürlüğü’nden elde edilen veriler doğrultusunda yollar için piksel başına 15022 TL olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak bölge için risk haritası üretilmiş, sayısal veriler yıllık olarak piksel başına yıllık TL kayıp olarak belirlenmiştir.

Tien Bui vd. [36], çalışma alanı olarak Vietnam sınırları içerisinde bulunan Hoa Binh bölgesini ele almışlardır. Bölgeye ait heyelan duyarlılık analizini yapmak üzere 10 etkin parametre; yükseklik, litoloji, eğim, toprak, arazi kullanımı, bakı, eğrisellik, faya uzaklık, akarsuya uzaklık ve ana tetikleyici olarak yağış kullanılmıştır. Kullanılan faktörlerden eğim, bakı, eğrisellik parametreleri 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalardan 20mx20m çözünürlükle elde edilmiş SYM’ den üretilmiştir. İstatistiksel indeks ve lojistik regresyon olmak üzere 2 heyelan duyarlılık analizi tekniği kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık tahmini için, değişken seçiminde kademeli olarak kullanılan lojistik regresyon yöntemi uygun görülmüştür. Heyelan duyarlılık haritasından elde edilen heyelan alanları, gerçek heyelanlar ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel indeks ve lojistik regresyon ile elde edilen sonuçlar ROC model ve AUC ile test edilmiştir; (AUC) eğrisi altında kalan alanlar sırasıyla 0.946 ve 0.950 olarak hesaplanmıştır. Araştırmacılar tarafından her iki modelin neredeyse eşit tahmin yeteneğine sahip olduğu belirtilmiştir.

Bartın ili içerisinde yer alan Kumluca Havzasını çalışma alanı olarak seçen Erener ve Düzgün [77], çalışmalarında geliştirmiş oldukları heyelan tehlike analizi yöntemini test etmişlerdir. Heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının oluşturulması için gerekli parametrelere ait altlıkların hazırlanması için CBS ve uzaktan algılama teknikleri kullanılmıştır. Heyelanların mekansal olabirliğinin belirlenmesinde lojistik regresyon yöntemi kullanılmasına karar verilmiştir. Geçmiş yağış verilerinden kritik yağış eşiği değeri hesaplanmış, Gumbel Dağılımı ile heyelanların zamansal olasılığı belirlenmiştir. Risk haritaları piksel başına düşen maddi, hayati ve mülk kaybı yıllık olarak belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçların karar vericiler tarafından imar ve altyapı çalışmalarında

kullanıma yönelik olarak kullanılabilceği vurgulanmış, verilerin daha detaylı ve sürdürülebilir olmasıyla hazırlanılacak risk haritalarının gerçekçiliğinin daha da arttırılabileceği belirtilmiştir.

Nafarzadegan vd. [78], heyelan olaylarından dolayı ağır kayıplar yaşayan İran'ın Çaharmahal ve Bahtiyari bölgelerini çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Bölge içerisinde gerçekteşen heyelanların çoğunlukla yağmurlu bir dönemin ardından gerçekteşmesine dikkat çekilmiş, heyelan tetikleyici olarak yağış görölmüştür. Bölge için etkili bir heyelan uyarı sisteminin ortaya konabilmesi için bu bölgedeki yağış eşik değerini belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu araştırmada, derin tabanlı heyelanlar için birtakım geçmiş yağış eşik değerlerini ortaya konması hedeflenmiştir. İncelenen olaylar için düşünülen heyelan öncesi süreler: 5, 10, 15, 20, 25, 28 ve 30 günlük periyotlar olarak belirlenmiştir. Çoğu heyelan 10 günü aşkın süreli kümülatif yağışlardan dolayı meydana geldiğinden, 5 gün ve daha kısa periyotlara ait sonuçları incelemenin pek de mantıklı olmadığı göze çarpmıştır. Bunlara ek olarak, 15 günlük periyotlar ile 2, 3 ve 5 günlük yağış olaylarındaki eşik değeri de belirlenmiştir. Araştırmada, 10 ile 30 günlük periyotlar için, heyelan sebep olabilecek ortalama toplam yağış miktarı 140 ile 280 mm arasında değişiklik göstermiştir. Sonuç olarak, yağış karakteristiği ve farklı toprak tiplerinin (özellikle de kil ve marnlı bölgelerin) arasındaki ilişki üzerinde daha fazla araştırma yapılması gerektiği vurgulanmıştır.

Mandal ve Maiti [79], çalışmalarında heyelan gerçekteşmesine neden olan kritik yağışı ve tekrarlanma periyodunu belirleyerek, yağışlar tarafından tetiklenen heyelanların zamansal olasılığını hesaplamayı hedeflemişlerdir. Çalışma alanı olan Shivkhola havzası için aralıksız ve günler boyunca aynı şekilde devam eden minimum yağış miktarının (yaklaşık 80 mm/gün) jeomorfolojik eşiği geçerek, bölgedeki heyelanları tetiklediği belirlenmiştir. Alan içerisinde bulunan iki ana heyelan bölgesi Paglajhora ve Tindharia için kritik yağış değerleri belirlenmiştir. Çalışmada 1968 yılından itibaren gerçekteşen heyelan olaylarına dayanılarak Binom ve Poisson olasılık dağılım modeli kullanılmıştır. Heyelan olayları göz önünde bulundurulduğunda, Poisson dağılımına göre her 13 yıl, Binom dağılıma göre her 19 yıl içinde heyelan olayının tekrarlanması gerektiği belirtilmiştir.

Puissant vd. [80], farklı ölçekteki çalışma alanlarda (1/100000 ile 1/10000 arası) olası heyelanlar tarafından oluşabilecek potansiyel hasarın tahmin edilebilmesi ve haritalanması için bir indeks oluşturmuş ve oluşturdukları indeksi Barretonnette Havzası (Güney Fransa Alpleri) için test etmişlerdir. Potential Damage Index (PDI) adını verdikleri indeks, heyelanların sebep olduğu direk (fiziksel yaralanma, fonksiyonel ve yapısal hasar) ve dolaylı (sosyoekonomik etkiler) sonuçların analiz edilmesini ve haritalanmasını içermektedir. Bölge içerisinde risk altındaki unsurlar belirlenmiş, olası bir heyelan olayı sonucunda unsurlar üzerindeki etkileri ağırlıklı olarak değerlendirilmiştir. Uygulama doğrultusunda risk haritaları üretilmiş, üretilen haritaların karar vericilerin ve sigorta şirketlerinin kullanımına uygun olduğu vurgulanmıştır.

Tien Bui vd. [81], çalışmalarında Vietnam'ın Hoa Binh bölgesine ait geniş ölçekli heyelan tehlikesini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Bu doğrultuda 1990 - 2010 yılları arasında çeşitli kaynaklardan elde edilmiş 21 yıllık veriyle bölgeye ait heyelan envanter haritası hazırlanmıştır. Geçmiş heyelan verilerinin incelenmesiyle edinilen bilgiler ışığında tetikleyicinin bölgeye düşen yağışlar olduğu belirlenmiştir. Heyelan olaylarından önce gerçekleşen yağışların günlük ve kümülatif değerlerinden yağış eşiği elde edilmiştir. Envanter üzerinde yapılan çalışmalarda, heyelanın gerçekleşmesinden önceki 15 günlük yağış periyodunun değerlendirilmesi uygun görülmüştür. Heyelanların mekansal olasılığının belirlenmesi için lojistik regresyon, destek vektör makinesi, Bayesian düzenlemeli sinir ağları, bulanık mantık, kanıtsal mantık yöntemleri kullanılarak, 5 farklı heyelan duyarlılığı haritası elde edilmiştir. Yağış verilerine Poisson olasılık modeli uygulanmış, zamansal heyelan olasılığı belirlenmiştir. Çalışma alanı içerisinde özel olarak belirlenmiş 15 heyelan üzerinde, zamansal ve mekansal olasılık çıktılarıyla 1, 3 ve 5 yıllık heyelan tehlike analizi yapılmıştır.

Wu ve Chen [32] çalışmalarında, 760 km<sup>2</sup> alana sahip Shihmen havzasının 1996 - 2009 yılları arasına ait heyelan envanterini, 13 farklı heyelan duyarlılık faktörünü ve bu olaylarla bağlantılı yağış verilerini kullanarak, heyelanların alansal, mekansal ve zamansal analizinin yapılmasını amaçlamışlardır. Litoloji, yamaç eğimi, bakı, yükseklik, NDVI (Normalized Differential Vegetation Index), arazi pürüzlülüğü, yamaç pürüzlülüğü, toplam yamaç yüksekliği, yola uzaklık, faya uzaklık ve akarsuya uzaklık gerçek öncelikli faktörler olarak seçilirken, dış

tetikleyici faktör olarak yağış seçilmiştir. Tayfun ve şiddetli yağışlar tarafından heyelanlar tetiklenmiş, olay süresince yağış gözlem istasyonlarından saatlik yağış verileri alınmış, çalışmada göz önünde bulundurulmuştur. Gerçekleşmesi muhtemel aşırı yağışların belirlenmesi, yağış verilerinin frekans analizleri yapılmıştır. Çalışmada Poisson olasılık modeli geçmiş heyelan olaylarının tekrarlanma aralığını ve varsayıma dayalı heyelanların zamansal olasılığını hesaplanması için kullanılmıştır. Heyelanların zamansal olasılığına yönelik olarak; yağışın 2, 5, 10, 20, 50, 100 ve 200 yıllık tekrarlanma aralıkları için aşılma olasılığı belirlenmiştir. Heyelan bölgesi alansal olasılığının belirlenmesinde Pearson Tip 5 olasılığı uygun görülmüş, şiddet fonksiyonu kullanılarak analiz edilmiş, 1996 - 2005 arasında meydana gelen yeni heyelanlara dayandırılmıştır. Çalışma sonucunda heyelan olması muhtemel alanların %6.8'nin 10000 m<sup>2</sup>'yi aşmasının söz konusu olduğu vurgulanmıştır.

Luca vd. [39], jeolojik ve jeomorfolojik arazi çalışmaları, Cellular Automata doğrultusunda sayısal simülasyonların istatistiksel analizler ile birleştirilmesiyle çok disiplinli bir yöntem uygulamış, yüzey akımlarının tehlike analizinin yapılmasını amaçlamıştır. Yürütülen tehlike değerlendirmesi için gerekli alt yapıyı sağlayacak olan; duyarlılığın belirlenmesi, etkilenecek örtü malzeme kalınlığı, zamansal olasılığın hesaplanması ve potansiyel heyelanların sayısallaştırılmasında farklı yöntemler kullanılmıştır. İtalya'nın Sorrento Yarımadası, sıklıkla heyelan olayı yaşanmasından kaynaklı çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmada elde edilen tehlike haritalarının yer kullanım planlamasında yeterli olduğu ancak gelecek çalışmalarda insan etkisi ile yüzey akışı arasındaki ilişkiye ait farklı parametrelerin de katılmasının gerekliliği belirtilmiştir.

Tay vd. [54] çalışmalarında Malezya'da yer alan Penang Adası için heyelan tehlike haritası üretilmesi için Poisson dağılımını kullanmışlardır. Öncelikle heyelan tehlikesinin hesaplanmasında 22 nedensel faktör Poisson dağılımı kullanılarak, göz önüne alınmış; her faktör analizden teker teker çıkartılarak, analiz tekrar edilmiş, baskın faktörlerin belirlenmesi sağlanmıştır. Son olarak, baskın faktörlerle dağılım tekrar edilip, final harita çıktısı elde edilmiştir.

Çin'in Zhejiang Bölgesini çalışma alanı olarak seçen Wu vd. [42], çalışmalarında öncelikle litoloji, yapısal jeoloji, yamaç morfolojisi ve açısı, yüzey suları ve insanlar tarafından neden olunan jeomorfolojik değişimleri göz önüne almış, Information-Matter-Element yöntemiyle heyelan duyarlılığı analizi yapmışlardır. Yağış verilerinden, yağış miktarı ve yağış yoğunluğunun elde edilmesi ile Efektif Yağış Modeli belirlenmiştir. Yağış eşiğinin hesaplanması ve yağış eşiği haritalarının oluşturulması amacıyla, geçmiş heyelanlar ile yağış efektif yağış ilişkilendirilmiştir. Heyelan tehlike haritası ve yağış eşiği haritalarının üst üste bindirilmesiyle 5 seviyeli uyarı haritası elde edilmiştir. Ağustos 2004'te gerçekleşen "Yunna" tayfunu süresince, heyelan tehlike haritaları ve gerçek zamanlı yağış bilgisine dayalı gerçek zamanlı uyarı sistemi olduğu belirtilmiş. Çalışma sonucunda heyelan tahmininde CBS'ye dayalı tekniklerin tatmin edici olduğu vurgulanmıştır.

Kumar ve Anbalagan [82], Hindistan'ın Tehri bölgesine ait heyelan duyarlılığı haritalarının hazırlanması için CBS tabanında frekans oranı ve bulanık mantık yöntemlerini kullanmışlardır. Heyelana neden olan faktör altlıklarının hazırlanması ve heyelan envanter haritalarının elde edilmesi amacıyla zamana bağlı uzaktan algılama verileri kullanılmıştır. Hazırlanan SYM ile eğim, bakı, göreceli yükseklik, profil eğrisellik, topoğrafik nemlilik indeksi ve SPI elde edilmiştir. Heyelan duyarlılık analizinde frekans oranı kullanılarak, her faktörün özelliğine göre değer verilmiş, öncelikli topoğrafik özellikler belirlenmiştir. Bulanık mantık yöntemi kullanılarak, frekans oranı yöntemiyle elde edilen değerlerin öznelliği azaltılmıştır. Modelin doğruluğu kümülatif yüzde eğrisi ile değerlendirilmiş, elde edilen heyelan duyarlılık haritasının (gama= 0.95) kümülatif yüzde eğrisi altında kalan alanı %83.4 olarak hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda frekans oranı ve bulanık mantığın heyelan uygulamasında başarılı olduğu vurgulanmıştır.

Lee vd. [83] Güney Kore içerisinde yer alan Deokenkri ve Karisanri bölgeleri için heyelan tehlike analizleri yapmayı amaçlamış, bu doğrultuda CBS uygulamalarından faydalanarak lojistik regresyon yöntemini kullanmışlardır. Yapılan çalışmada geçmiş heyelanların gerçekleşmesinde etken faktörler incelenmiş, heyelan tetikleyicisi olarak yağış kabul edilmiştir. Bölgeye ait heyelanların gerçekleşmesine sebep olan yağış olasılığının tahmin edilebilmesi

için Gumbel Dağılımı kullanılmıştır. Heyelanların 202 mm/günlük yağış veya kümülatif 449mm/3günlük yağışlar tarafından tetiklendiği anlaşılmıştır; 1, 3, 10, 50 ve 100 yıllık periyotlarda bölge içerisinde heyelanların gerçekleşme olasılığı hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda muhtemel heyelanların belirlenmesinde CBS ve lojistik regresyon yöntemlerinin etkili olduğu vurgulanmıştır.

Heyelanların fiziksel özelliklerinin ve davranışlarının anlaşılması için heyelan envanter haritalanmasının önemini vurgulayan Marc ve Hovius [84], çalışmalarında alan - frekans dağılımını ve heyelan büyüklüğünü hesaplamış, sismik aktivite veya topoğrafik özellikleri gibi fiziksel parametrelerin heyelanlarla ilişkilerini istatistiksel olarak test etmişlerdir. Birbiriyle ilişkili heyelanların tek bir poligon olarak haritalandığı Amalgamation (Karışım) yaklaşımında heyelanların istatistiksel olarak sapmalara neden olabileceği düşünülmüştür. Deprem tarafından tetiklenen heyelanlar farklı teknikler ve materyaller kullanılarak, 5 adet envanter harita elde edilmiştir. Karışımından elde edilen sonuçların; power-law yaklaşımına dayalı alan - frekans dağılımının ve toplam heyelan büyüklüğünden kaynaklanan hataların, yaklaşık %50 ve üzerinde olması beklenmiştir. Bundan dolayı karıştırılmış poligonların otomatik olarak düzeltilmesi için hava görüntüleri ve sayısal yükseklik modeline dayalı bir algoritma geliştirilmiştir. 1994 yılında gerçekleşen Northridge Depremi tarafından tetiklenen heyelanlardan yola çıkarak, 1000 m<sup>2</sup>'den geniş bir alana sahip 2000 poligon üzerinde algoritma test edilmiştir. Haritalanan poligonlardan %92.5'i doğru olarak belirlenmiş, sadece %2.7 – 3.6 arasında bir kayıp söz konusu olmuştur. Çalışmada kullanılan yaklaşım heyelan envanter haritalarının doğrulanması ve hızlı bir şekilde düzeltilmesinde etkili olduğu vurgulanmıştır.

Segoni vd. [85] çalışmalarında, yağış tarafından tetiklenen heyelanların gözlenmesi amacıyla İtalya'nın Tuscany bölgesine (23000 km<sup>2</sup>) yönelik erken uyarı ve gözlem sistemi oluşturduklarını belirtmişlerdir. Sistem içerisinde 300' den fazla yağış gözlem istasyonu kurulmuş, gerçek zamanlı yağış verileri elde edilmiştir. Gerçek zamanlı yağış verileri ve LAMI (Limited Area Model of Italy) yağış bilgilerine uygun hale getirilmiş, 1-D yağış eşiği sistemine dayandırılmıştır. 2 yıllık gözlem gözlem esnasında zamansal ve mekânsal bağlantı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Çalışma alanı içerisinde 25 alarm bölgesi belirlenmiş, her

bölgeye ait 25 farklı yağış eşiği değeri hesaplanmıştır. Sistem WebGIS üzerinden yürütülmüş, her yağış istasyonundan alınan veri 48 saate kadar güncel olarak yağış eşiği değeri ile karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Çalışmada karar vericiler ve bilim adamlarının kullanımına yönelik bir sistem sunulmaya çalışıldığı vurgulanmıştır.

Wu vd. [86] çalışmalarında 21.06.2005 ile 18.06.2010 tarihlerinde Çin'in Yushang Köyünde gerçekleşen yoğun yağışların tetiklediği heyelan olaylarını ele almışlardır. Heyelan tetiklenmesinde etkin fiziksel yağış eşiği için Mohr-Coulomb ve Darcy yasasına bağlı model uygulanmıştır. Mohr-Coulomb güç kriteri ve sonsuz yamaç modeline dayalı, örselenmiş zeminin boyutsuz kalınlığına (m) bağlı olarak, güvenlik faktörü belirlenmiştir. Darcy yasası ile yağışın sızma modeli m olarak hesaplanmıştır. Yağış yoğunluğuna bağlı m değerinin eşik değeri geçmesiyle, heyelan oluşumu ilişkisi irdelenmiştir. Önerilen model için hem saatlik hem de günlük yağış eşiği belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen değeri heyelan tetiklenmesinde etkin olmamış, gelecek çalışmalarda çevresel koşulların da göz önüne alınması gerektiğine dikkat çekilmiştir.

Ercanoğlu vd. [16] çalışmalarında Türkiye'nin Bayı Karadeniz Bölgesi içerisinde yer alan Karabük iline bağlı Yenice ilçesini çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Çalışmada heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılan heyelan veri setlerinin oluşturulması öncelik olarak alınmıştır. Çalışma alanını doğru temsil eden veri setlerinin oluşturulması için Chebyshev teoremi uygulanmıştır. Bu doğrultuda Havza 1 (Çalışma) ve Havza 2 (Test) sahası olarak çalışma bölgesi ikiye ayrılmıştır. Çalışmada beş adımdan oluşan bir metodoloji izlenmiştir. Birinci adımda hava fotoğrafları ve ortofoto görüntülerinden heyelanların olası yerleri belirlenmiş, arazi çalışmalarında belirlenen bölgelere gidilerek topoğrafik harita üzerinde işaretlenmiştir. Arazi çalışmalarının yanı sıra, bölgede yapılan önceki çalışmalar ve arşiv veriler incelenmiştir. İkinci adımda çalışma alanına ait 9 farklı parametre haritası elde edilmiştir. Sayısal topoğrafik haritalardan sayısal yükseklik modeli oluşturulmuş; eğim, bakı, profil eğrisellik, plan eğrisellik, akış gücü indeksi, topoğrafik nemlilik parametre haritaları elde edilmiştir. ASTER uydu görüntülerinden kırmızı ve yakın kızılötesi bantlardan faydalanılmış, normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi haritası oluşturulmuştur. Sayısal yükseklik modeli ve 1/25000 ölçekli topoğrafik haritaların CBS ortamında analiziyle drenaj

kanalları belirlenmiş, drenaja olan uzaklık haritaları üretilmiştir. Litoloji, heyelan duyarlılığı çalışmalarında en önemli parametrelerden biri olmasına rağmen çalışma alanında heyelanların sadece Ulus Formasyonu adı verilen birimde gerçekleşmesinden parametre olarak göz önüne alınmamıştır. Çalışmanın üçüncü basamağında yalnızca Havza 1 için heyelan parametrelerinin istatistiksel dağılım analizi temel alınmıştır (SRT1). Heyelanlı ve heyelansız bölgelerin bölgelerin minimum, maksimum ve standart sapma gibi temel istatistiksel belirteçleri tüm raster formattaki parametre haritaları için analiz edilmiştir. Chebyshev teoreminin parametrelere uygulanması sırasında k değeri 1.25 ve 3.00 arasında değiştirilmiş, 8 farklı veri seti elde edilmiştir. Heyelanlı ve heyelansız alanlara uygulanan yaklaşım ile belirlenen parametrik veri aralığı yeniden sınıflandırılmıştır. CBS ortamında her parametre haritası için oluşturulan sınıflandırılmış görüntüler ile cebirsel cebirsel çarpım yapılmış ve sonuç olarak her k değeri için 8 farklı veri seti oluşturulmuştur. Dördüncü adımda Havza 1 çalışma alanı için kök hücre yaklaşımı (Doyuran ve Süzen, 2004) uygulanmıştır (STR2). Üçüncü ve dördüncü basamağın sonucunda 9 farklı veri seti elde edilmiştir. Beşinci basamakta elde edilen 9 veri seti için yapay sinir ağları yöntemiyle 9 farklı heyelan duyarlılığı haritası üretilmiştir. ROC modeli ile test edilen duyarlılık haritaları içerisinde, en iyi performansı Chebyshev teoreminin uygulandığı ve  $k=2$  değerine sahip duyarlılık haritası göstermiştir. Test alanı olarak belirlenmiş Havza 2 için aynı uygulamalar yapılmış, 9 farklı heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Havza 1 için elde edilen performans testi sonucu Havza 2 için de aynı çıkmıştır. Çalışma sonucunda kullanılan uygulama yöntemleri dengesiz veri setlerinde kullanılabilirliğini göstermiş, heyelan duyarlılık haritalama çalışmalarında büyük veri kullanımı problemlerini en aza indirdiği belirtilmiştir.

Hamza ve Raghuvanshi [56], çalışmalarında Etiyopya'nın merkezinde yer alan Jeldu bölgesinin heyelan tehlike analizinin yapılmasını ve haritalanmasını ele almışlardır. Bu doğrultuda çalışma alanı envanter haritaları ve uydu görüntüleri değerlendirilmiş, arazi çalışmaları sonucunda 34 heyelan haritalanmıştır. ASTER uydu görüntülerinden elde edilen SYM'den; eğim, bakı ve yükseklik faktörleri elde edilmiştir. Nedensel bu faktörlerin yanı sıra, litoloji, toprak kütlesi, toprak kullanımı da göz önünde bulundurulmuştur. Heyelanlar ile her nedensel faktörün birebir



ilişkinini frekans oranı yöntemiyle ele almışlardır. Faktörlerin frekans oranının belirlenmesiyle, bölgeye yönelik heyelan tehlike haritası CBS ortamında raster hesaplayıcı ile üretilmiştir.

Ko ve Lo [87] çalışmalarında Hong Kong şehri içerisinde yer alan doğal alanların geçmişte yapılmış heyelan duyarlılık haritalarını ve hazırlanmaları sırasında yaşanan kısıtlayıcı unsurları ele almışlardır. Bu doğrultuda kayaç jeolojisi ve yamaç eğimi etkisi göz önüne alınarak yağış temelli heyelan duyarlılık analizleri çalışmada sunulmuştur. CBS ortamında heyelan duyarlılığı analizleri yapılırken aşağıdaki adımlar izlenmiştir:

- a) Çalışma alanına ait 23 yıllık heyelan verileri çıkartılmıştır.
- b) Yağış şiddetinin 24 saatlik maksimum yağış ile normalize edilmiştir. Bunun sonucunda 6 gruba ayrılmıştır; I: 0.025-0.10, II: 0.10-0.15, III: 0.15-0.20, IV: 0.20-0.25, V: 0.25-0.30 ve VI: 0.30-0.35. Burada sınıflandırma yapılırken heyelan oluşumuna sebep olabilecek yağış şiddetinin temsil edilmesi hedeflenmiştir.
- c) Yamaç eğimleri 8 gruba ayrılmıştır;  $<15^\circ$ ,  $15^\circ-20^\circ$ ,  $20^\circ-25^\circ$ ,  $25^\circ-30^\circ$ ,  $30^\circ-35^\circ$ ,  $35^\circ-40^\circ$ ,  $40^\circ-45^\circ$  ve  $>45^\circ$ .
- d) 1/20.000 ölçekli jeolojik haritalarda kayaçlar intrüzif, volkanik ve sedimenter olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır.
- e) Yılına ve yerine bağlı olarak geçmiş heyelanlar üzerinde etkili olan yağış şiddeti sınıfı, yamaç eğimi sınıfı ve kayaç sınıfı belirlenmiştir.
- f) Yağış şiddeti sınıfı, yamaç eğimi sınıfı ve kayaç sınıfı bir araya getirilerek toplam 144 farklı birleşik sınıf oluşturulmuş, 23 yıllık heyelan verisiyle kıyaslanmış, toplam etkilenen alan ( $\text{km}^2$ ) belirlenmiştir.
- g) Yıla bağlı olarak gerçekleşen heyelan sayısı ve heyelan yoğunluğu hesaplanmıştır (heyelan sayısı/ $\text{km}^2$ ).
- h) Kayaçların, yamaç eğimi ve yağış ilişkisi tablo haline getirilmiştir.

Robbins [88], erken uyarı sistemleri ve tahminlerine yönelik, Papua Yeni Gine'de gerçekleşen yağış ve heyelan ilişkisini değiştirilmiş Bayesian tekniği ile ele almıştır. Değişen yağış birikimi-yağış süresi ve yağış şiddeti-yağış süresi ile heyelanların olma olasılığını hesaplamayı hedeflemiştir. 1998-2009 yılları arasında gerçekleşen orta- büyük ölçekli heyelanların envanter haritalarını ve

günlük uydu hava tahmini verilerini kullanmıştır. 5, 10, 15, 30, 45, 60, 75 ve 90 günlük geriye dönük verilerin biriken yağış ve şiddetinin heyelanlar üzerindeki etkisini çalışmada dikkate almıştır. Çalışma sonucunda yağış birikimi-yağış süresi ve yağış şiddeti-yağış süresi parametreleri bölge için analiz edildiğinde, heyelanların tetiklenmesine sebep olan en iyi yağış eşiği değerinin yağış birikimi ve süresinden elde edileceği kanısına varılmıştır. Yüksek birikimli (>250 mm), kısa süreli (<15 gün) ve uzun süreli (>75 gün), yüksek birikimli (>1200 mm) yağış olaylarının bölgedeki heyelanlar üzerinde etkili olduğu belirtilmiştir.

Vasu vd. [57] çalışmalarında Kore'nin kuzeydoğusunda yer alan Deokheok-ri Creek bölgesinin heyelan duyarlılık ve heyelan tehlike haritalanmasını hedeflemişlerdir. Çalışma alanında yer alan heyelanların zamansal olasılığını belirlemeye yönelik 14 Haziran 2006'da gerçekleşen yağış olayını ele almışlardır. Buna yönelik olarak doymuş hidrolik iletkenlik, depolama kapasitesi, 20 günlük geriye dönük yağışlar ve aralıksız yağışlar faktör olarak alınmış, lojistik regresyon yaklaşımıyla yüksek AUC değerine sahip iyi bir performans elde etmişleridir. 10 m çözünürlüğe sahip SYM haritalarından elde edilen; eğim, eğrisellik, bakı, yükseklik, topoğrafik nemlilik indeksi, akış gücü indeksi, sediman taşınım indeksi, göreceli yükseklik, drenaja olan uzaklık ve drenaj yoğunluğu faktörleri çalışma alanının duyarlılık haritalarını elde etmekte kullanılmıştır. Bu faktörlere ek olarak 1/25000 ölçekli orman haritalarından elde edilen orman tipi faktörleri de çalışmada yer almıştır. Duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan lojistik regresyon analizleri, yüksek performanslı haritaların elde edilmesini sağlamıştır.

Chang vd. [89] çalışmalarında Tayvan'ın kuzeyi ve güneyine yönelik yağış kinetik enerjisi ve yağış şiddeti ilişkisini anlamayı hedeflemiştir. 2006-2012 yıllarında gerçekleşmiş 76 heyelan olayı heyelan eşiğinin belirlenmesi için ele alınmıştır. Yağış şiddeti(I) ve yağış süresi (D) fonksiyonundan yola çıkılarak Tayvan'ın kuzeyini ve güneyini temsil eden iki yağış eşiği verisi elde edilmiştir sırasıyla;  $I=13.81 D^{-0.31}$  ve  $I =66.44 D^{-0.57}$ . Tayvan'ın kuzeyinde gerçekleşen heyelan olaylarının 10 saati aşkın süreyle gerçekleştiği, güneyinde ise 16 ile 18 saat arasında gerçekleştiği bilgisine ulaşılmıştır. Yağış kinetik enerjisi kuzey bölgesi için zayıf kalırken, güney bölgede yağış tarafından tetiklenen heyelanlarda etkili olduğu belirtilmiştir.

Lin vd. [59] Tayvan'ın güneybatısında yer alan yaklaşık 171 km uzunluğa ve 3256.85 km<sup>2</sup> alana sahip Kaoping Nehri Havzasını çalışma alanı olarak belirlemiş, yağışlar tarafından tetiklenen heyelanların duyarlılık analizlerini yapmayı hedeflemişlerdir. Heyelan envanter haritaları Global Earth Observation and Data Analysis Center (<http://geodac.rsh.ncku.edu.tw/bin/home.php>) aracılığıyla elde edilmiştir, uydu görüntüleri ile kıyaslanmış ve dikkatli bir şekilde adapte edilmiştir. 2008 yılı yeni heyelanların oluşması için ilk yıl olarak belirlenmiş, takip eden yıllarda gerçekleşmesi halinde reaktif heyelanlar olarak belirtilmiştir. 2010 ve 2011 yıllarında çok sayıda heyelanın reaktif olduğu gözlenmiştir. Morakot Tayfununun sebep olduğu şiddetli yağışların etkisiyle bu heyelanların gerçekleştiğine dikkat çekilmiştir. Heyelanların mekânsal oluşumlarında 2008-2011 yılları arasında gerçekleşen 48 saatlik maksimum yağış verileri göz önüne alınmıştır. Yükseklik, eğim, bakı, eğrisellik, plan eğrisellik, profil eğrisellik, eğim uzunluğu, TWI olmak üzere 8 topoğrafik faktör haritası kullanılmıştır. 15 farklı gruptan oluşturulan çalışma alanına ait litoloji haritası heyelana olan duyarlılıklarına göre 0 ile 1 arası normalize edilmiştir. Çalışmada insan aktivitesi ve çevresel etkileri göz önünde bulundurmamak amacıyla dere, fay ve yollara olan mesafeler göz önüne alınmıştır. En iyi heyelan duyarlılık modelinin oluşturulması için ISOLO (Improved Self-Organizing Linear Output Map), 4 kernel fonksiyonu ile hesaplanmış SVM (LN-SVM, PL-SVM, RBF-SVM ve SIG-SVM) ve lojistik regresyon yöntemleri kıyaslanmıştır. Modellerin performansları ROC yöntemi ile test edilmiş, RBF-SVM modelin çalışma alanı için daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Marjanovic vd. [90] çalışmalarında Sırbistan'ın merkezini ve batısını olmak üzere, Bosna Hersek'in de bir kısmını içine alan yaklaşık 70300 km<sup>2</sup> alana Sava Nehri Havzasını seçmişlerdir. 2001- 2014 yılları arasında gerçekleşen yağış tarafından tetiklenen heyelanlar göz önünde bulundurulmuştur. Yağış heyelan ilişkisinin belirlenmesi için Karar Ağacı algoritması kullanılmıştır. Karar Ağacı algoritmasının kullanılmasının sebebi olarak heyelanların oluşmasına sebep olan kritik kümülatif yağış dağılımı ve yağış eşiğinin belirlenmesinin mümkün olması gösterilmiştir.

Palladino vd. [91] çalışmalarında İtalyan Alplerinde yağışla ilişkilendirilmiş 2000-2012 yılları arasında gerçekleşmiş 511 heyelan olayını ele almışlardır.

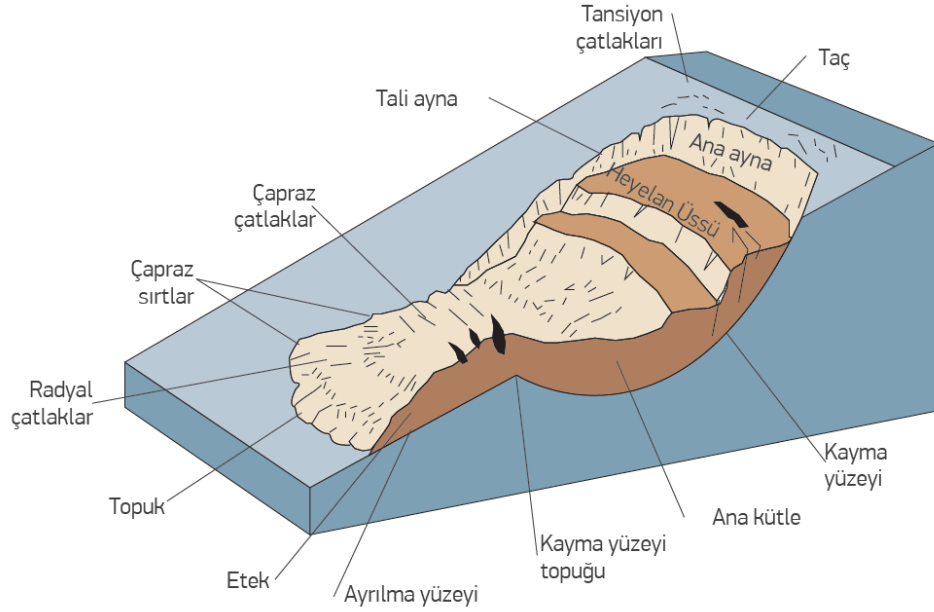
Heyelanların gerçekleşmesine sebep olan 453 yağış olayı belirlenmiştir. Hazırlanan verilerden sığ heyelanların oluşmasına sebep olan toplam yağış olayı-yağış süresi (ED) eşiği elde edilmiştir.

Naidu vd. [92] yağışlar tarafından tetiklenen heyelanların bulunduğu Hindistan'ın Amboori bölgesine için yağış eşiği ve yamaç duraylılığı analizi çalışması yapmışlardır. Heyelanların tetiklenmesinde geriye dönük 2, 3 ve 5 günlük yağış verileri kümelenecek, kıyaslanmıştır. Kümelenen kritik yağış olayları regresyon analizi ile eşik değerin elde edilmesinde kullanılmıştır. 5 günlük geriye dönük yağış (x değişkeni) ve günlük yağış (y değişkeni) eşik değer fonksiyonunun belirlenmesinde en uygun veriler olarak belirlenmiştir. Ayrıca çalışma alanının yamaç duraylılığı analizleri yapılmış, heyelan duyarlılığı yüksek alanlar belirlenmiştir. Çalışma sonucunda yağış eşiği ve yamaç duyarlılığı ile elde edilen emniyet katsayısı bilgilerinin Amboori ve benzer özellikteki bölgelerde sığ heyelanlara yönelik erken uyarı sistemlerinde basit ve düşük maliyetli olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır.

Martinovic vd. [93] İrlanda Demiryolları üzerinde bulunan şevlerde gerçekleşen 35 heyelan olayını ve İrlanda genelinde doğal yamaçlarda gerçekleşen 34 heyelan olayını ele almıştır. Saatlik yağış verileri kullanılarak, yağış eşiğine yönelik yağış şiddeti ve yağış süresi (I-D) ilişkisi irdelenmiştir. Yamaçlar ve şevler için yağış eşiği değerleri kıyaslandığında, şevlerin yağış eşiği değerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

### 3. HEYELAN KAVRAMI

Heyelan kavramı, yerçekimi etkisi altında kayaç, moloz ve toprak malzemelerin aşağı yönde hareketi olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.1) ([94]–[98]). Heyelanların gerçekleşmesi üzerinde yoğun ve uzun süren yağışlar, hızlı kar erimeleri gibi iklimsel olaylar, depremler ve çeşitli insan aktiviteleri etkili olabilmektedir.



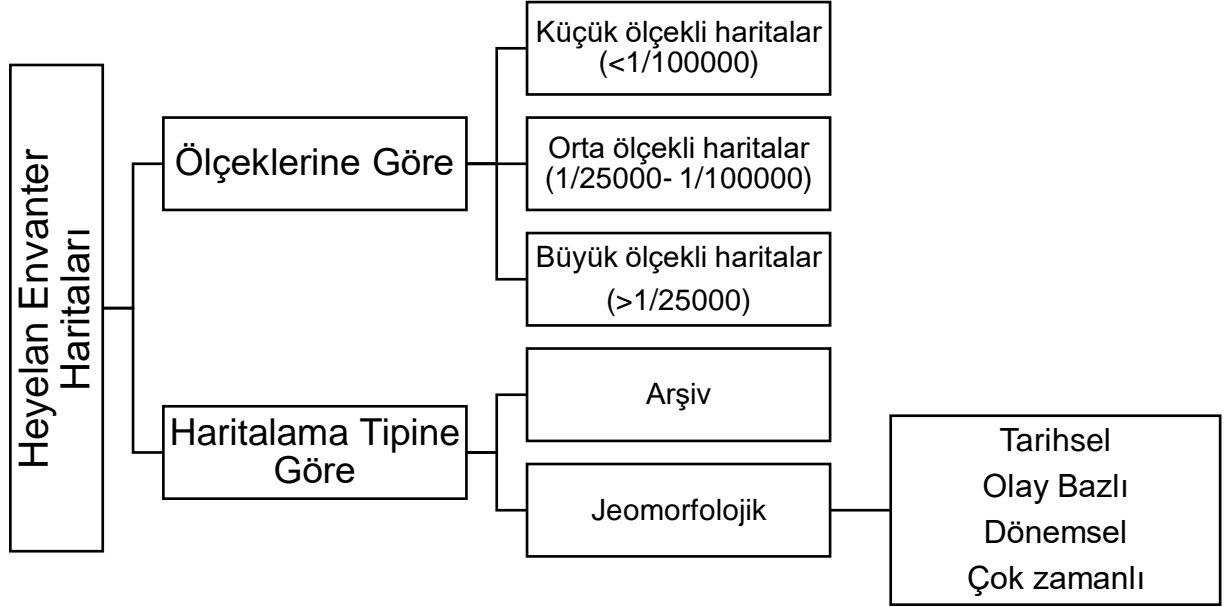
Şekil 3.1. Heyelan terminolojisini gösteren ideal heyelan kesiti [99].

Guzzetti [3] heyelanlara yönelik çalışmalardan elde edilen ürünleri 4 ana grupta incelemiştir:

1. Envanter haritaları ve analizleri
2. Heyelan duyarlılığı ve doğrulanması
3. Heyelan tehlike değerlendirmesi
4. Heyelan risk hesaplamaları

Heyelan envanter haritaları, karar vericilerin, plancıların ve uzmanların kolayca anlayabileceği; heyelan yeri, türü, boyutları, zamanı, tetikleyici parametre özellikleri bilgilerini içermektedir. Heyelan envanter haritaları amaçlarına yönelik olarak, farklı tekniklerin kullanılmasıyla hazırlanmaktadır. Heyelan envanter

haritaları ölçeklerine ve türlerine göre Guzzetti vd. [100] tarafından sınıflandırılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Heyelan envanter haritaları sınıflaması [100].

Küçük ölçekli heyelan envanter haritaları (<1/100000) hazırlanırken, literatür çalışmalarında, kamuya yönelik soruşturmalarda, özel danışmanlıklarda, teknik ve bilimsel raporlamalarda, yayın ve kayıt araştırmalarında, heyelan uzman görüşlerinde ([101]–[105]) kullanılması amaçlanmıştır.

Orta ölçekli heyelan envanter haritaları (1/25000- 1/100000) hazırlanırken, hava fotoğraflarından elde edilen görüntülerin veya tarihsel bilgilerin arazi kontrollerinde kullanılması hedeflenmiştir ([106]–[110]). Büyük ölçekli heyelan envanter haritalarının (>1/25000) hazırlanmasında ise, sınırlı bölgelerdeki arazi çalışmaları, sayısal arazi modellemeleri gibi detaylı çalışma gerektiren konularda kullanılması hedeflenmiştir [111]–[114]).

Arşiv heyelan envanteri, literatürden ve arşivlerden elde edilmiş heyelan bilgilerini ifade etmektedir ([101], [104], [105]). Jeomorfolojik envanter haritaları; tarihsel envanter, olay bazlı envanter, dönemsel envanter, çok zamanlı envanter olarak Guzzetti vd. [100] tarafından ayrılmıştır. Tarihsel envanterlerde 10 yıllık, 50 yıllık veya 100 yıllık dönem içerisinde gerçekleşmiş heyelanlarını göstermektedir

([107], [108], [115], [116]). Olay bazlı envanter, tek bir tetikleyicinin sebep olduğu heyelanları gösterir; deprem ([117]–[119], yağış [120]–[123]), yada kar erimesi [124]. Dönemsel envanter, bir dönem boyunca veya birden fazla dönem boyunca bir veya daha fazla tetiklenen heyelan olayını gösteren haritalardır [125]. Çok zamanlı envanter haritaları, uzun bir süreç içerisinde (bir yıldan 10 yıla kadar değişkenlik gösterebilmektedir) tetiklenen heyelan olaylarını göstermektedir [116].

Heyelan haritalarının hazırlanmasında, geleneksel veya yenilikçi teknolojiler kullanılmaktadır. Geleneksel yöntemler, jeomorfolojik arazi haritalamaları, hava fotoğraflarının yorumlanması; yenilikçi yöntemler, sayısal arazi modelinin yüksek çözünürlükte yüzey morfolojisi analizini, uydu fotoğraflarının değerlendirilmesi ve analizi, amaca yönelik arazi çalışmalarında kullanılan yeni haritalama araçları olarak ifade edilebilir [15].

Heyelan duyarlılığı, muhtemel heyelanların belirlenmesinde heyelan envanter haritalarının ve heyelanların gelişmesinde etkili olan jeolojik, topoğrafik ve çevresel parametrelerin göz önünde bulundurulduğu heyelanların nerede, hangi türde ve hangi koşullar altında gerçekleşeceğine dair soruları yanıtlayan çalışmalardır [126].

Varnes [127]'e göre olası tehlike, zarar verebilme potansiyeline sahip bir doğa olayının belirli bir alanda ve belirli bir zaman aralığında gerçekleşme olasılığı olarak açıklanmıştır. Başka bir deyiş ile heyelan tehlike analizleri, bir alanda heyelanların oluşmasına sebep olan faktörlerin göz önünde bulundurulması, heyelanların tekrar olma olasılığını zamanla ilişkilendirmektir. Guzzetti vd. [66], Varnes [127]'in tanımına uygun bir şekilde revize ederek, tanımın içerisine heyelanların boyutsal olabilirlik kavramını da eklemiştir.

Heyelan risk analizleri, heyelan olayının gerçekleşmesi durumunda çevresel koşulların göz önünde bulundurulması fiziksel etkilerini ve sosyo-ekonomik sonuçlarının nasıl olabileceğini tahmin etme ve görüntülemeyi ifade etmektedir [123].

Tüm bu değerlendirmeler ışığında, genel olarak bir heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmeleri için izlenebilecek yaklaşım Şekil 3.3'de özetlenmektedir.



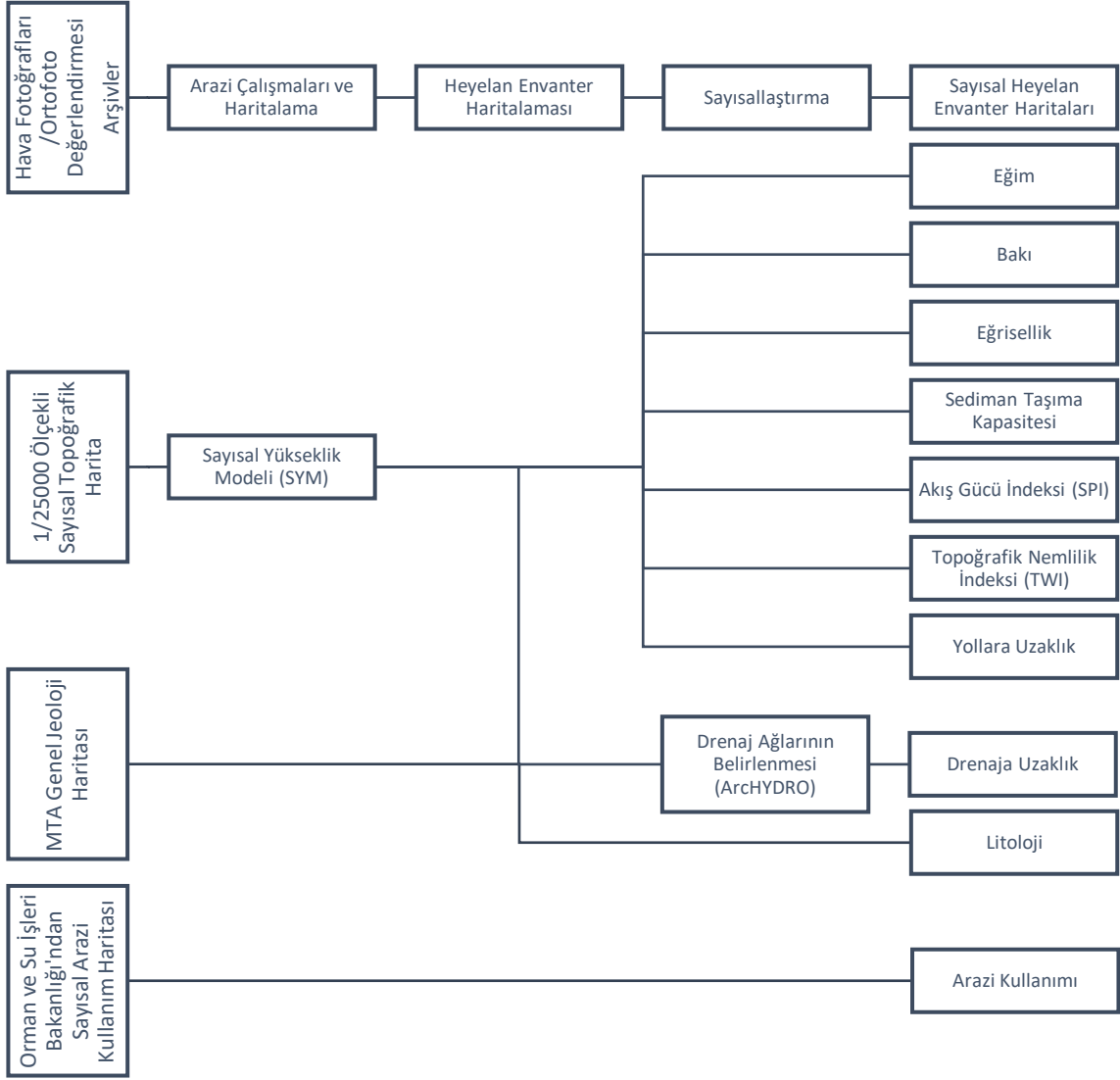
Şekil 3.3. Heyelan değerlendirilmesi ile ilgili akış şeması.



#### **4. HEYELAN ENVANTER VE PARAMETRE HARİTALARININ OLUŞTURULMASI**

Heyelan sonucunda oluşan can ve mal kaybının en aza indirilmesi için heyelan envanter haritaları ve duyarlılık haritaların oluşturulması büyük önem taşımaktadır.

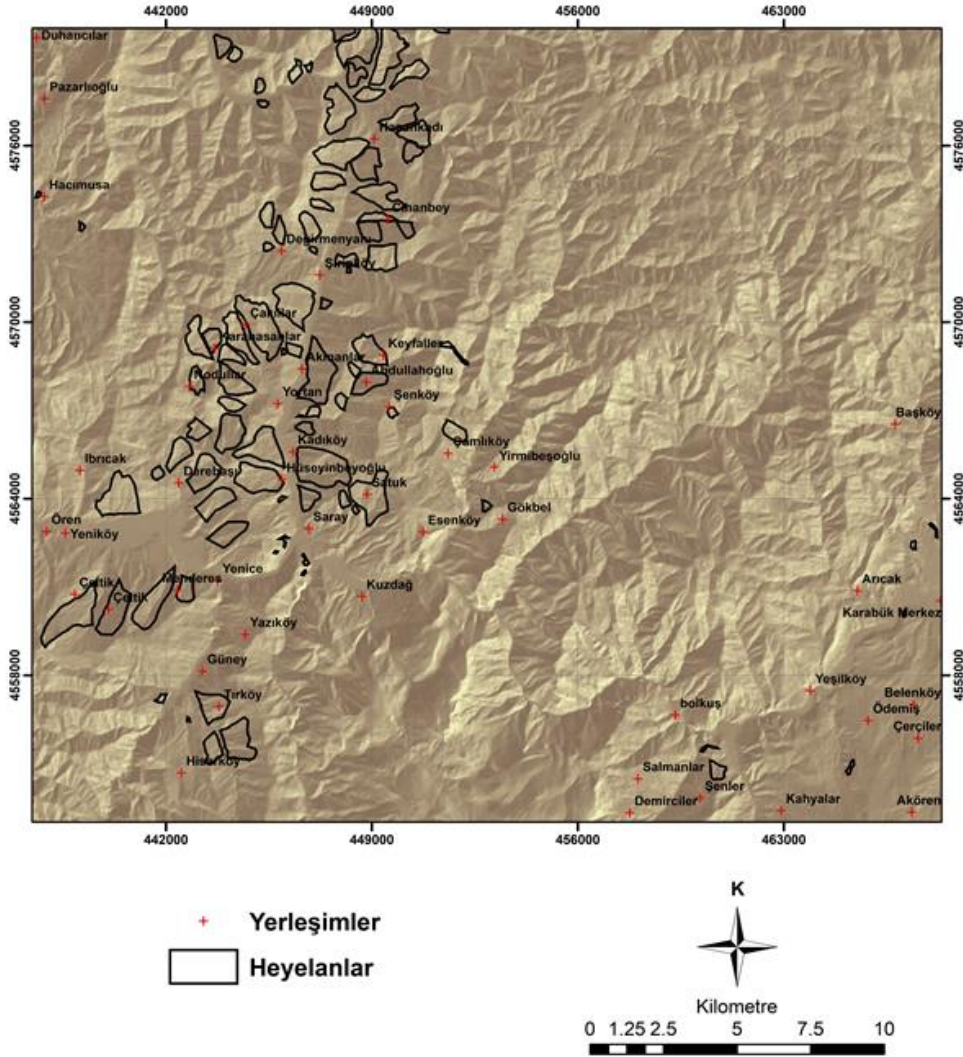
Tez çalışmasının bu kısmında çalışma alanına ait heyelan envanter haritalarının ve heyelan değerlendirmelerine yönelik kullanılan parametrelerin oluşturulması amaçlanmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Çalışma alanına ait heyelan envanter ve parametre haritalarının üretimini gösterir akış şeması.

#### **4.1. Heyelan Envanteri**

Çalışma alanına ait heyelan envanter haritalarının oluşturulabilmesi için öncelikle uydu görüntüleri ve ortofoto görüntüleri incelenmiştir. Görüntülerin yanı sıra AFAD tarafından hazırlanmış bölgeye ait heyelan arşivleri incelenerek elde edilen bilgiler doğrultusunda arazi çalışmaları yapılmıştır. Uzaktan algılama, arazi çalışmaları ve arşiv bilgileri kıyaslanmış ve birleştirilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen heyelan envanter haritası Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Daha önceden de değinildiği üzere, çalışma alanında, 104 adet heyelan haritalanmış, heyelan türü olarak dönel kayma (kütlesel) heyelanlar olarak sınıflandırılmıştır [127].



Şekil 4.2. Çalışma alanında haritalanmış olan heyelanlar ve heyelan envanter haritası.

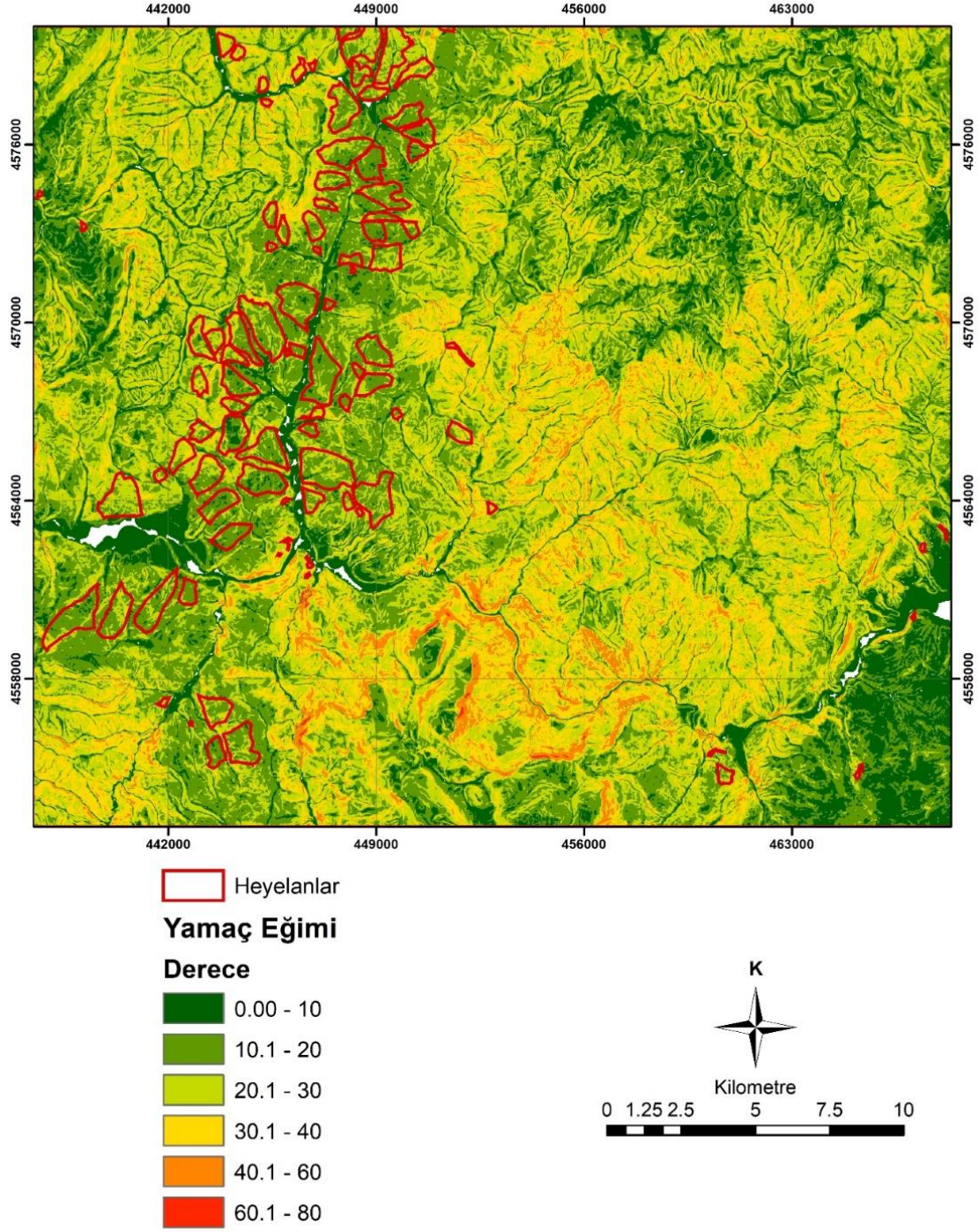
#### 4.2. Heyelan Parametre Haritaları

Heyelan değerlendirmelerine yönelik yapılan literatür çalışması doğrultusunda sıkça kullanılan parametreler belirlenmiştir. Çalışma alanı için 11 adet parametre haritası üretilmiş olup, bu parametreler yamaç eğimi, bakı, litoloji, drenaja uzaklık, topoğrafik yükseklik, yamaç eğriselliği, sediman taşıma kapasitesi indeksi, yollara uzaklık, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), akış gücü indeksi (SPI) ve arazi kullanımı haritalarıdır. Çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalardan 20mx20m çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli (SYM)

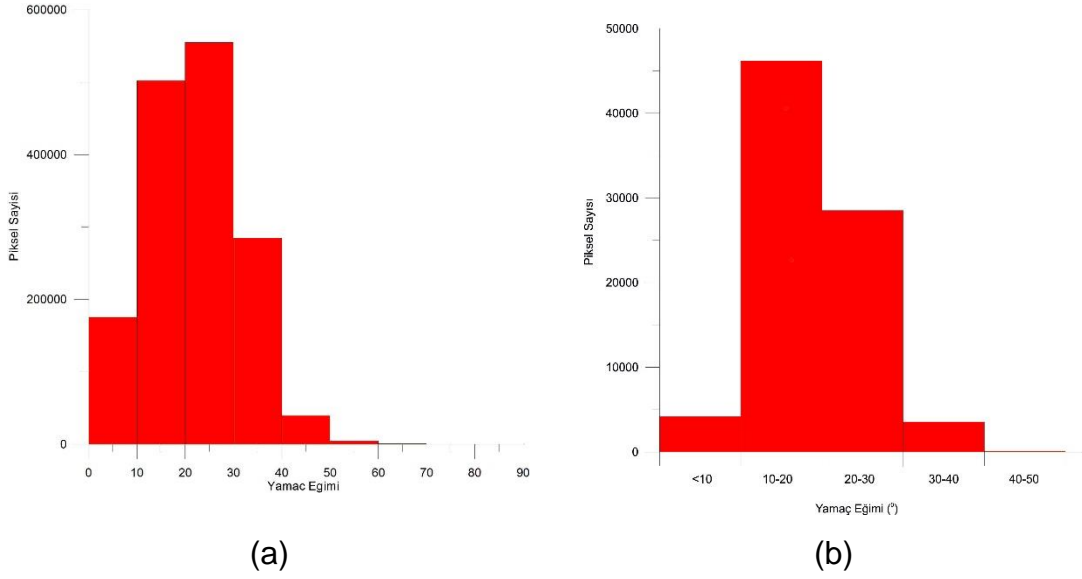
oluşturulmuştur. Bu aşamada parametrelerin nasıl elde edildiği, hangi eşitliklerin kullanıldığı ve çalışma alanına ait parametre haritalarına yer verilmiştir.

#### **4.2.1. Yamaç Eğimi**

Geçmiş heyelan değerlendirme çalışmalarının neredeyse tamamında (%98 oranında) sayısal yükseklik modelinden elde edilen yamaç eğimi parametresinin kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında ArcGIS 10.2 yazılımında yer alan “3D Analyst” uzantısı içerisinde yer alan “Slope” aracı kullanılarak, yamaç eğimi haritası oluşturulmuştur (şekil 4.3). Çalışma alanında yamaç eğimi 0-72<sup>0</sup> derece arasında değerliklik göstermektedir. Heyelanların yüksek eğime sahip bölgelerde olması beklenirken, çalışma alanında heyelanların 10-30<sup>0</sup> eğime sahip bölgelerde yoğunlaştığı gözlenmiştir (şekil 4.4).



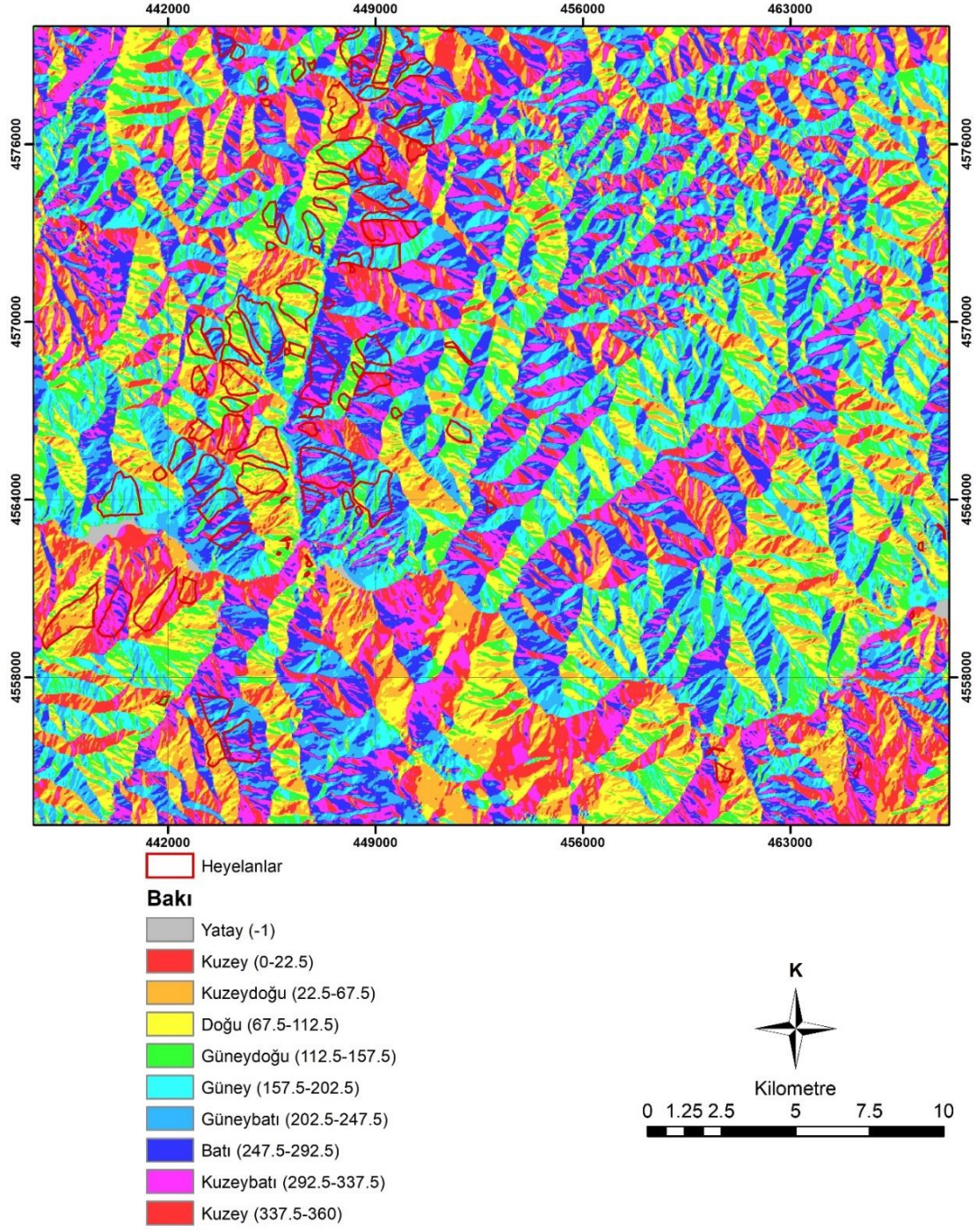
Şekil 4.3. Çalışma alanının yamaç eğimi parametre haritası.



Şekil 4.4. Yamaç eğimi parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı.

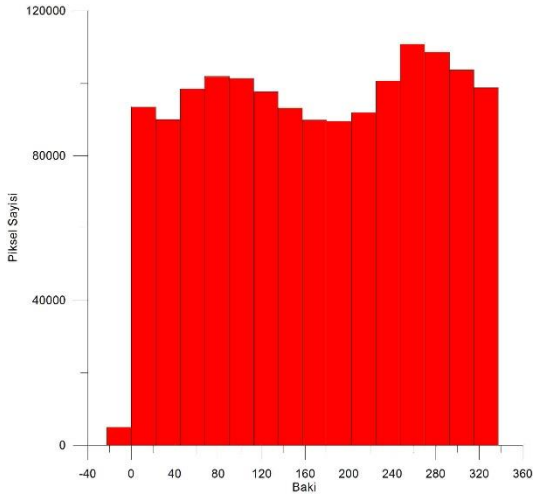
#### 4.2.2. Bakı

Heyelan değerlendirmesinde bakı parametresi çalışma alanının yamaç yönünün yağış, kar erimesi ve yamacın güneş ile bulunduğu temasın heyelanların gerçekleşmesinde etkin bir rol oynayıp oynamadığını anlamlandırmak için dikkate alınmaktadır. Sayısal yükseklik modelinden elde edilmiş bakı haritası, ArcGIS 10.2 yazılımında yer alan “3D Analyst” uzantısı içerisinde yer alan “Aspect” aracı ile üretilmiştir (Şekil 4.5). Bakı değerleri parametresi 9 farklı sınıfa ayrılmıştır; kuzey ( $337.5-22.5^\circ$ ), kuzeydoğu ( $22.5-67.5^\circ$ ), doğu ( $67.5-112.5^\circ$ ), güneydoğu ( $112.5-157.5^\circ$ ), güney ( $157.5-202.5^\circ$ ), güneybatı ( $202.5-247.5^\circ$ ), batı ( $247.5-292.5^\circ$ ), kuzeybatı ( $292.5-337.5^\circ$ ) ve düz( $0^\circ$ ) (Şekil 4.6).

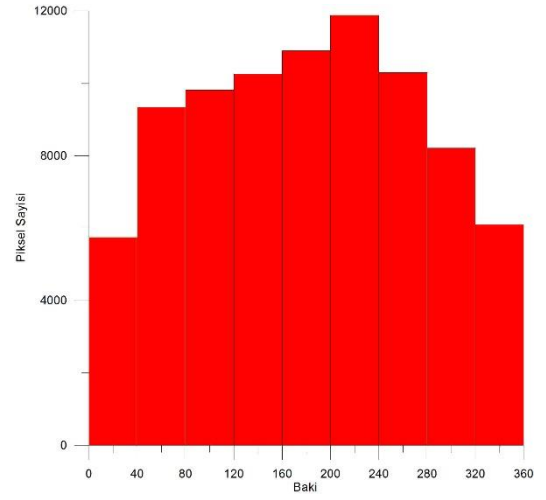


Şekil 4.5. Çalışma alanının bakı parametre haritası.





(a)

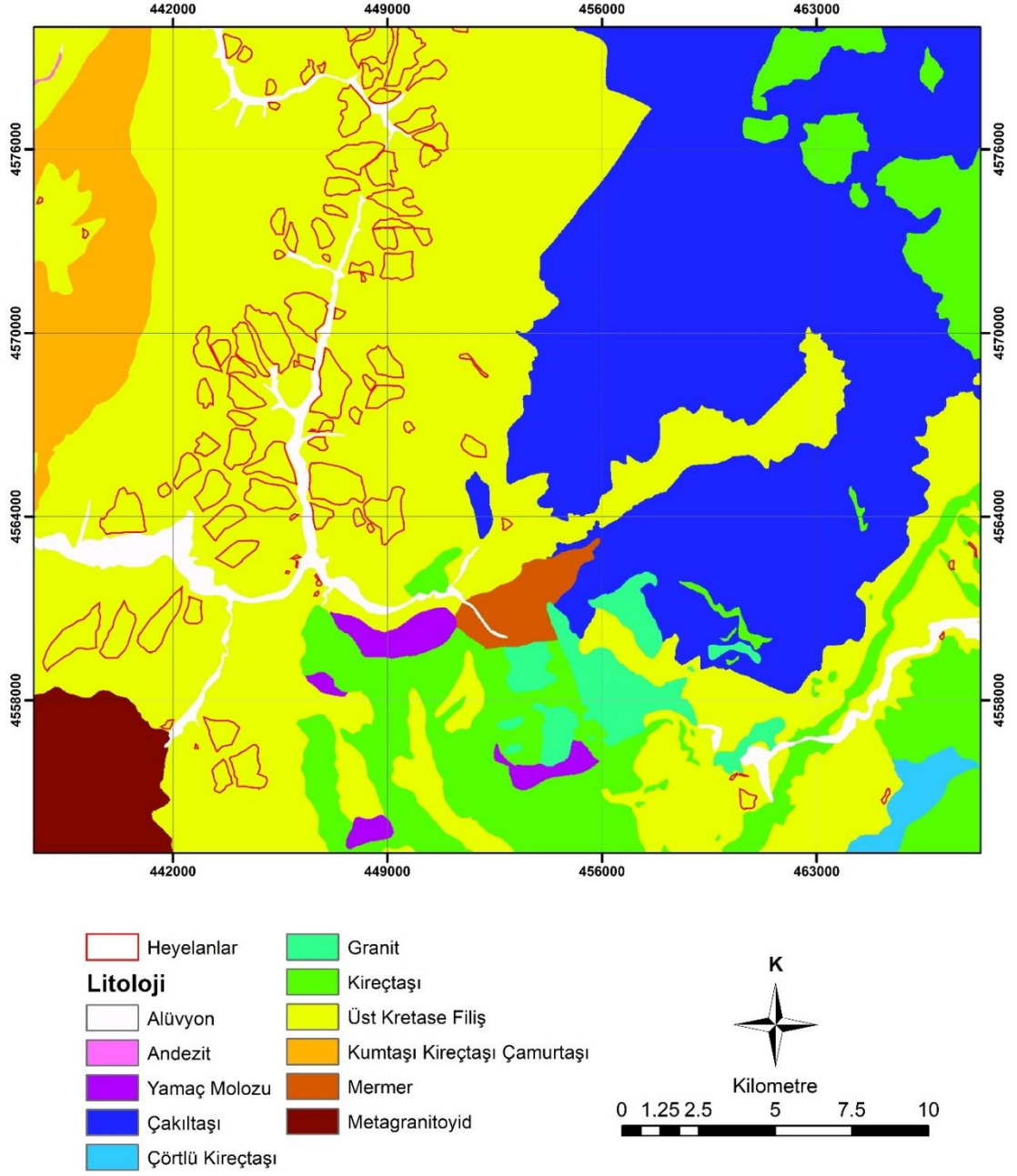


(b)

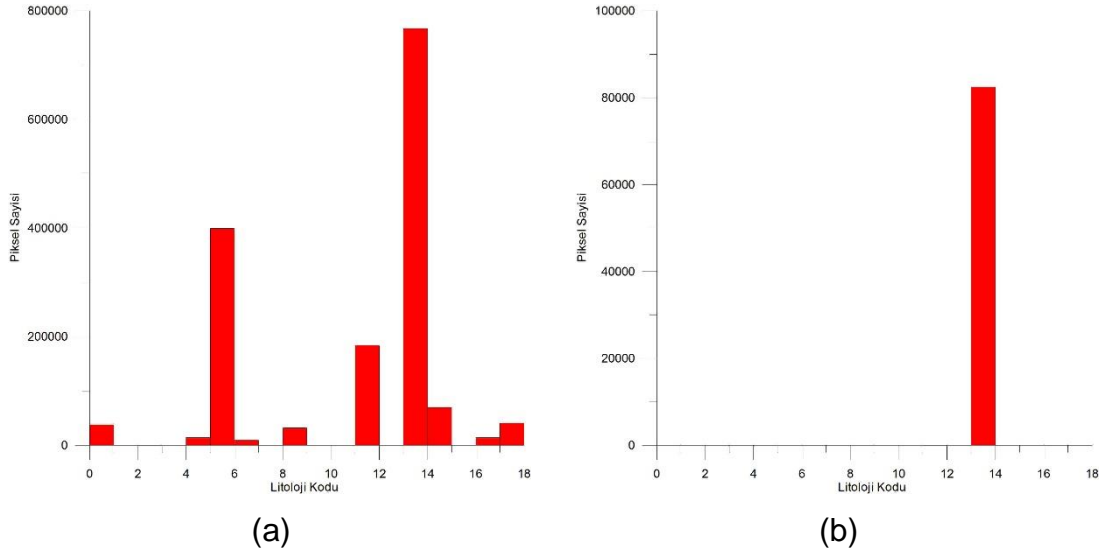
Şekil 4.6. Bakı parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı.

### 4.2.3. Litoloji

Heyelan değerlendirmesinde, litoloji parametresi etkin bir rol oynamaktadır. Baeza ve Corominas [128] çalışmalarında malzeme dayanımı, geirirnililiği ve sertliği gibi unsurların yamaç duraysızlığı ile doğrudan ilgili olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma alanına ait litoloji haritası [9] heyelan envanter haritası ile kıyaslanmış, heyelanlı bölgeler ve heyelansız bölgeler için değerlendirilmiştir (şekil 4.7). Heyelanların alışma alanında çok büyük bir oranda st Kreatese yaşlı Ulus formasyonunda geliştiği gözlenmiştir (şekil 4.8).



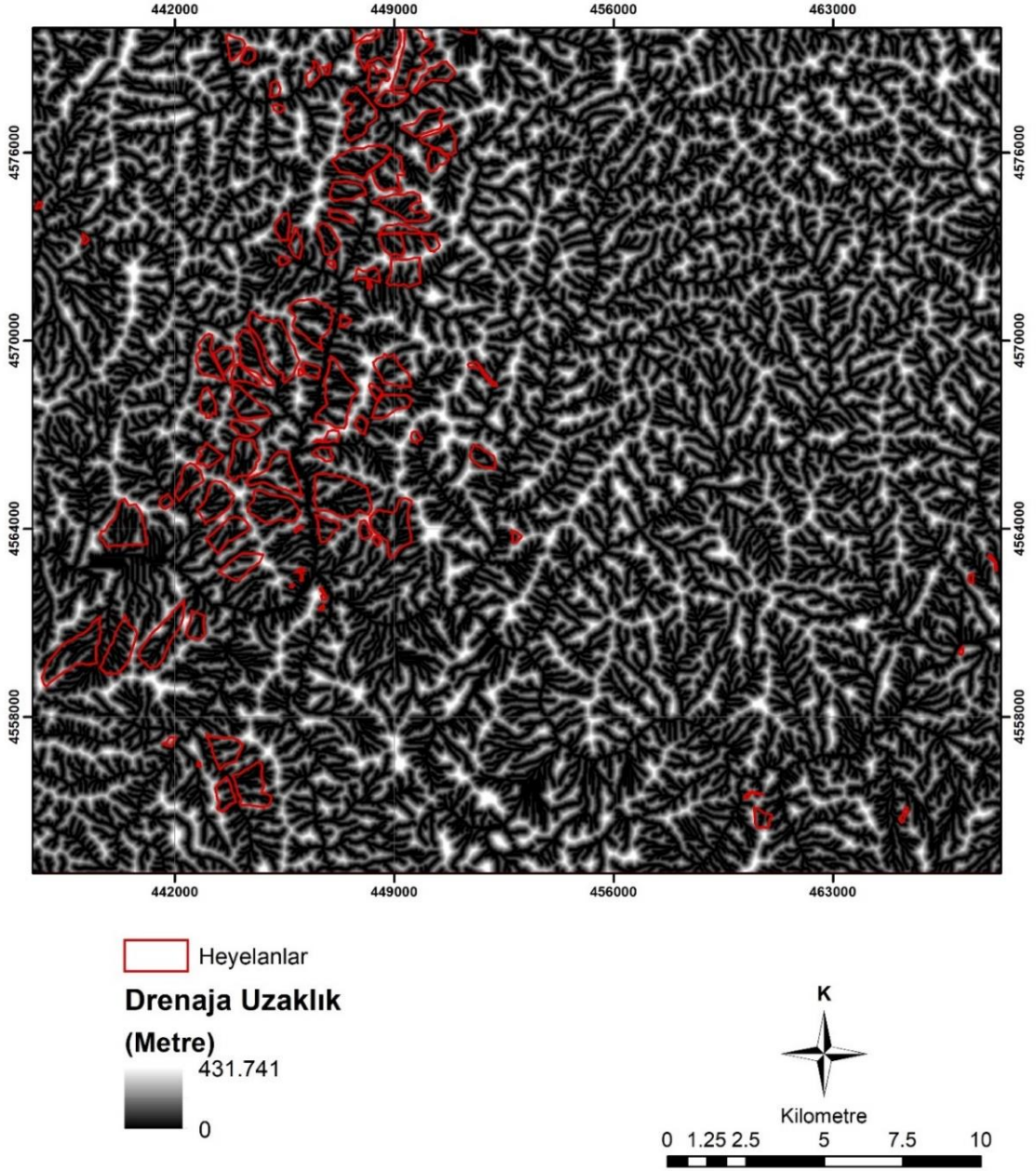
Şekil 4.7. Çalışma alanına ait litoloji haritası [9].



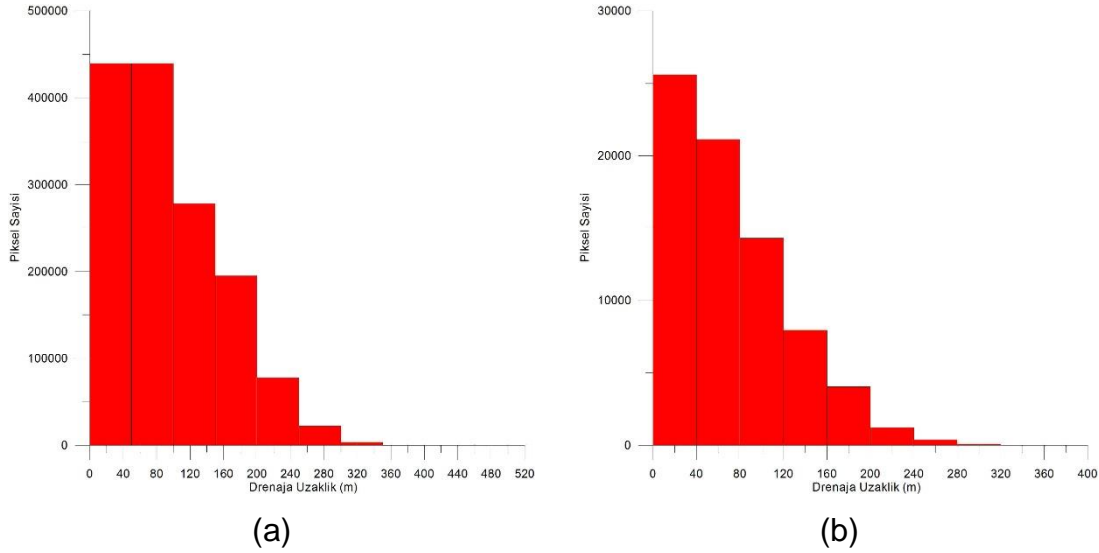
Şekil 4.8. Litoloji parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı.

#### 4.2.4. Drenaja Uzaklık

Drenaja uzaklık parametresi, yeraltısuyu ve yüzey sularının heyelana etkisini belirlemeyi amaçlamıştır. Komac [129] çalışmasında yeraltı ve yüzey sularının varlığıyla yamaç topuğunu aşındırıp, heyelanların gelişmesine sebep olabileceğini belirtmiştir. Parametre haritası oluşturulurken, öncelikle çalışma alanına ait sayısal yükseklik modeli ile drenaj ağları elde edilmiştir. Drenaj ağlarının elde edilmesi için ArcGIS içerisinde yer alan hidrolojik hesaplamaların yapılmasını sağlayan ArchYDRO modülü kullanılmıştır (Şekil 4.9). Heyelanlı ve heyelansız bölgelerin drenaja olan uzaklıkla ilişkisi Şekil 4.10'da verilmiştir.



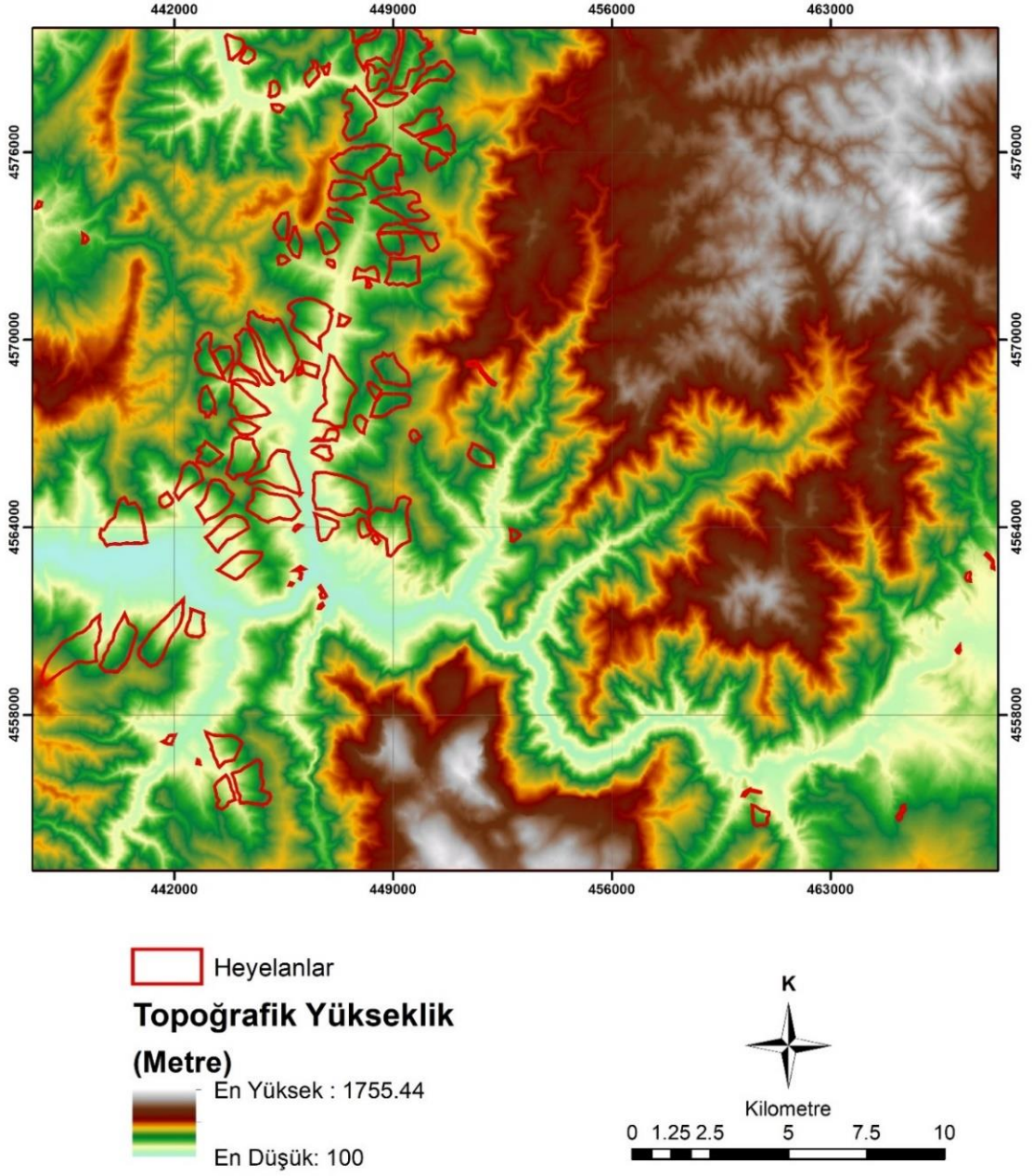
Şekil 4.9. Çalışma alanın drenaja uzaklık parametre haritası.



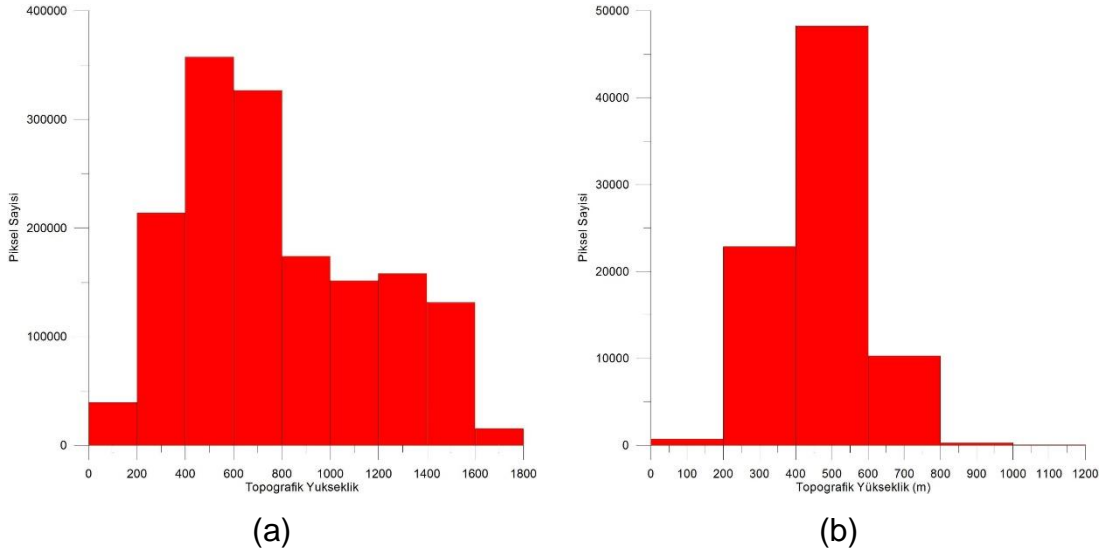
Şekil 4.10. Drenaja uzaklık parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı.

#### 4.2.5. Topoğrafik Yükseklik

Gökçeoğlu ve Ercanoğlu [24] araştırmaları sırasında yapmış oldukları literatür çalışmasında yükseklik ile heyelan ilişkisini incelemiş, çalışılan bölgeler içerisinde daha yüksek olan alanlarda duyarlılığın da daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. HGK tarafından elde edilen çalışma alanının içerisinde yer aldığı 1/25000 ölçekli sayısallaştırılmış yükseklik bilgisi içeren vektör verilerden, CBS ortamında TIN (Triangulated Irregular Network) adı verilen üçgensel ağlar oluşturulmuştur. TIN formatındaki yükseklik verileri raster veriye dönüştürülerek, raster formatta topoğrafik yükseklik parametresi olarak üretilmiştir (Şekil 4.11). Çalışma alanının topoğrafik yüksekliği 100-1756 metre arasında değişmektedir. Heyelanlı ve heyelansız bölgelerin topoğrafik yükseklik ilişkisi Şekil 4.12’de verilmiştir. Çalışma alanında heyelanlı bölgelerin 200-600 metre yüksekliğe sahip yamaçlarda yoğunlaştığı gözlenmiştir.



Şekil 4.11. Çalışma alanın topoğrafik yükseklik parametre haritası.

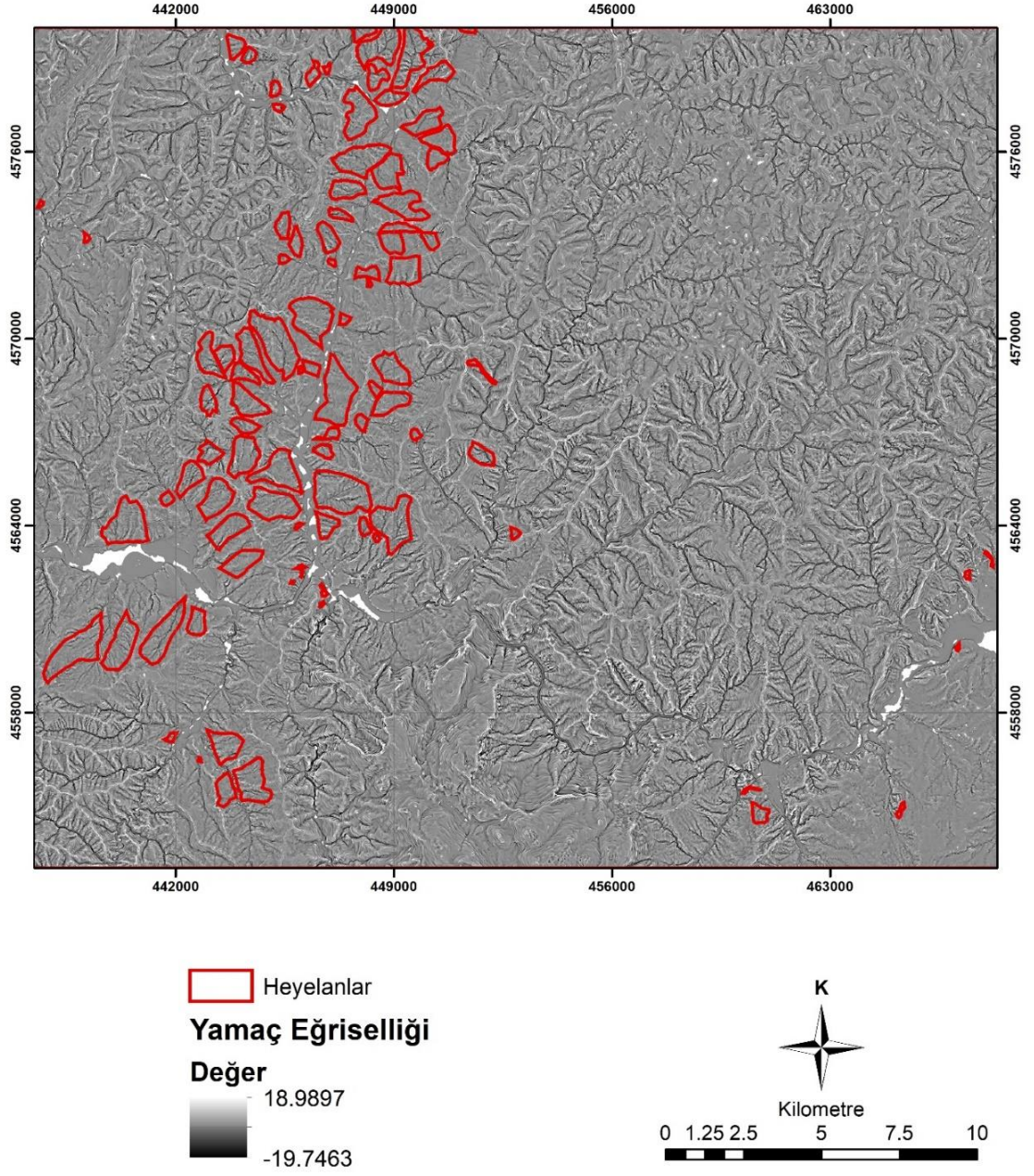


Şekil 4.12. Topoğrafik yükseklik parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı.

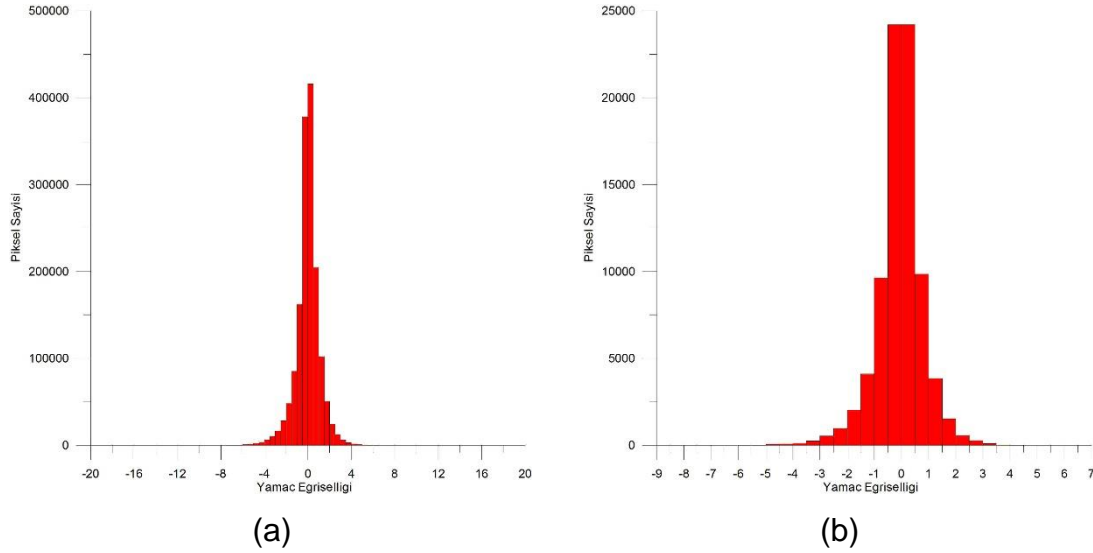
#### 4.2.6. Yamaç Eğriselliği

Çalışma alanı için üretilen yamaç eğriselliği haritası, sayısal yükseklik modelinden elde edilmiş olup, ArcGIS “3D Analyst” altında yer alan “Curvature” aracı ile elde edilmiştir (Şekil 4.13). Yamaç eğriselliği haritasında pozitif değerler dışbükey yamacı, sıfır değeri düz yamacı, negatif değer içbükey yamacı ifade etmektedir. Heyelanlı ve heyelansız bölgelerin yamaç eğriselliği ilişkisi Şekil 4.14’de verilmiştir.





Şekil 4.13. Çalışma alanın yamaç eğriselliği parametre haritası.



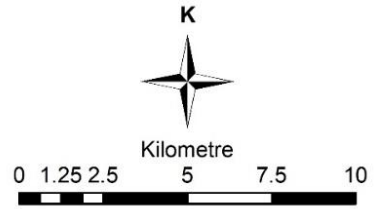
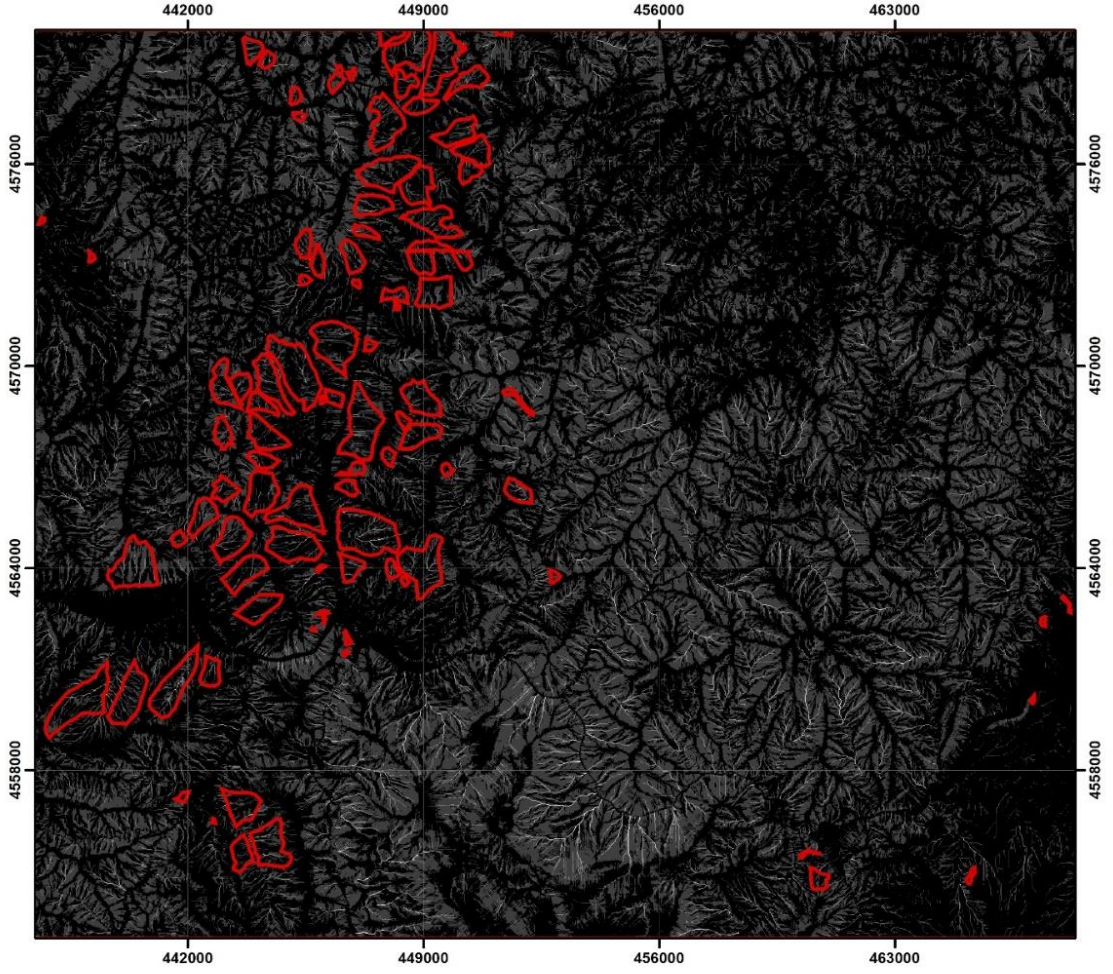
Şekil 4.14. Yamaç eğriselliği parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı.

#### 4.2.7. Sediman Taşıma Kapasitesi İndeksi

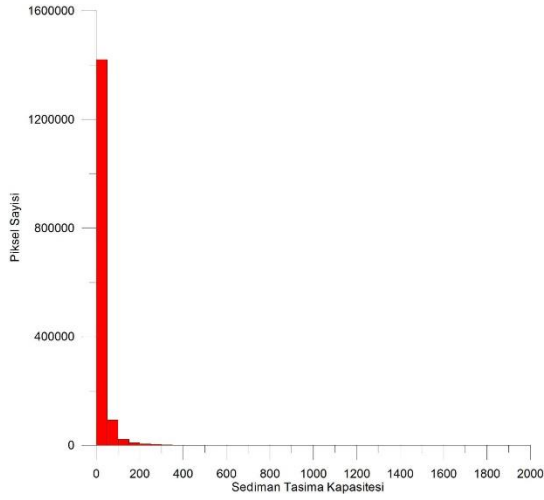
Çalışma kapsamında Moore ve Burch [130] tarafından yeraltısuyu ve yüzey sularının akış nedeniyle taşıdığı malzemenin belirlenmesine yönelik geliştirilen LS olarak ifade edilmekte olan sediman taşıma kapasitesi indeksi eşitliği kullanılmıştır (Eşitlik 4.1).

$$LS = (m + 1) \times \left(\frac{A_s}{22.13}\right)^m \times \left(\frac{\sin \beta}{0.0896}\right)^n \quad \text{Eşitlik 4.1}$$

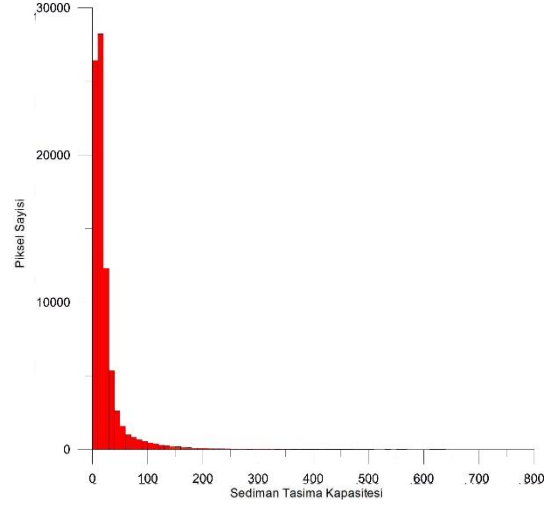
Eşitlikte ,  $A_s$  havza alanını,  $\beta$  yamaç eğimini,  $m=0.4$  ve  $n=1.3$  sabitlerini ifade etmektedir. Eşitlik göz önünde bulundurularak çalışma alanına ait sediman taşıma kapasitesi indeksi parametre haritası üretilmiştir (Şekil 4.15). Heyelanlı ve heyelansız bölgelerin sediman taşıma kapasitesi ile ilişkisi Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.15. Çalışma alanın sediman taşıma kapasitesi parametre haritası.



(a)

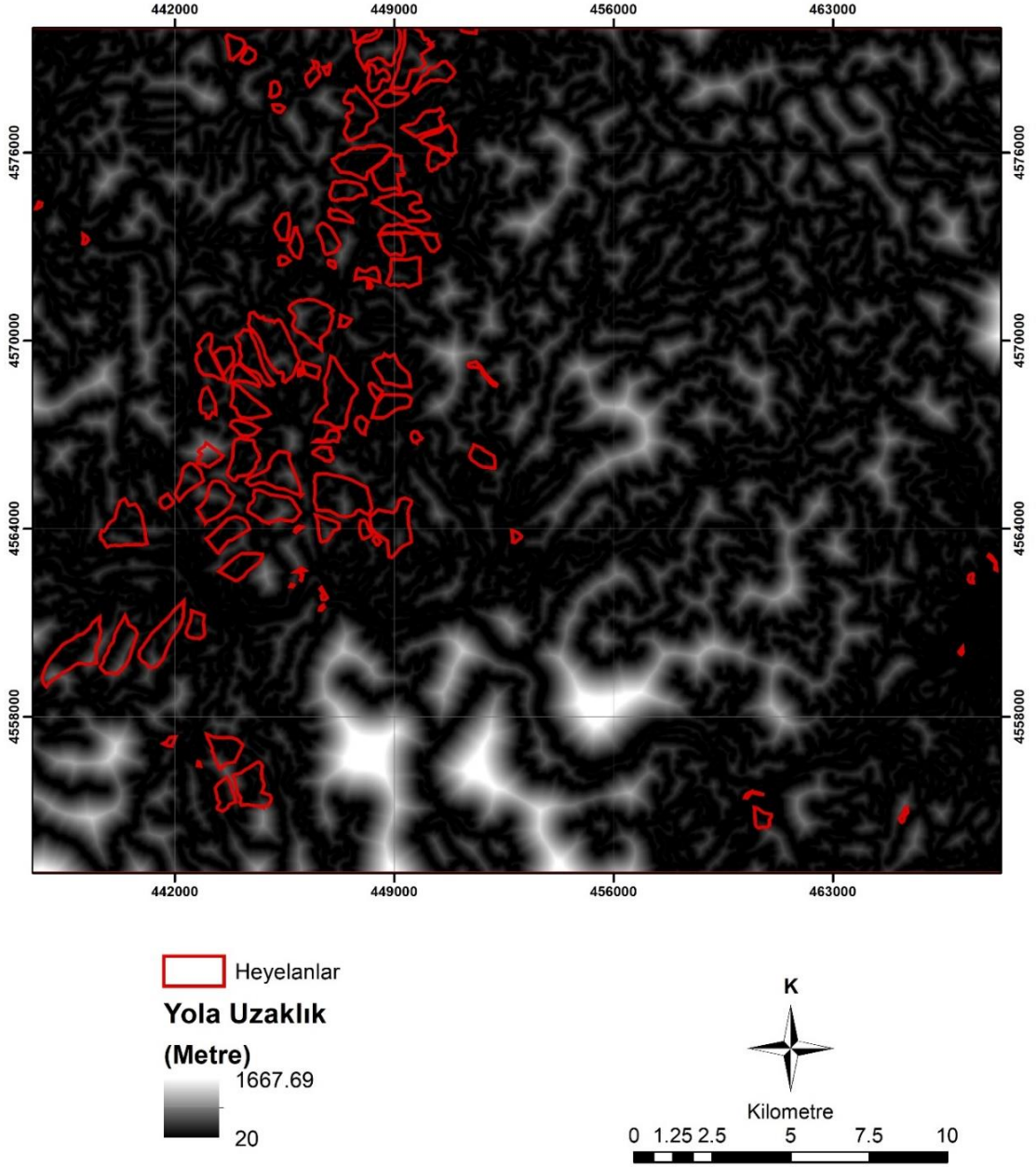


(b)

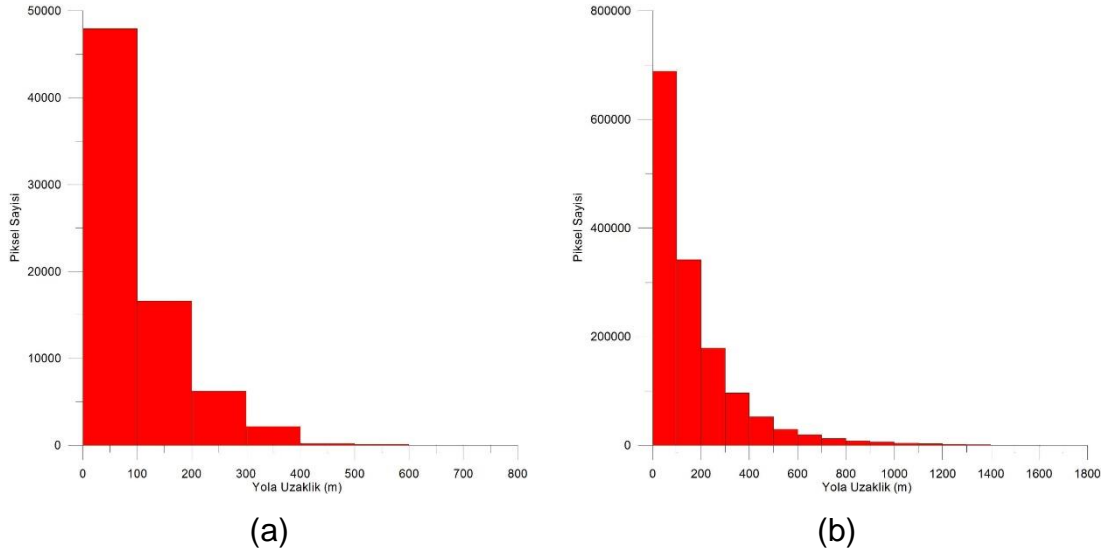
Şekil 4.16. Sediman taşıma kapasitesi indeksi parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı.

#### 4.2.8. Yollara Uzaklık

Yollara uzaklık parametre haritası yol güzergahı çalışmalarında yapılan kazılar sonucunda oluşan mühendislik şevlerinin, hareketli ve ağır yüke sahip taşıtların heyelanlar üzerindeki etkisinin göz önünde bulundurulması amacıyla üretilmiştir. Parametre haritasının üretilmesi için HGK tarafından sağlanan sayısallaştırılmış yol bilgileri ArcGIS yazılımının içerisinde yer alan “Distance” modülünden faydalanılmıştır (Şekil 4.17). Heyelanlı ve heyelansız bölgelerin yollara olan uzaklıkla ilişkisi Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.17. Çalışma alanın yollara uzaklık parametre haritası.



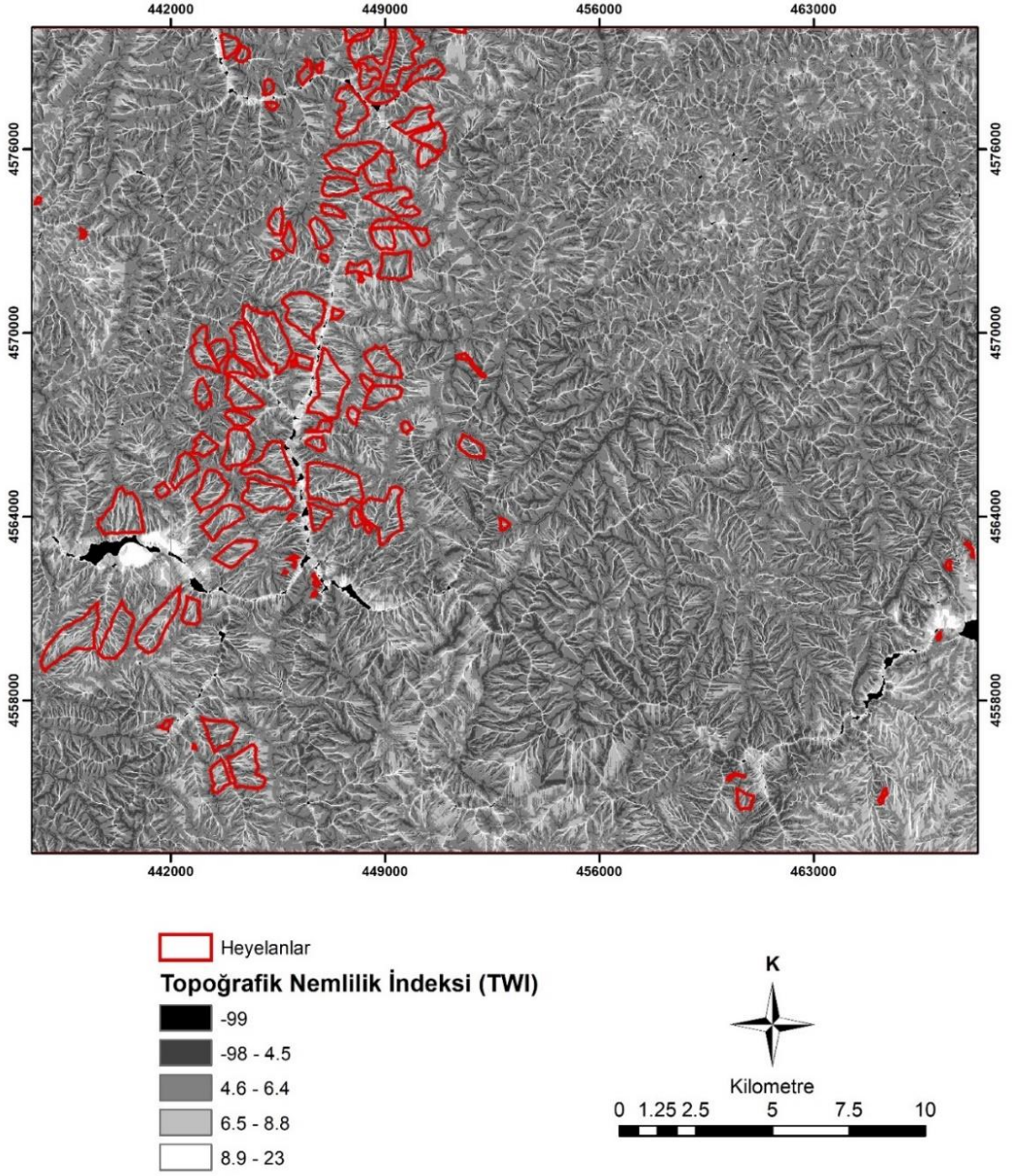
Şekil 4.18. Yollara uzaklık parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı.

#### 4.2.9. Topoğrafik Nemlilik İndeksi

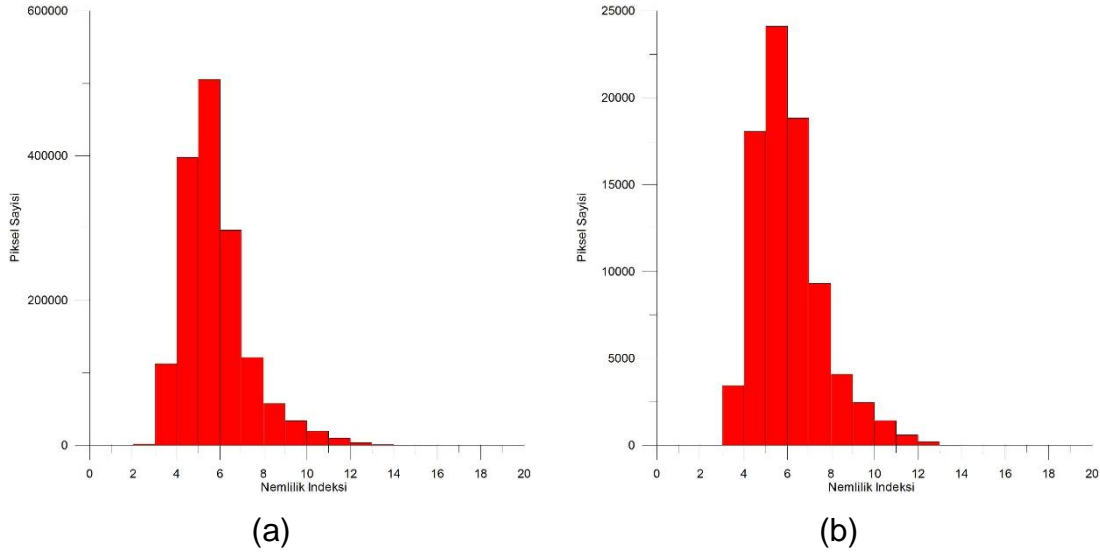
Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), yeraltısuyuna ilişkin verinin bulunmadığı koşullarda bölgenin su tutma kapasitesinin belirlenmesi için havza alanının ve yamaç eğiminin göz önünde bulundurulması elde edilen parametredir (Şekil 4.19) (Şekil 4.20). İndeksi hesaplamak için Moore vd. (1991) tarafından önerilen eşitlik kullanılmıştır (Eşitlik 4.2).

$$TWI = \ln\left(\frac{A_s}{\tan \beta}\right) \quad \text{Eşitlik 4.2}$$

Eşitlikte  $A_s$  havza alanını ifade etmekteyken,  $\beta$  yamaç eğimini ifade etmektedir.



Şekil 4.19. Çalışma alanının topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) parametre haritası.



Şekil 4.20. Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı.

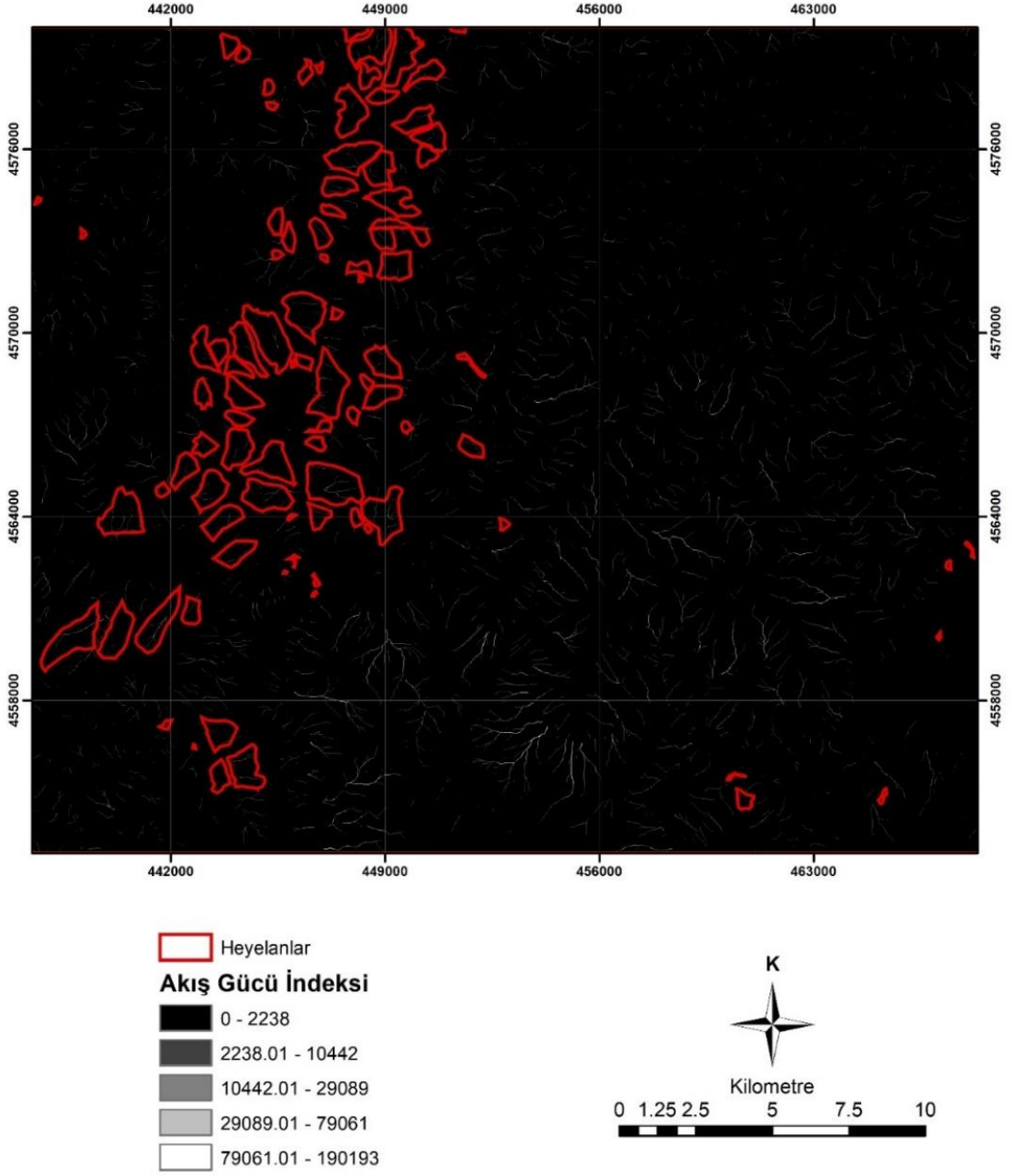
#### 4.2.10. Akış Gücü İndeksi (SPI)

Literatürde nehir güç indeksi, akarsu aşındırma gücü indeksi olarak adına rastladığımız akış gücü indeksi (SPI); yamaç eğimini artması ve havza alanının büyümesiyle, akış hızının artmasına bağlı aşındırma ve erozyon riskinin artmasını temel almıştır [131]. Çalışmada Moore vd.[132] tarafından önerilen;

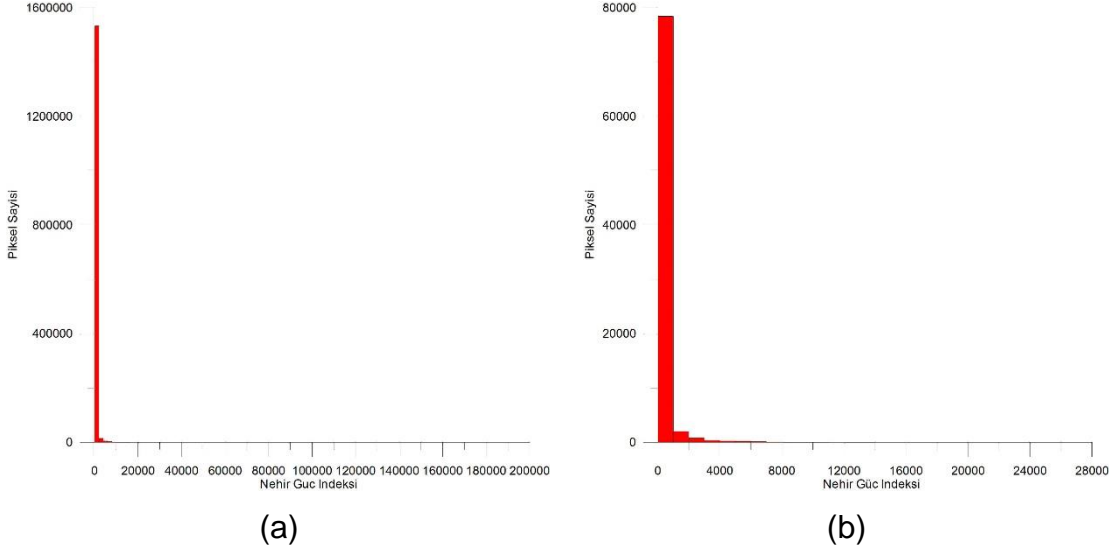
$$SPI = A_s \times \tan \beta \quad \text{Eşitlik 4.3}$$

Eşitliği  $A_s$  havza alanı, ve  $\beta$  ise yamaç eğimi olarak sağlanmıştır. Eşitlik göz önünde bulundurularak çalışma alanına ait akış gücü indeksi parametre haritası üretilmiştir (Şekil 4.21) (Şekil 4.22).





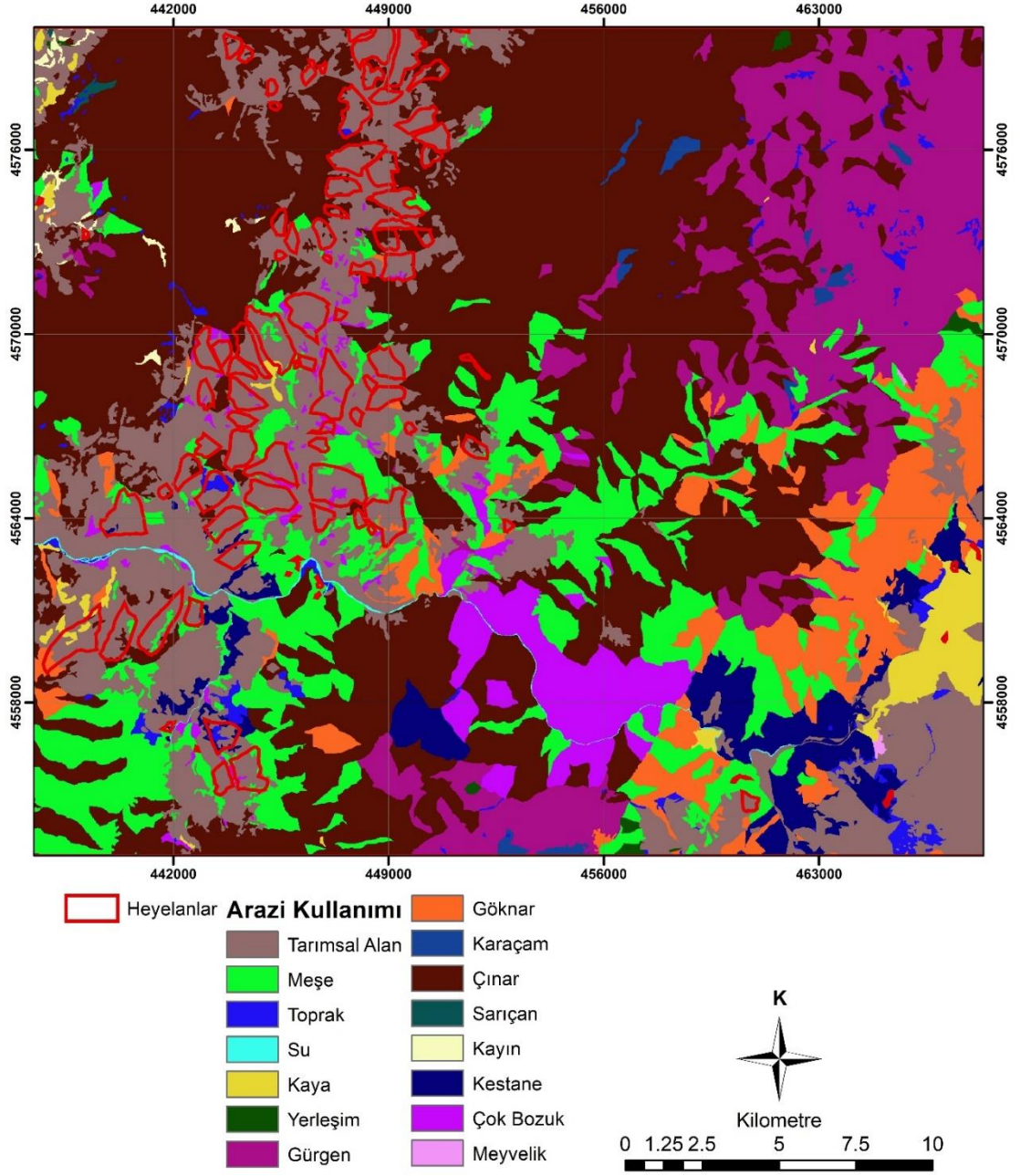
Şekil 4.21. Çalışma alanının akış gücü indeksi (SPI) parametre haritası.



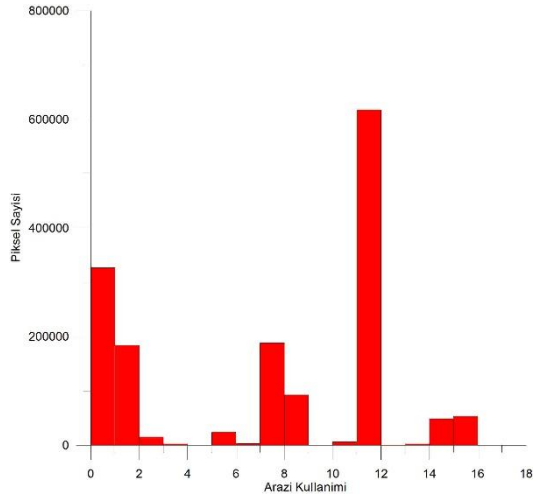
Şekil 4.22. Akış gücü indeksi (SPI) parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı.

#### 4.2.11. Arazi Kullanımı

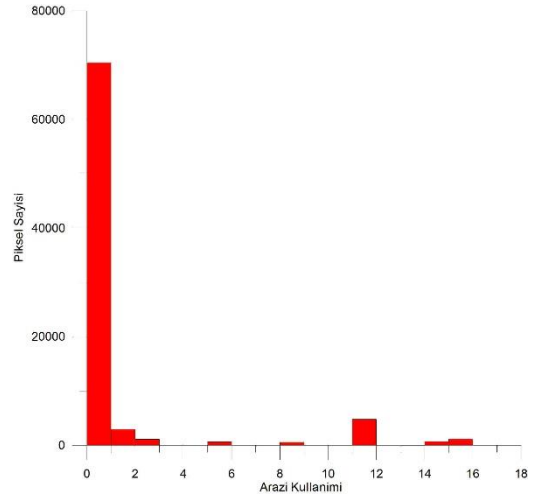
Çalışma alanına ait arazi kullanımı parametresi sayısal olarak Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından sağlanmıştır. Çalışma alanı arazi kullanımı parametresi için 15 sınıfa ayrılmıştır; tarımsal alan, meşe, toprak, su, kaya, yerleşim, gürgen, göknar, karaçam, sarıçam, kayın, kestane, çok bozuk alan, meyvelik. Çalışma alanında ormanlık alanların (çınar, gürgen, meşe gibi) geniş bir yer kaplamasına rağmen heyelanlar yoğunluklu olarak tarımsal alanlarda gelişmiştir (Şekil 4.23) (Şekil 4.24).



Şekil 4.23. Çalışma alanının arazi kullanımı parametre haritası.



(a)



(b)

Şekil 4.24. Arazi kullanımı parametresinin: (a) çalışma alanında ve (b) heyelanlı bölgelerdeki piksel dağılımı.

## 5. HEYELAN DUYARLILIK VE TEHLİKE ANALİZLERİ

Çalışma alanında, heyelan duyarlılığı ve tehlikesinin değerlendirilmesinde, üretilen 11 adet parametre ve envanter haritası (duyarlılık için) ile kayıtlara dayalı heyelan oluşma tarihleri (tehlake için) dikkate alınmıştır. Bu bölümde, sözü edilen analizlerde izlenen yaklaşımlara değinilecektir.

### 5.1. Heyelan Duyarlılık Analizi

İncelenen makaleler doğrultusunda heyelan duyarlılık analizlerinde son zamanlarda Lojistik Regresyon yönteminin sıklıkla kullanıldığı gözlenmiştir. Lojistik regresyonda, bağımlı değişken çoğunlukla ikilidir; bağımlı değişken 1 veya 0 değerini alabilmektedir. Örneğin, heyelan envanterinde, heyelan olması durumunda 1 değeri dikkate alınırken, olmaması durumunda 0 olarak değer almaktadır. Bu tip değişkenler Bernoulli değişkeni olarak da adlandırılır [133].

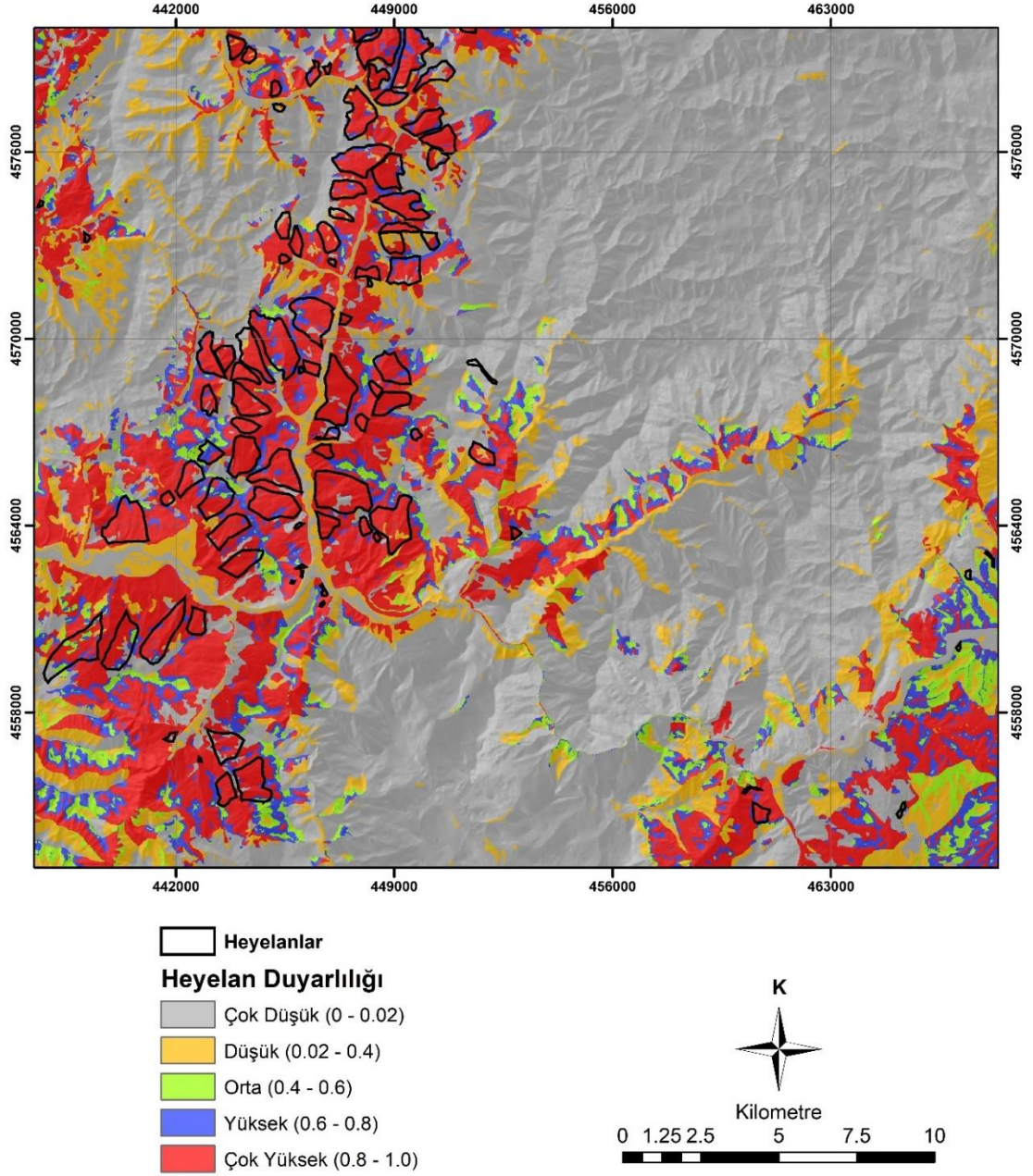
Lojistik regresyon, hazırlayıcı faktörler ve parametreler arasındaki ilişkinin kurulmasını sağlayan etkili bir matematiksel yöntemdir ([134]–[136]). Lojistik regresyon, bağımlı değişken ile numerik ve kategorik olarak birden fazla bağımsız (açıklayıcı) değişkenin arasında 0/1 (heyelanın yokluğu/ varlığı gibi) olarak kodlanması üzerine bir ilişki kurularak, oluşturulan çok değişkenli regresyon modelidir [137]. Heyelan duyarlılık haritalarında, 0 ile 1 arasında değişen model çıktısı, her bir piksel için P olasılık değeri olarak hesaplanır ([138]; [139]).

$$P(Y = 1) = \frac{1}{1+e^{-z}} = \frac{1}{1+e^{-(\alpha+\beta_1x_1+\dots+\beta_nx_n)}} = \frac{e^{(\alpha+\beta_1x_1+\dots+\beta_nx_n)}}{1+e^{(\alpha+\beta_1x_1+\dots+\beta_nx_n)}} \quad \text{Eşitlik 5.1}$$

$$\text{Logit}(P) = \ln \frac{P}{1-P} = (\alpha + \beta_1x_1 + \dots + \beta_nx_n) \quad \text{Eşitlik 5.2}$$

eşitliklerinde, P bağımlı değişkenlerine ilişkin Y=1 olasılığı, z doğrusal lojistik modeli,  $\alpha$  sabit değeri,  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) bağımsız değişkenleri (heyelana etki eden faktörleri),  $\beta_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) heyelan duyarlılığına etki eden  $x_i$  bağımsız değişkenlerine ait ağırlık değerini ifade eder.

Çalışma alanı için üretilen 11 parametre haritası girdi olarak dikkate alınmış, Idrisi Selva yazılımı içerisinde yer alan LogisticReg modülü ile lojistik regresyon modeli belirlenmiştir. LR analizi için yukarıda da değinildiği üzere, heyelan var ise 1, yoksa 0 değeri verilerek, parametre haritalarıyla, bağımlı değişken olan heyelan envanter haritaları kullanılmıştır. Bu şekilde, çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası üretilmiş ve Şekil 5.1’de sunulmuştur.



Şekil 5.1. Çalışma alanının lojistik regresyon yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası.

Heyelan duyarlılık istatistiksel analizi sonucu Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çalışma alanı için üretilen heyelan duyarlılık haritasının performansının test edilmesi için AUC (Area Under Curve) değerinin hesaplanmıştır. Bu doğrultuda Idrisi Selva yazılımının ROC (Relative Operating Characteristic) modülü kullanılmış, AUC

değeri 0.881 bulunmuştur. Diğer bir deyişle, çalışma alanında rasgele seçilen eğitim ve test piksellerinde (% 70 eğitim verisi, % 30 test verisi) bu değerlendirmeler yapılmış ve performans analizinde % 88.1 oranında başarı elde edilmiştir. Bu yöntemin yüksek bir performans sağlaması nedeniyle, başka bir yöntemle karşılaştırılması yoluna gidilmemiştir.

Çizelge 5.1. Çalışma alanının lojistik regresyon analizi sonuçları.

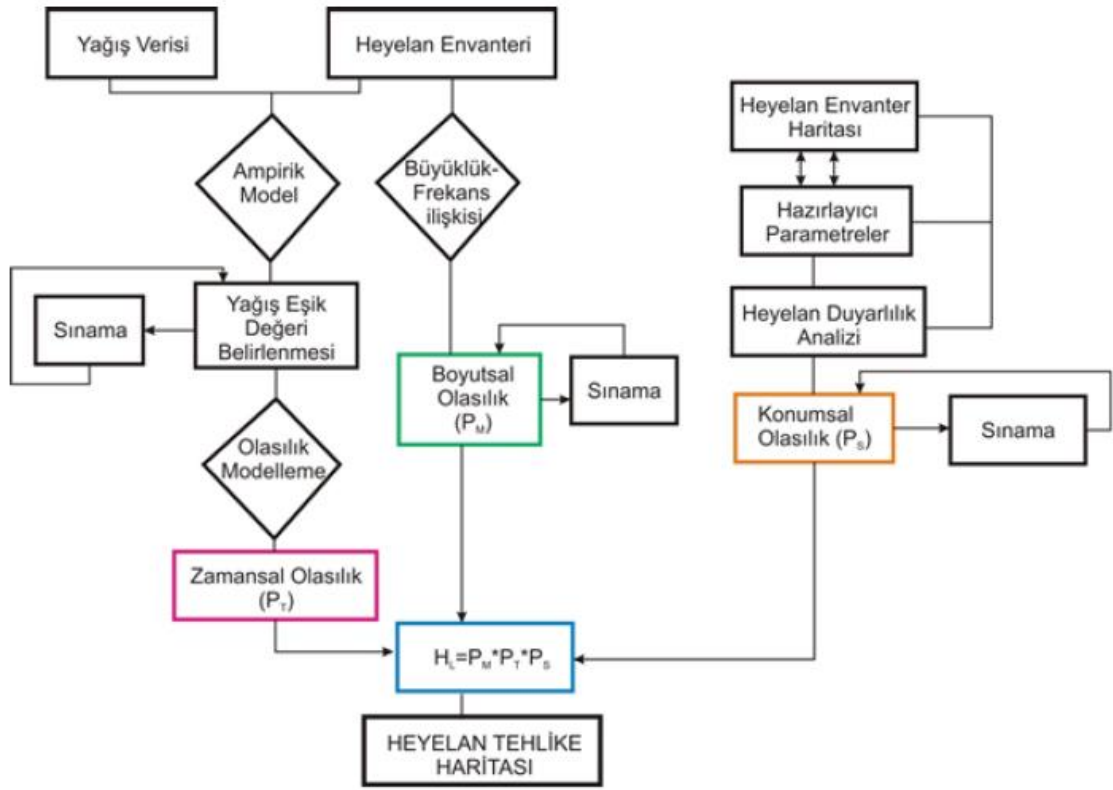
<b>Parametre</b>	<b>Katsayı</b>
<b>Kesişim</b>	-3.51610
<b>Yola Uzaklık</b>	-0.00226
<b>Bakı</b>	-0.00030
<b>Yamaç Eğriselliği</b>	-0.04163
<b>Drenaja Uzaklık</b>	0.00437
<b>Litoloji</b>	0.25010
<b>Sediman Taşıma Kapasitesi İndeksi</b>	0.00189
<b>Arazi Kullanımı</b>	0.25151
<b>Akış Gücü İndeksi</b>	-0.00005
<b>Eğim</b>	0.01006
<b>Topoğrafik Yükseklik</b>	0.00143
<b>Nemlilik İndeksi</b>	0.01495
<b>Toplam Gözlem Sayısı</b>	2092500
<b>Heyelansız Bölge (0)</b>	1982725
<b>Heyelanlı Bölge (1)</b>	109775
<b>Heyelansız Bölge (0) %</b>	94.75
<b>Heyelanlı Bölge (1) %</b>	5.24
<b>-2logL0</b>	81527.54
<b>-2log(likelihood)</b>	59129.79
<b>Pseudo R<sup>2</sup></b>	0.27
<b>Goodness of Fit</b>	147841.49
<b>Chi<sup>2</sup> (11)</b>	22397.751

LogisticReg modülünün kullanımında, farklı istatistiksel sonuçlar da üretilmektedir. Örneğin, bunlardan hesaplanan Pseudo R<sup>2</sup> değerinin 0.2'den büyük olması durumunda, oluşturulan modelin sağlıklı sonuçlar verdiği şeklinde bir yorumlama yapılabilir. Ayrıca, parametrik katsayılarından pozitif değerli olanların, heyelan oluşumunda daha etkin olduğu, negatif katsayıların ise etkisiz olduğu şeklinde bir yorum yapılabilir.



## 5.2. Heyelan Tehlike Analizi

Heyelan tehlikesi, Guzetti vd. [66]'ya göre, belirli bir alanda, belirli bir zaman dilimi içinde belirli büyüklüğe sahip bir olayın (örn.: heyelan olayının) oluşma olasılığı olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım, yer, zaman ve büyüklük kavramlarını da içerecek şekilde, bir bölgedeki heyelan tehlike değerlendirmelerinde (bkz. Bölüm 2) kullanılmaktadır. Buradaki en önemli unsur, heyelan envanterinin ve veri tabanının sağlıklı ve yeterli (tam) bir şekilde elde edilmiş olmasıdır. Şekil 5.2'de yağış tetikleyicili bir heyelan tehlike analizinin idealize edilmiş şekli sunulmaktadır.



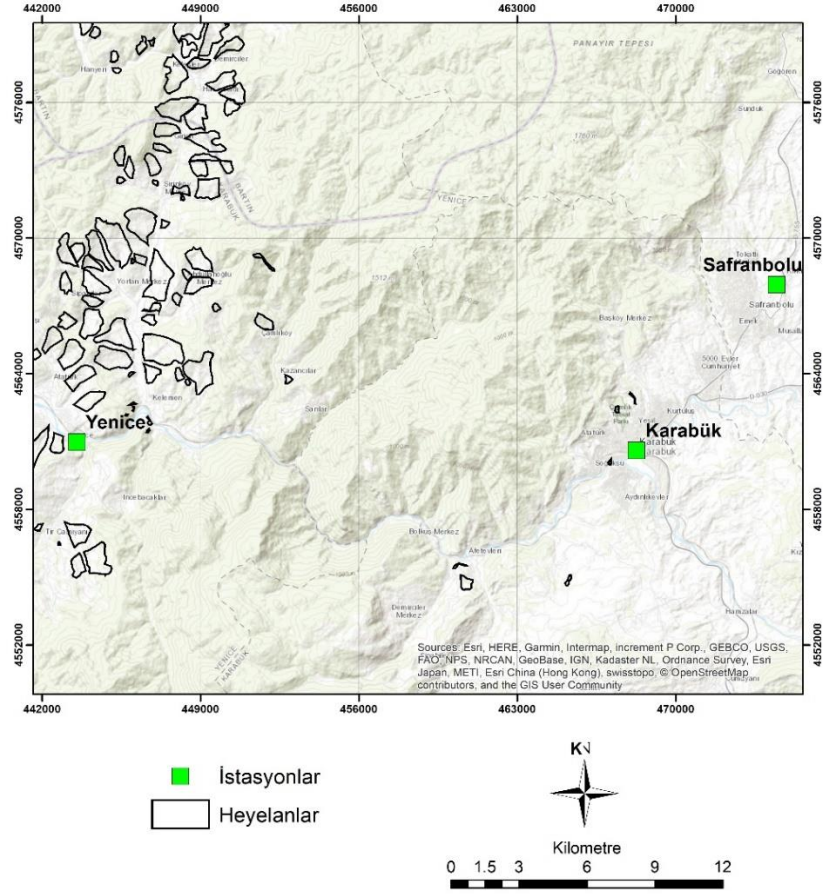
Şekil 5.2. Yağış tetikleyicili heyelan tehlike analiz ve haritalama çalışmalarının aşamaları [140]

Bu tanımlamadan yola çıkarak, alanda yapılmış önceki çalışmalar, arşiv taramaları ve yerel halkla yapılan görüşmeler sonucunda, heyelanlara yönelik mümkün olan en sağlıklı verilere ulaşılmaya çalışılmış ve analizler için gerekli veriler, bir veri tabanında saklanmıştır. Yapılan bu çalışmalarda, 1905-2013 yılları arasında meydana gelen 164 adet heyelan olayının gerçekleştiği belirlenmiştir.

Çalışma alanında gerçekleşen bu heyelan olaylarının çoğunlukla yağışlar tarafından tetiklendiği belirlenmiştir. Bu nedenle, tehlike analizlerinin ilk aşamasında yağış analizlerinin yapılması ve tehlike olasılık değerlerinin yağış verilerine göre hesaplanması düşünülmüştür. Bu kapsamda, çalışma alanına en yakın 3 farklı yağış istasyonundan (Şekil 5.3) günlük yağış verileri temin edilmiştir (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2. Çalışma alanına en yakın yağış gözlem istasyonları.

<b>Meteorolojik Gözlem İstasyonu</b>	<b>Yıllık Ort. Yağış (mm)</b>	<b>Maks. Günlük Yağış (mm)</b>	<b>Maks. Günlük Yağışın Gerçekleştiği Gün</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Kot</b>
<b>Yenice</b>	668	70.40	17.08.2004	41,1983 K	32.3267 D	182
<b>Karabük</b>	480	79.00	10.06.2008	41.1963 K	32.6216 D	259
<b>Safranbolu</b>	482	83.40	28.01.1987	41.2626 K	32.6951 D	545

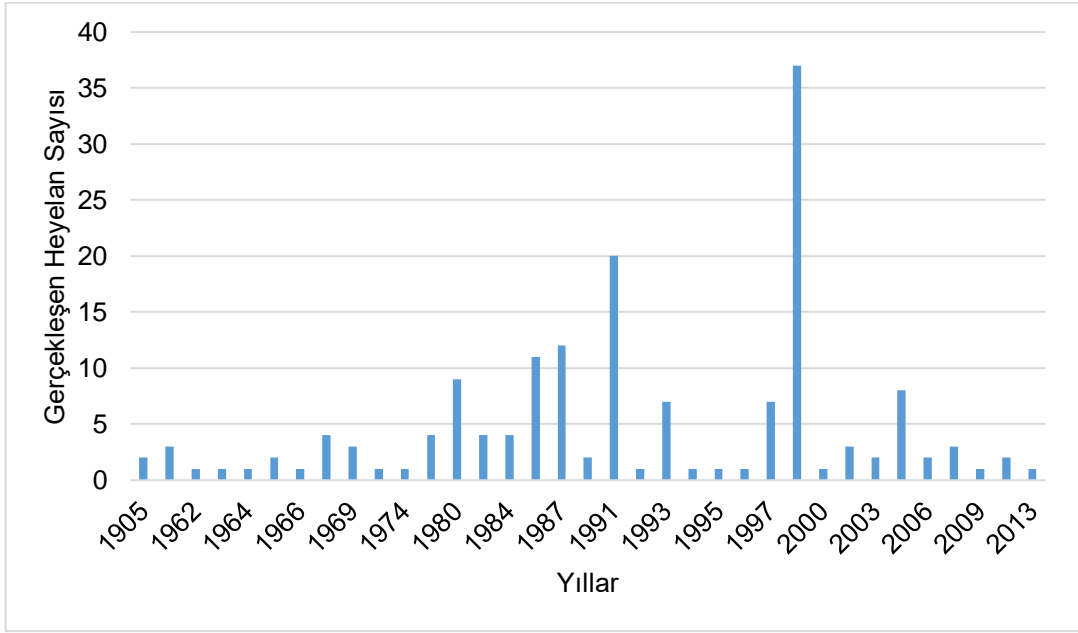


Şekil 5.3. Çalışma alanına yakın istasyonların gösterimi.

İlgili istasyonlardaki veriler incelendiğinde, bölge için edinilen yağış verilerinin heyelan tehlike analizlerinde kullanılmak için yetersiz kaldığı görülmüştür (Çizelge 5.3). Yağış verilerindeki eksiklikler ve yetersizlikler nedeniyle, bu verilerin kullanılamayacağını anlaşılmasıyla, zamansal olasılığın belirlenmesi için çok zamanlı tehlike analiz yaklaşımının tez çalışması kapsamında kullanılmasına karar verilmiştir (Şekil 5.4).

Çizelge 5.3. Çalışma alanına ait yıllık toplam yağış (mm).

Yıl	Karabük	Yenice	Safranbolu
1961	Veri yok	Veri yok	370.8
1962	Veri yok	Veri yok	392.2
1963	Veri yok	Veri yok	438.5
1964	Veri yok	Veri yok	176.1
1965	309.2	Veri yok	327.2
1966	431.3	Veri yok	452.4
1967	531.8	Veri yok	500.2
1968	486.1	Veri yok	481
1969	464.2	Veri yok	478
1970	507.1	Veri yok	483.7
1971	570.3	Veri yok	552.7
1972	574.6	Veri yok	586.6
1973	435.7	Veri yok	454
1974	363.5	Veri yok	377.2
1975	536.8	Veri yok	Veri yok
1976	464.5	Veri yok	497.4
1977	346.2	Veri yok	338.4
1978	534	Veri yok	555.1
1979	547.9	Veri yok	406.6
1980	455.3	Veri yok	197.6
1981	467.4	Veri yok	518.2
1982	521.9	Veri yok	371.5
1983	559.9	Veri yok	663.7
1984	Veri yok	Veri yok	471.1
1985	Veri yok	Veri yok	546.3
1986	Veri yok	Veri yok	300.7
1987	Veri yok	Veri yok	599.9
1988	Veri yok	Veri yok	132.5
1989	Veri yok	188.1	518.7
1990	Veri yok	381.7	357.9
1991	Veri yok	Veri yok	540.3
1992	Veri yok	Veri yok	297.9
1993	107	114.3	141.7
1994	481.6	562.2	312.6
1995	Veri yok	769.9	529.3
1996	493.1	Veri yok	467.5
1997	589.5	650.5	485.6
1998	645.4	737.4	683.3
1999	605.4	732.8	525.8
2000	415.5	851.8	487.7
2001	567.7	672.4	580.3
2002	540.4	772.9	570.3
2003	352.4	456.3	338.2
2004	400.8	657.1	472.3
2005	490	651.4	303.2
2006	366.6	343.5	Veri yok
2007	359.4	480.7	Veri yok
2008	441.4	460.8	Veri yok
2009	514	114.1	Veri yok
2010	509.2	Veri yok	Veri yok
2011	404.2	Veri yok	Veri yok
2012	415.4	Veri yok	Veri yok
2013	457.1	Veri yok	Veri yok
2014	55.2	Veri yok	Veri yok



Şekil 5.4. 1905-2013 yılları arasında gerçekleşen heyelan olayları.

Çok zamanlı heyelan tehlike analizlerinin gerçekleştirilmesinde, Crovelli [141] tarafından önerilen yaklaşımlar dikkate alınmıştır. Çalışmada, heyelanların zaman içerisinde gerçekleşen bağımsız rassal olaylar olarak ele alınması gerektiği, tehlike analizleri içinde zamansal olasılık değerlendirmelerinde sıklıkla kullanılan olasılık fonksiyonlarından Poisson ve Binom dağılımının kullanılması önerilmiştir. Sözü edilen bu istatistiksel dağılımlara ilişkin kavramlar, izleyen bölümlerde açıklanmıştır.

### 5.2.1. Poisson Dağılımı

Poisson dağılımı, belirli bir zaman diliminde ( $t$ ), belirli bir alanda gerçekleşen nadir rassal olayların ( $n$ ) ilişkisini ortaya koyan bir olasılık fonksiyonudur. Heyelanların zamansal olabilirliği Eşitlik 5.3'te verilen formülle hesaplanabilmektedir.

$$P[N_L(t) \geq 1] = 1 - P[N_L(t) = 0] = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-t/\mu} \quad \text{Eşitlik 5.3}$$

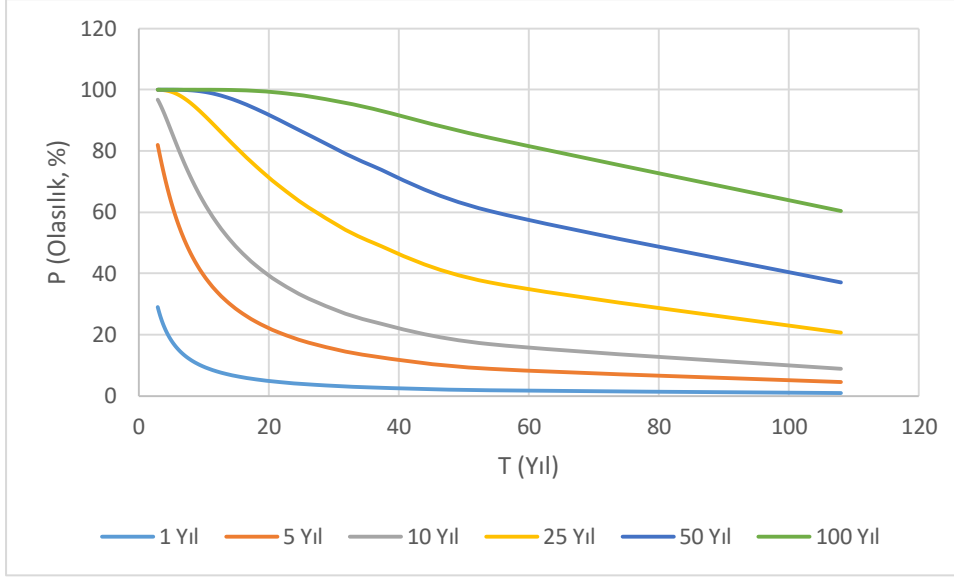
Eşitlikte  $t$  birim zaman,  $\lambda = \frac{1}{\mu}$  birim zaman içerisinde heyelan olayının ortalama gerçekleşme sayısını ifade etmektedir. Poisson dağılımının heyelanların zamansal olabilirliğinde kullanılmasının nedeni:

- Zaman aralığı içerisinde gerçekleşen heyelan olaylarının birbirinden bağımsız olması,
- Heyelan olayının gerçekleşmesi ve heyelan olayının gerçekleşmemesi şeklinde iki sonuçlu olması,
- Belirlenen zaman aralığında heyelan olma olasılığının değişmemesi ve sabit olmasıdır.

Bu dağılım modeli kullanılarak, çalışma alanında 1905-2013 yılları arasında gerçekleşen heyelan olayları göz önüne alınarak, Poisson dağılımına göre heyelan olayının 1, 5, 10, 25 ve 100 yıl içerisinde çalışma alanında en az 1 defa gerçekleşme olasılıkları hesaplanmıştır (Çizelge 5.5) (Şekil 5.5).

Çizelge 5.4. Poisson dağılımına göre heyelan olayının 1 yıl ile 100 yıl arasında gerçekleşme olasılığı.

Heyelan Sayısı	Ortalama Tekrarlanma Aralığı	1 (Yıl)	5 (Yıl)	10 (Yıl)	25 (Yıl)	50 (Yıl)	100 (Yıl)
1	108.000	0.922	4.524	8.844	20.664	37.058	60.384
2	54.000	1.835	8.844	16.905	37.058	60.384	84.305
3	36.000	2.740	12.968	24.253	50.065	75.065	93.782
4	27.000	3.636	16.905	30.952	60.384	84.305	97.537
5	21.600	4.524	20.664	37.058	68.570	90.122	99.024
6	18.000	5.404	24.253	42.625	75.065	93.782	99.613
7	15.429	6.276	27.680	47.699	80.217	96.087	99.847
8	13.500	7.140	30.952	52.324	84.305	97.537	99.939
9	12.000	7.996	34.076	56.540	87.549	98.450	99.976
10	10.800	8.844	37.058	60.384	90.122	99.024	99.990
11	9.818	9.684	39.906	63.887	92.163	99.386	99.996
12	9.000	10.516	42.625	67.081	93.782	99.613	99.999
13	8.308	11.341	45.220	69.992	95.067	99.757	99.999
14	7.714	12.158	47.699	72.646	96.087	99.847	100.000
15	7.200	12.968	50.065	75.065	96.895	99.904	100.000
16	6.750	13.770	52.324	77.270	97.537	99.939	100.000
17	6.353	14.564	54.481	79.280	98.046	99.962	100.000
18	6.000	15.352	56.540	81.112	98.450	99.976	100.000
19	5.684	16.132	58.506	82.783	98.770	99.985	100.000
20	5.400	16.905	60.384	84.305	99.024	99.990	100.000
21	5.143	17.671	62.176	85.693	99.226	99.994	100.000
22	4.909	18.430	63.887	86.959	99.386	99.996	100.000
23	4.696	19.181	65.521	88.112	99.513	99.998	100.000
24	4.500	19.926	67.081	89.163	99.613	99.999	100.000
25	4.320	20.664	68.570	90.122	99.693	99.999	100.000
26	4.154	21.395	69.992	90.995	99.757	99.999	100.000
27	4.000	22.120	71.350	91.792	99.807	100.000	100.000
28	3.857	22.838	72.646	92.517	99.847	100.000	100.000
29	3.724	23.549	73.883	93.179	99.878	100.000	100.000
30	3.600	24.253	75.065	93.782	99.904	100.000	100.000
31	3.484	24.952	76.193	94.332	99.924	100.000	100.000
32	3.375	25.643	77.270	94.833	99.939	100.000	100.000
33	3.273	26.329	78.298	95.290	99.952	100.000	100.000
34	3.176	27.008	79.280	95.707	99.962	100.000	100.000
35	3.086	27.680	80.217	96.087	99.970	100.000	100.000
36	3.000	28.347	81.112	96.433	99.976	100.000	100.000
37	2.919	29.007	81.967	96.748	99.981	100.000	100.000



Şekil 5.5. Poisson dağılımına göre heyelan olayının 1, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl içerisinde en az 1 kere gerçekleşme olasılığının grafiksel gösterimi.

### 5.2.2. Binom Dağılımı

Binom dağılım, aynı koşullar altında başarılı veya başarısız gibi iki sonuçlu  $n$  adet bağımsız deneyin artarda gerçekleşmesi durumunda kullanılan olasılık dağılım fonksiyonlarıdır. Crovelli [141] çalışmasında,  $t$  zaman aralığında gerçekleşen  $n$  tane heyelan olayını, heyelan olayının gerçekleşmesi  $p$  (başarılı) ve heyelan olayının gerçekleşmemesi  $q$  (başarısız) olarak ele almış, Eşitlik 5.4 heyelanların zamansal olabirliğinin hesaplanmasında kullanmıştır.

$$P[N_L(t) \geq 1] = 1 - P[N_L(t) = 0] = 1 - (1 - p)^t = 1 - (1 - 1/\mu)^t \quad \text{Eşitlik 5.4}$$

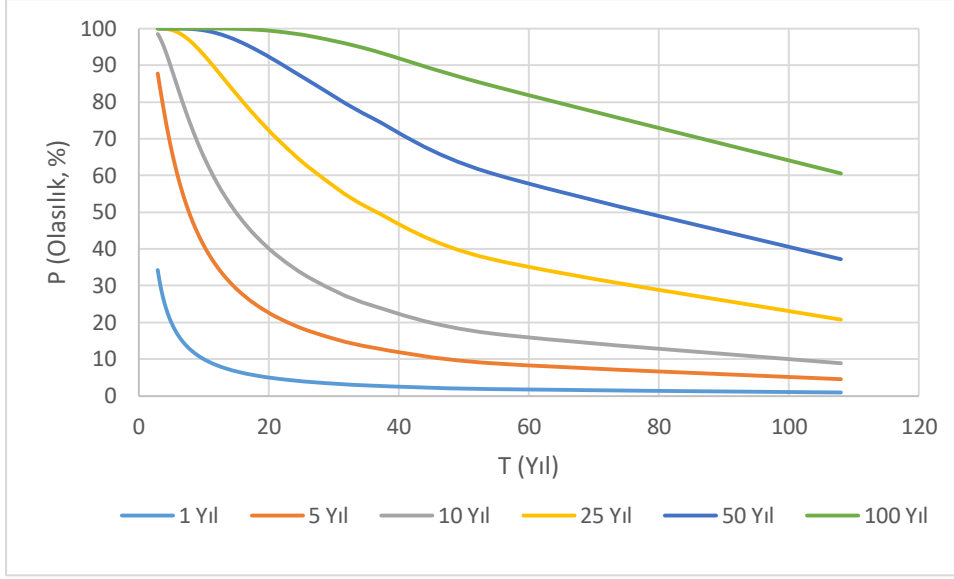
Eşitlikte,  $t$  zaman içerisinde tekrar eden  $p$  heyelan olma olasılığı ve  $\mu = \frac{1}{p}$  tekrarlanma periyodu olarak ifade edilmektedir.

Tez kapsamında Poisson dağılımı dışında Binom dağılım da kullanılmış; çalışma alanı için 1, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık tekrarlanma olasılıkları hesaplanmıştır. (Çizelge 5.6) (Şekil 5.6).



Çizelge 5.5. Binom dağılıma göre heyelanların 1 yıl ile 100 yıl arasında gerçekleşme olasılığı.

Heyelan Sayısı	Ortalama Tekrarlanma Aralığı	1 (Yıl)	5 (Yıl)	10 (Yıl)	25 (Yıl)	50 (Yıl)	100 (Yıl)
1	108.000	0.926	4.545	8.883	20.750	37.194	60.554
2	54.000	1.852	8.923	17.049	37.331	60.726	84.576
3	36.000	2.778	13.138	24.551	50.553	75.550	94.022
4	27.000	3.704	17.197	31.436	61.074	84.848	97.704
5	21.600	4.630	21.102	37.751	69.427	90.653	99.126
6	18.000	5.556	24.858	43.537	76.044	94.261	99.671
7	15.429	6.481	28.470	48.835	81.274	96.493	99.877
8	13.500	7.407	31.942	53.681	85.398	97.868	99.955
9	12.000	8.333	35.277	58.110	88.642	98.710	99.983
10	10.800	9.259	38.481	62.154	91.188	99.224	99.994
11	9.818	10.185	41.556	65.843	93.181	99.535	99.998
12	9.000	11.111	44.507	69.205	94.738	99.723	99.999
13	8.308	12.037	47.338	72.267	95.950	99.836	100.000
14	7.714	12.963	50.052	75.052	96.891	99.903	100.000
15	7.200	13.889	52.653	77.582	97.621	99.943	100.000
"16	6.750	14.815	55.144	79.879	98.184	99.967	100.000
17	6.353	15.741	57.529	81.963	98.618	99.981	100.000
18	6.000	16.667	59.812	83.849	98.952	99.989	100.000
19	5.684	17.593	61.996	85.557	99.207	99.994	100.000
20	5.400	18.519	64.083	87.100	99.402	99.996	100.000
21	5.143	19.444	66.078	88.493	99.551	99.998	100.000
22	4.909	20.370	67.984	89.749	99.664	99.999	100.000
23	4.696	21.296	69.802	90.881	99.749	99.999	100.000
24	4.500	22.222	71.537	91.899	99.813	100.000	100.000
25	4.320	23.148	73.192	92.813	99.862	100.000	100.000
26	4.154	24.074	74.768	93.634	99.898	100.000	100.000
27	4.000	25.000	76.270	94.369	99.925	100.000	100.000
28	3.857	25.926	77.699	95.027	99.945	100.000	100.000
29	3.724	26.852	79.058	95.614	99.960	100.000	100.000
30	3.600	27.778	80.350	96.139	99.971	100.000	100.000
31	3.484	28.704	81.578	96.606	99.979	100.000	100.000
32	3.375	29.630	82.744	97.022	99.985	100.000	100.000
33	3.273	30.556	83.849	97.392	99.989	100.000	100.000
34	3.176	31.481	84.898	97.719	99.992	100.000	100.000
35	3.086	32.407	85.891	98.009	99.994	100.000	100.000
36	3.000	33.333	86.831	98.266	99.996	100.000	100.000
37	2.919	34.259	87.721	98.492	99.997	100.000	100.000



Şekil 5.6. Binom dağılıma göre heyelan olayının 1, 5, 10, 25 ve 100 yıl içerisinde en az 1 kere gerçekleşme olasılığının grafiksel gösterimi.

### 5.2.3. Alansal Olabilirlik

Heyelanların alansal olabilirliği çalışmaları, heyelan tehlike analizlerinde olası heyelanların ne büyüklükte olacağını tahmini için yapılmaktadır. Heyelanların alansal olabilirliğinin tahmini için büyüklük – frekans ilişkisi göz önünde bulundurulmuştur. Literatürde heyelanların büyüklük - frekans dağılımları arasındaki ilişkinin matematiksel olarak ortaya konulmasında Stark ve Hovius [142] tarafından önerilen Double (Çift) Pareto dağılımı ve Malamud [143] tarafından önerilen üç parametrel ters gamma dağılımı kullanılmıştır ([144], [145], [146]).

Malamud [143] tarafından önerilen üç parametrel ters gamma dağılımı Eşitlik 5.5'te  $\Gamma(\alpha)$ ,  $\alpha$ 'nın gamma değeri olup,  $\alpha > 0$ ,  $t > 0$ ,  $s \leq A_L < \alpha$  ifadelerini sağlamaktadır. İfadede yer alan  $\alpha$  büyük ve orta büyüklükteki heyelanların power-law kontrollerini,  $t$  maksimum dağılım yoğunluk fonksiyonu kontrolünü ve  $s$  küçük heyelanların üstel düşüşünü kontrol eden parametrelerdir.

$$p(A_L; \alpha, t, s) = \frac{1}{t\Gamma(\alpha)} \left[ \frac{t}{A_L - s} \right]^{\alpha+1} \exp \left[ -\frac{t}{A_L - s} \right] \quad \text{Eşitlik 5.5}$$

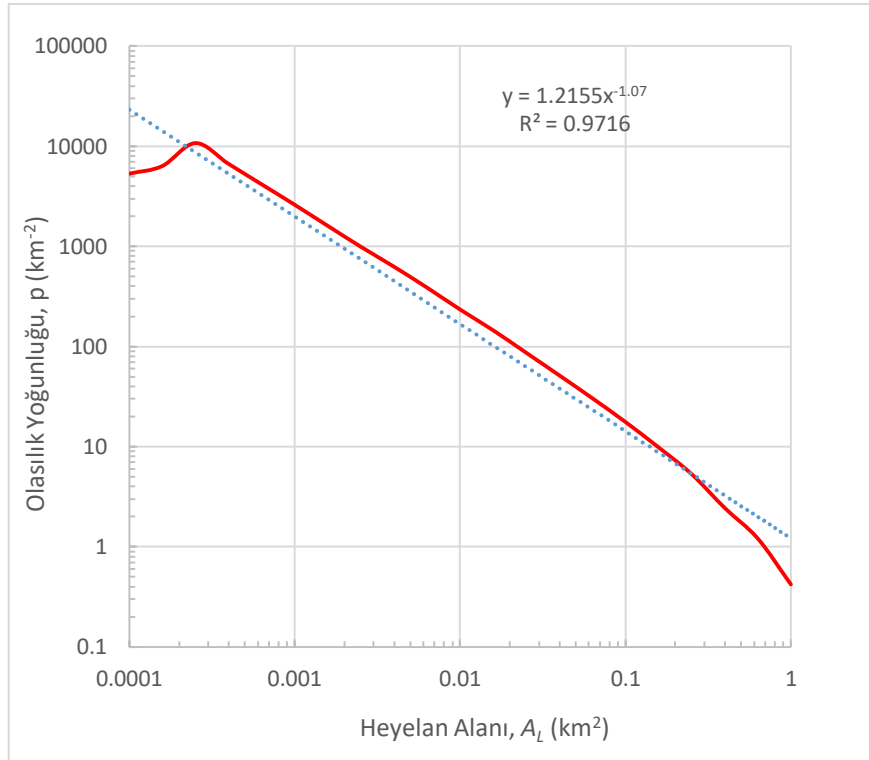
Heyelan olayının en az 1 kere gerçekleşmesi göz önüne alınarak,

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

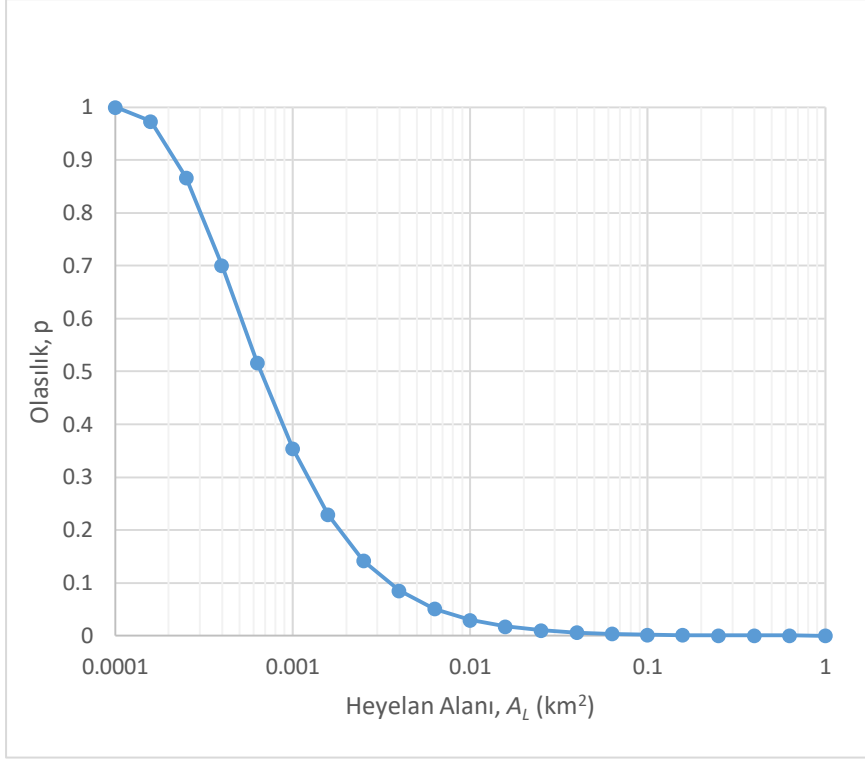
Eşitlik 5.6

belirli bir büyüklükteki heyelanın olma olasılığının hesaplanmasını sağlamıştır. Eşitlikte  $N_{LT}$  ile envanter haritalarındaki toplam heyelan sayısı,  $\frac{\delta N_L}{\delta A_L}$  ile  $A_L$  ve  $A_L + \delta A_L$  alanları arasında kalan heyelan sayısı ifade edilmektedir.

Bu tez çalışmasında, heyelan envanter haritalarından elde edilen 104 heyelan için Malamud [143] tarafından önerilen yaklaşım kullanılmıştır. Üç parametrelili ters gamma olasılık yoğunluk fonksiyonunu sağlayan gamma eğrisinden  $\rho=1.21$ ,  $s=1.1 \times 10^{-4}$ ,  $a=2.5 \times 10^{-4}$  parametreleri elde edilmiş,  $r^2=0.97$  ile uyumluluk sağlanmıştır (Şekil 5.7). Çalışma alanı için elde edilen yoğunluk fonksiyonundan belirlenen parametreler kullanılarak,  $0.01 \text{ km}^2$ ,  $0.001 \text{ km}^2$  ve  $0.0003 \text{ km}^2$  alansal değerler için, olasılık değerleri hesaplanmıştır (Şekil 5.8). Elde edilen bu değerler,  $0.01 \text{ km}^2$ ,  $0.001 \text{ km}^2$  ve  $0.0003 \text{ km}^2$  alansal büyüklükler için sırasıyla % 5, % 36 ve % 79 olarak belirlenmiştir.

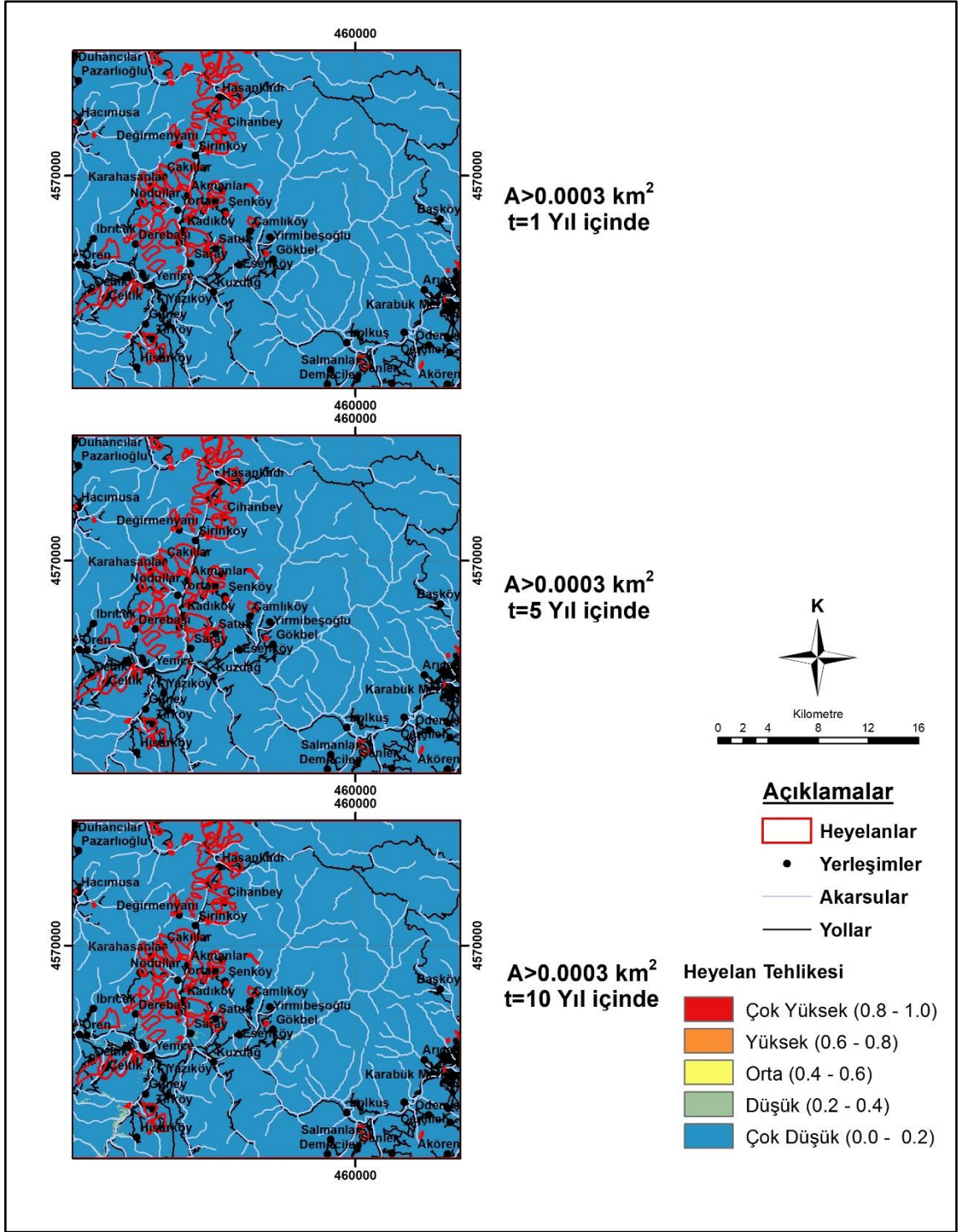


Şekil 5.7. Çalışma alanına için hazırlanmış üç parametrelili ters gamma yoğunluk eğrisi  $\rho = 1.21$ ,  $s = 1.1 \times 10^{-4}$ ,  $a = 2.5 \times 10^{-4}$ .

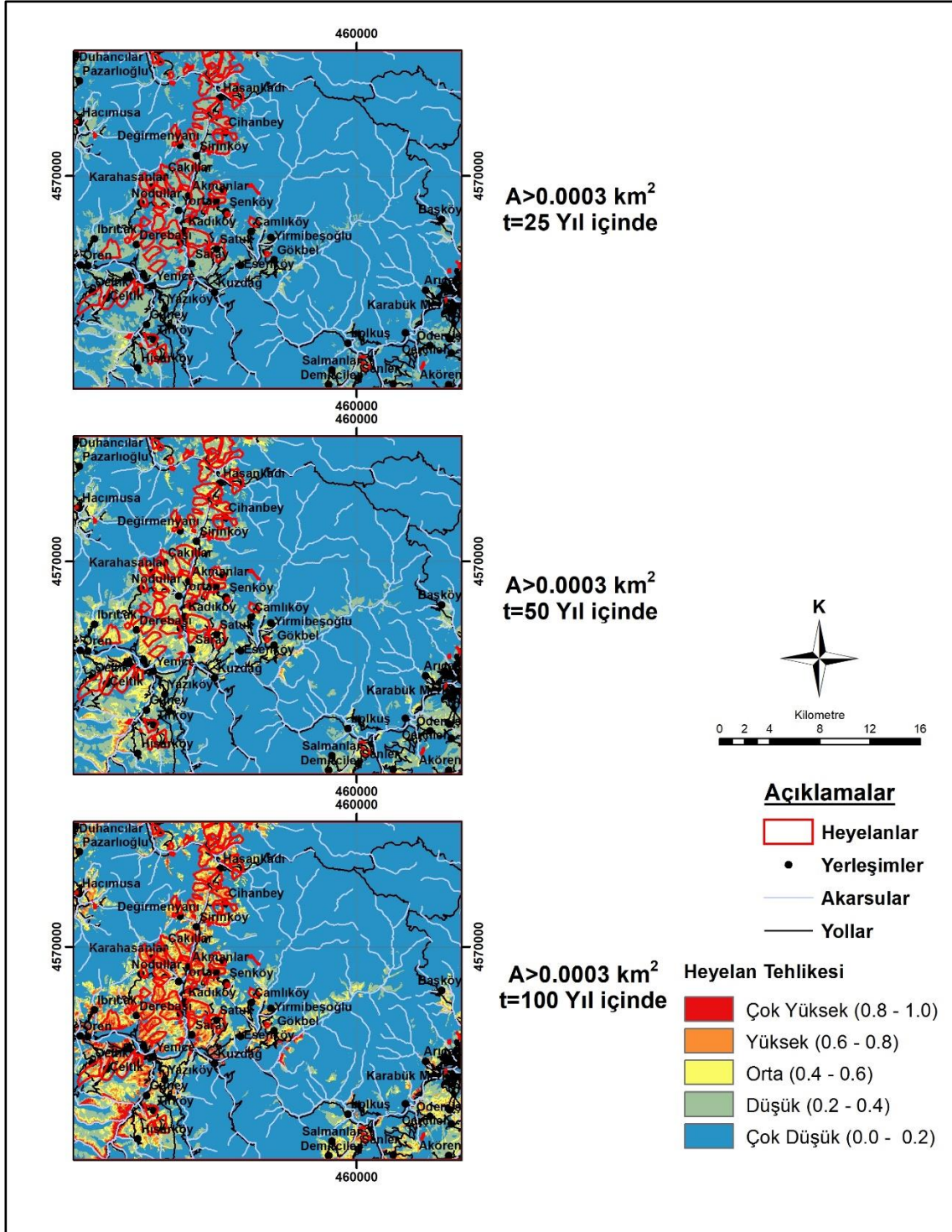


Şekil 5.8. Çalışma alanına ait alansal olasılık dağılımı.

Heyelan tehlike analizlerinin son aşamasında, tehlike tanımı da gözetilerek (konumsal, alansal ve zamansal olasılıklar), toplam 18 adet heyelan tehlike haritası üretilmiştir (EK1 - EK18). Bunlardan, örnek olması açısından, 1, 5, 10, 25, 50 ve 100 yıl içinde, 0.0003 km<sup>2</sup>'den büyük alansal olasılığa sahip değerler gözetilerek üretilen heyelan tehlike haritaları, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da sunulmaktadır.



Şekil 5.9. Çalışma alanına ait 1, 5 ve 10 yıl içinde, 0.0003 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen örnek tehlike haritaları.



Şekil 5.10. Çalışma alanına ait 25, 50 ve 100 yıl içinde, 0.0003 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen örnek tehlike haritaları.

## 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, ülkemiz açısından son derece büyük öneme sahip olan ve verdiği zarar açısından depremlerden sonra ikinci sırada bulunan heyelanlar konusunda, bölgesel ölçekte CBS temelli duyarlılık ve tehlike değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu kapsamda, TÜBİTAK tarafından desteklenen 113Y455 nolu proje ile de desteklenmiş olan bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır:

1. Tez çalışmasına temel teşkil etmesi açısından, kapsamlı bir literatür araştırması yapılmıştır. Bu araştırma, konuyla ilgili dikkate alınan parametreler ve kullanılan yöntemlere ve duyarlılık ile tehlike değerlendirmelerine yönelik gerçekleştirilmiştir.
2. Araştırmacılar arasında, heyelan duyarlılığı konusunda dikkate alınan parametreler, 2010 yılından sonra yayımlanmış 40 çalışma için derlenmiştir. Buna göre, bu çalışmalarda dikkate alınan en düşük parametre sayısı 5 iken, en fazla kullanılan parametre sayısı 22'dir. Tüm çalışmalar dikkate alındığında, kullanılan parametre sayısı ortalaması ise, 9.45'tir. Çalışmalarda sıklıkla kullanılan parametreler sırasıyla yamaç eğimi, bakı, litoloji, yapısal unsurlara uzaklık, drenaja uzaklık, topoğrafik yükseklik, arazi kullanımı, yamaç eğriselliği, yollara uzaklık ve topoğrafik nemlilik indeksidir. Bu parametreler dışında, çok sayıda ve türde başka parametreler de bulunmaktadır. Sözü edilen parametrelerin sıklıkla kullanılıyor olması, heyelan değerlendirmelerinin daha sağlıklı yapılıyor olması anlamına gelmemekte, diğer yandan, daha az kullanılıyor olması da, daha önemsiz olduğuna işaret etmemektedir. Buradaki temel hedef, dikkate alınacak parametrelerin heyelanlarla ilişkili olması ve oluşum mekanizması üzerinde bir etkisinin olması gerekliliğidir.
3. Bir önceki maddede yapılan değerlendirmeler ışığında, saha çalışmalarından elde edilen bilgi ve gözlemler ile literatür araştırmaları sonucunda, heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde yamaç eğimi, bakı, yükseklik, eğrisellik, sediman taşıma kapasitesi indeksi, akış gücü indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, yollara uzaklık, drenaja uzaklık, litoloji ve arazi kullanımı olmak üzere toplam 11 adet parametre kullanılmıştır.

4. Tez çalışması kapsamında yapılacak olan tüm analiz ve değerlendirmelere temel teşkil eden heyelan envanter çalışmaları ayrıntılı bir şekilde yürütülmüştür. Mevcut arşiv verileri, AFAD ve MTA tarafından yapılan çalışmalar, ortofoto ve hava fotoğrafı yorumlamaları ve yerinde haritalamalar ile gerçekleştirilen bu çalışmalar kapsamında, 104 adet heyelan haritalanmıştır. Diğer yandan, tüm veri kaynakları değerlendirildiğinde toplam 164 adet heyelan raporlandığı görülmektedir. Aradaki sayısal farklılık, aynı lokasyonda tekrarlayan/reaktive olan heyelanlar ile zaman içinde erozyona uğramış, bitki örtüsü ile kaplanmış alanlarda olan ve saha gözlemleri sırasında haritalanamayan heyelanlardan kaynaklanmaktadır. Haritalanan heyelanlar, dönел kayma (kütlesel) şeklinde sınıflandırılmış olup, büyük oranda Karabük ilinin Yenice ilçesinin güneyinden başlayan ve KKD doğrultusunda izleyen bir hat boyunca konumlanmaktadır.
5. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde, özellikle son yıllarda bilimsel araştırmalarda sıklıkla kullanılan Lojistik Regresyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem ile üretilen heyelan duyarlılık haritası, çok düşük ile çok yüksek heyelan duyarlılığı aralığında değişen bir ölçekte sınıflandırılmıştır. Bu haritaya göre, çalışma alanının % 60.7'si çok düşük, % 10.9'u düşük, % 3.5'i orta, % 5.7'si yüksek ve % 19.2'si de çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip olarak belirlenmiştir. Analizlerin başlangıcında, % 70 eğitim ve % 30 sına ma verisi olarak rasgele ayrımlanan pikseller üzerinde, ROC analizi gerçekleştirilerek, AUC değeri hesaplanmıştır. Performans analizlerine göre AUC değeri, 0.881 olarak belirlenmiş olup, üretilen duyarlılık haritasının tatmin edici sonuçlar ürettiği şeklinde yorumlanmıştır. Zira bu değerin 1'e yakın olması mükemmel, 0.5 ve daha düşük değerlerin, istatistiksel olarak anlamsız olduğu kabul edilmektedir. AUC değerinin yüksek olması nedeniyle, herhangi başka bir yöntemle karşılaştırma yoluna gidilmemiş ve bir kıyaslama yapılmamıştır.
6. Bir sonraki aşama olan heyelan tehlike analizlerinde ise, öncelikle bölgedeki yağış istasyonlarına ilişkin veriler derlenmiş ve incelenmiştir. Heyelanların yüksek oranda yayılım gösterdiği Yenice bölgesindeki yağış istasyonunda çok önemli veri kayıplarının olması ile Safranbolu ve Karabük istasyonlarındaki yağış verilerindeki kesiklik/eksiklikler nedeniyle,



heyelan tehlike değerlendirmelerinin yağış analizleriyle yapılmasının temsil edici olmayacağı düşünölmüştür. Bu nedenle, çok zamanlı tehlike analiz yaklaşımı tercih edilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler için, Poisson ve Binom dağılımlar dikkate alınmıştır. Literatüre göre Binom dağılımı, özellikle yakın zamanlı tahminlemeler için tutucu sonuçlar ürettiği için, tehlike analizlerinde Poisson dağılımından elde edilen sonuçlar dikkate alınmıştır. Bu durumun temel sebebi, özellikle yakın gelecekteki zaman periyotları için Binom dağılımının tutucu sonuçlar vermesidir. Zaman periyodu ilerledikçe söz konusu dağılımların olasılık değerlerinin birbirine yaklaştıkları, literatürle uyumlu olarak bu çalışmada da gözlenmiştir. 1905-2013 yılları arasında gelişmiş 164 adet heyelan verisiyle zamansal olasılık, haritalanan 104 adet heyelanla da alansal olasılık dağılımları belirlenmiş, farklı periyotlar ve alansal büyüklükler için konumsal olabilirlik değeri olan duyarlılık haritası ile aritmetiksel olarak çarpılarak, tehlike değerleri elde edilmiştir. Bu yaklaşımlara göre, çalışma alanında toplam 18 adet heyelan tehlike haritası 1, 5, 10, 25, 50 ve 100 içinde oluşma olasılıklarını temsil edecek şekilde üretilmiştir.

7. Bu değerlendirmelere göre, alandaki büyük boyutlu heyelanların tehlike değerinin 50 yıldan sonra artmaya başladığı, diğer bir deyişle, büyük boyutlu heyelan tehlikesinin 50 yıla kadar çok düşük seviyelerde olduğu söylenebilir. Alansal büyüklüğün küçölmesiyle, heyelan tehlikesinin daha yakın zaman dilimlerinde artış eğiliminde olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.
8. Özellikle son 15-20 yıl içinde, heyelan duyarlılık, tehlike ve risk konularında yapılan çalışmaların sayısında, dünyada olduğu gibi Türkiye'de de bir artış görölmektedir. Bu kapsamda değerlendirildiğinde, bu tez çalışması kapsamındaki gibi çalışmaların daha yaygın hale gelmesi, heyelanlar nedeniyle ortaya çıkması olası zararları en aza indirmeye yolunda önemli bir adım olacaktır. Günümüze değin, bölgedeki heyelan duyarlılık çalışmalarına ek olarak bu tez çalışmasında mevcut veriler dahilinde, heyelan tehlike değerlendirmesi de yapılmıştır. Bir sonraki aşama olan heyelan risk çalışmaları için gerekli ayrıntılı verilerin en kısa sürede elde edilmesi ve/veya güncellenmesi son derece faydalı olacaktır.

9. Heyelan duyarlılığı, tehlikesi ve riski konusunda, tüm Türkiye’de yaygınlaştırılması amaçlanan çalışmaların, özellikle AFAD tarafından (Afet Risk Azaltma Sistemi, ARAS) yürütüldüğü de bilinmektedir. Bununla birlikte, bu çalışmada, özellikle sağlıklı ve temsil edici veriye ulaşımında yaşanan güçlüklerin, halen yapılan ve/veya yapılacak olan çalışmalarda da yaşanması olasıdır. Bu nedenle, özellikle heyelan envanter ve veri tabanı çalışmalarının eksikliklerinin giderilmesi ve güncellenmesi çalışmalarının ivedilikle hayata geçirilmesi ve uygulamaya sokulması ile heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının yurt genelinde üretilmesi, heyelanlardan kaynaklanan zararların en aza indirilmesi çalışmalarının en önemli aşamasını oluşturacaktır.

## 7. KAYNAKLAR

- [1] B. Illdır, “Türkiyede heyelanların dağılımı ve afetler yasası ile ilgili uygulamalar”.
- [2] G. Dağdelenler, “Üretilmesinde Örneklem ve Doğrulama Stratejilerinin Değerlendirilmesi (Gelibolu Yarımadası’nın Doğu Kesimi)”, Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü, 2013.
- [3] F. Guzzetti, Landslide hazard mapping and risk assessment, c. 18. 2005.
- [4] S. Ünal, “Yenice Fauna Raporu”, Kastamonu, **2012**.
- [5] İ. Ketin, “Anadolu’nun tektonik birlikleri (Tectonic Units of Anatolian Asia Minor)”, MTA Enstitüsü Yayını, c. 66, ss. 20–34, **1966**.
- [6] İ. Alan ve A. Aksay, “1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Zonguldak E-27 ve F-27 Paftaları. Jeolojik İnceleme Raporu”, Ankara, **2002**.
- [7] M. M. Blumenthal, “Bolu civarı ile Aşağı Kızılırmak Mecrası arasındaki Kuzey Anadolu Silsilelerinin jeolojisi”, Maden Tetk. ve Aram. Enstitüsü, c. Seri B, 13, s. 265, **1948**.
- [8] O. Tüysüz, A. Aksay, ve E. Yiğitbaş, “Batı Karadeniz Bölgesi Litostratigrafi Birimleri”, Ankara, **2004**.
- [9] A. F. Yergök *vd.*, “Batı Karadeniz Bölgesinin jeolojisi (I)”, Ankara, **1987**.
- [10] S. Saner, İ. Taner, Z. Aksoy, M. Siyako, ve K. Bürkan, “Karabük-Safranbolu Bölgesinin Jeolojisi”, Ankara, **1972**.
- [11] M. Erendil, A. Aksay, A. Oral, G. Tunay, A. Temren, ve İ. Kuşcu, “Bolu masifi ve çevresinin jeolojisi”, MTA Genel Müdürlüğü Jeolojik Etütler Dairesi, c. No:9425, s. 55s, **1991**.
- [12] Z. Akyol *vd.*, “1:50.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası Serisi”, Ankara, **1974**.
- [13] E. Sirel, “Cide bölgesi (Kuzey Türkiye) Mestrihtiyeninde bulunan yeni bir foraminifer cinsi Cideina n. gen.”, Ankara, **1991**.
- [14] T. Mazman, “Coğrafi Bilgi Sistemleri İstatistiksel Analiz Teknikleri ile Kumluca Havzası (GD Bartın) Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2005.

- [15] T. Alkeveli, "Aster Uydu Verilerinin Heyelan Envanter Haritalamalarına Yönelik Kullanımının Araştırılması: Yenice-Gökçebey ( Batı Karadeniz Bölgesi)", Hacettepe Üniversitesi, 2009.
- [16] M. Ercanoğlu vd., "Yenice ve Karabük Arasındaki Alanın Taşkın ve Heyelan Potansiyelinin Değerlendirilmesi ve Bölgesel Tehlike Haritalarının Üretilmesi", **2016**.
- [17] M. Ercanoğlu, "Bulanık Mantık ve İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi: Batı Karadeniz Bölgesi (Kumluca Güneyi - Yenice Kuzeyi)", Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003.
- [18] E. Timur ve A. Aksay, "1:100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası serisi, Zonguldak F 29", Ankara, **2002**.
- [19] M. Tokay, "Contribution à l'étude géologique de la région comprise entre Ereğli, Alaplı, Kızıltepe et Alacaağzı [Karadeniz Ereğlisi - Alaplı - Kızıltepe -• Alacaaezi Bölgesi jeolojisi", Hacettepe Üniversitesi Yerbilim. Uygul. ve Araştırma Merk. Derg., c. 30 (3), ss. 213–233, **2009**.
- [20] M. Tokay, "Contribution à l'étude géologique de la région comprise entre Ereğli, Alaplı, Kızıltepe et Alacaağzı [Karadeniz Ereğlisi - Alaplı - Kızıltepe -• Alacaağzi Bölgesi jeolojisi", Ankara, **1954**.
- [21] S. Saner, "Mudurnu, Göynük Havzasının Jura ve Sonrası Çökelim Nitelikleri ile Paleocoğrafya Yorumlaması", Ankara, **1980**.
- [22] A. . Barka, "The North Anatolian Fault Zone", Ann. Tectonicae, ss. 164–195, **1992**.
- [23] O. Tüysüz, "Karadeniz'den Orta Anadolu'ya bir jeotravers, Kuzey Neotetisin tektonik evrimi", TPJD Bült., c. C.5/l, s. s. 1-33, **1993**.
- [24] C. Gökçeoğlu ve M. Ercanoğlu, "Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler", Hacettepe Üniversitesi Yerbilim. Uygul. ve Araştırma Merk. Bülteni, c. 23, ss. 189–206, **2001**.
- [25] B. Pradhan, S. Lee, ve M. F. Buchroithner, "A GIS-based back-propagation neural network model and its cross-application and validation for landslide susceptibility analyses", Comput. Environ. Urban Syst., c. 34, sayı 3, ss.

216–235, **2010**.

- [26] R. Hadji, A. errahmane Boumazbeur, Y. Limani, M. Baghem, A. el M. Chouabi, ve A. Demdoun, “Geologic, topographic and climatic controls in landslide hazard assessment using GIS modeling: A case study of Souk Ahras region, NE Algeria”, *Quat. Int.*, c. 302, sayı July 2013, ss. 224–237, **2013**.
- [27] T. R. Martha, C. J. van Westen, N. Kerle, V. Jetten, ve K. Vinod Kumar, “Landslide hazard and risk assessment using semi-automatically created landslide inventories”, *Geomorphology*, c. 184, ss. 139–150, **2013**.
- [28] A. Ozdemir ve T. Altural, “A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan mountains, SW Turkey”, *J. Asian Earth Sci.*, c. 64, ss. 180–197, **2013**.
- [29] N. Pareek, S. Pal, M. L. Sharma, ve M. K. Arora, “Study of effect of seismic displacements on landslide susceptibility zonation (LSZ) in Garhwal Himalayan region of India using GIS and remote sensing techniques”, *Comput. Geosci.*, c. 61, ss. 50–63, **2013**.
- [30] B. Pradhan, “A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS”, *Comput. Geosci.*, c. 51, ss. 350–365, **2013**.
- [31] L. J. Wang, K. Sawada, ve S. Moriguchi, “Landslide susceptibility analysis with logistic regression model based on FCM sampling strategy”, *Comput. Geosci.*, c. 57, ss. 81–922, **2013**.
- [32] C. Y. Wu ve S. C. Chen, “Integrating spatial, temporal, and size probabilities for the annual landslide hazard maps in the Shihmen watershed, Taiwan”, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, c. 13, sayı 9, ss. 2353–2367, **2013**.
- [33] M. Conforti, F. Muto, V. Rago, ve S. Critelli, “Landslide inventory map of north-eastern Calabria (South Italy)”, *J. Maps*, c. 10, sayı 1, ss. 90–102, **2014**.

- [34] M. C. J. Damen, M. Micu, V. Zumpano, C. J. van Westen, K. Sijmons, ve D. Balteanu, "Landslide mapping and interpretation: implications for landslide susceptibility analysis in discontinuous data environment", 2014, sayı February 2012, ss. 1–8.
- [35] S. Dragičević, T. Lai, ve S. Balram, "GIS-based multicriteria evaluation with multiscale analysis to characterize urban landslide susceptibility in data-scarce environments", *Habitat Int.*, c. 45, sayı P2, ss. 114–125, **2014**.
- [36] D. T. Bui, O. Lofman, I. Revhaug, ve O. Dick, "Landslide susceptibility analysis in the Hoa Binh province of Vietnam using statistical index and logistic regression", *Nat. Hazards*, c. 59, sayı 3, ss. 1413–1444, **2011**.
- [37] B. Epifânio, J. L. Zêzere, ve M. Neves, "Susceptibility assessment to different types of landslides in the coastal cliffs of Lourinhã (Central Portugal)", *J. Sea Res.*, c. 93, ss. 150–159, **2014**.
- [38] B. Feizizadeh, M. Shadman Roodposhti, P. Jankowski, ve T. Blaschke, "A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping", *Comput. Geosci.*, c. 73, ss. 208–221, **2014**.
- [39] F. Lucà, D. D'Ambrosio, G. Robustelli, R. Rongo, ve W. Spataro, "Integrating geomorphology, statistic and numerical simulations for landslide invasion hazard scenarios mapping: An example in the Sorrento Peninsula (Italy)", *Comput. Geosci.*, c. 67, ss. 163–172, **2014**.
- [40] L. Peng, R. Niu, B. Huang, X. Wu, Y. Zhao, ve R. Ye, "Landslide susceptibility mapping based on rough set theory and support vector machines: A case of the Three Gorges area, China", *Geomorphology*, c. 204, ss. 287–301, **2014**.
- [41] H. Faraji Sabokbar, M. Shadman Roodposhti, ve E. Tazik, "Landslide susceptibility mapping using geographically-weighted principal component analysis", *Geomorphology*, c. 226, ss. 15–24, **2014**.
- [42] Y. Wu, L. Chen, C. Cheng, K. Yin, ve Á. Török, "GIS-based landslide hazard predicting system and its real-time test during a typhoon, Zhejiang Province, Southeast China", *Eng. Geol.*, c. 175, ss. 9–21, **2014**.
- [43] C. Conoscenti, M. Ciaccio, N. A. Caraballo-Arias, Á. Gómez-Gutiérrez, E.

- Rotigliano, ve V. Agnesi, "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*, c. 242, ss. 49–64, **2015**.
- [44] A. Dehnavi, I. N. Aghdam, B. Pradhan, ve M. H. Morshed Varzandeh, "A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran", *Catena*, c. 135, ss. 122–148, **2015**.
- [45] J. N. Goetz, A. Brenning, H. Petschko, ve P. Leopold, "Evaluating machine learning and statistical prediction techniques for landslide susceptibility modeling", *Comput. Geosci.*, c. 81, ss. 1–11, **2015**.
- [46] C. Guo, D. R. Montgomery, Y. Zhang, K. Wang, ve Z. Yang, "Quantitative assessment of landslide susceptibility along the Xianshuihe fault zone, Tibetan Plateau, China", *Geomorphology*, c. 248, ss. 930–110, **2015**.
- [47] J. Choi, H. J. Oh, H. J. Lee, C. Lee, ve S. Lee, "Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network models using ASTER images and GIS", *Eng. Geol.*, c. 124, sayı 1, ss. 12–23, **2011**.
- [48] A. Jaafari, A. Najafi, J. Rezaeian, A. Sattarian, ve I. Ghajar, "Planning road networks in landslide-prone areas: A case study from the northern forests of Iran", *Land use policy*, c. 47, ss. 198–208, **2015**.
- [49] T. Kavzoglu, E. Kutlug Sahin, ve I. Colkesen, "Selecting optimal conditioning factors in shallow translational landslide susceptibility mapping using genetic algorithm", *Eng. Geol.*, c. 192, ss. 101–112, **2015**.
- [50] M. Meinhardt, M. Fink, ve H. Tünschel, "Landslide susceptibility analysis in central Vietnam based on an incomplete landslide inventory: Comparison of a new method to calculate weighting factors by means of bivariate statistics", *Geomorphology*, c. 234, ss. 80–97, **2015**.
- [51] D. Palamakumbure, P. Flentje, ve D. Stirling, "Consideration of optimal pixel resolution in deriving landslide susceptibility zoning within the Sydney

- Basin, New South Wales, Australia”, *Comput. Geosci.*, c. 82, ss. 13–22, **2015**.
- [52] E. K. Sahin, C. Ipbuker, ve T. Kavzoglu, “A Comparison of Feature and Expert-based Weighting Algorithms in Landslide Susceptibility Mapping”, *Procedia Earth Planet. Sci.*, c. 15, ss. 462–467, **2015**.
- [53] K. J. Shou ve C. M. Yang, “Predictive analysis of landslide susceptibility under climate change conditions - A study on the Chingshui River Watershed of Taiwan”, *Eng. Geol.*, c. 192, ss. 46–62, **2015**.
- [54] L. T. Tay, M. S. Alkhasawneh, U. K. Ngah, ve H. Lateh, “Landslide hazard mapping of Penang Island using dominant factors”, *ISTT 2014 - 2014 IEEE 2nd Int. Symp. Telecommun. Technol.*, c. 4, ss. 154–158, **2014**.
- [55] A. Trigila, C. Iadanza, C. Esposito, ve G. Scarascia-Mugnozza, “Comparison of Logistic Regression and Random Forests techniques for shallow landslide susceptibility assessment in Giampilieri (NE Sicily, Italy)”, *Geomorphology*, c. 249, ss. 119–136, **2015**.
- [56] T. Hamza ve T. K. Raghuvanshi, “GIS based landslide hazard evaluation and zonation – A case from Jeldu District, Central Ethiopia, GIS based landslide hazard evaluation and zonation”, *J. King Saud Univ. - Sci.*, c. 29, sayı 2, ss. 151–165, **2017**.
- [57] N. Nedumpallile Vasu, S. R. Lee, A. M. S. Pradhan, Y. T. Kim, S. H. Kang, ve D. H. Lee, “A new approach to temporal modelling for landslide hazard assessment using an extreme rainfall induced-landslide index”, *Eng. Geol.*, c. 215, ss. 36–49, **2016**.
- [58] P. Kayastha, M. R. Dhital, ve F. De Smedt, “Landslide susceptibility mapping using the weight of evidence method in the Tinau watershed, Nepal”, *Nat Hazards*, c. 63, sayı Issue 2, ss. 479–498, **2012**.
- [59] G. F. Lin, M. J. Chang, Y. C. Huang, ve J. Y. Ho, “Assessment of susceptibility to rainfall-induced landslides using improved self-organizing linear output map, support vector machine, and logistic regression”, *Eng. Geol.*, c. 224, sayı May, ss. 62–74, **2017**.
- [60] S. Lee, K.-Y. Song, H.-J. Oh, ve J. Choi, “Detection of landslides using



- web-based aerial photographs and landslide susceptibility mapping using geospatial analysis”, *Int. J. Remote Sens.*, c. 33, sayı 16, ss. 4937–4966, **2012**.
- [61] S. Mashari, K. Solaimani, ve E. Omidvar, “Landslide Susceptibility Mapping Using Multiple Regression and GIS Tools in Tajan Basin, North of Iran”, *Environ. Nat. Resour. Res.*, c. 2, sayı 3, ss. 43–51, **2012**.
- [62] A. N. Othman, W. M. Naim., W. M., ve N. S., “GIS Based Multi-Criteria Decision Making for Landslide Hazard Zonation”, *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, c. 35, sayı December 2011, ss. 595–602, **2012**.
- [63] H. R. Pourghasemi, M. Mohammady, ve B. Pradhan, “Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran”, *Catena*, c. 97, ss. 71–84, **2012**.
- [64] M. Capitani, A. Ribolini, ve M. Bini, “The slope aspect: A predisposing factor for landsliding?”, *Comptes Rendus - Geosci.*, c. 345, sayı 11–12, ss. 427–438, **2013**.
- [65] J. Corominas *vd.*, “Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk”, *Bull. Eng. Geol. Environ.*, c. 73, sayı 2, ss. 209–263, **2014**.
- [66] F. Guzzetti, A. Carrara, M. Cardinali, ve R. Paola, Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, c. 31. 1999.
- [67] R. Fell, J. Corominas, C. Bonnard, L. Cascini, E. Leroi, ve W. Z. Savage, Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning Commentary, c. 102. 2008.
- [68] D. Kanungo, M. Arora, S. Sarkar, ve R. Gupta, “Landslide Susceptibility Zonation (LSZ) Mapping—A Review.”, *J. South Asia Disaster Stud.*, c. 2, sayı 1, ss. 81–105, **2009**.
- [69] F. Guzzetti, A. Carrara, M. Cardinali, ve R. Paola, Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy, c. 31. 1999.
- [70] C. Lee, “GIS Application in Landslide Hazard Analysis – An Example from the Shihmen Reservoir Catchment Area in Northern Taiwan”, sayı 300, ss.

1–8, **2008**.

- [71] J. Zêzere, R. Trigo, M. Fragoso, S. Oliveira, ve R. Garcia, “Rainfall-Triggered Landslides Occurred in the Lisbon Region in 2006: Validation of Regional Rainfall Thresholds and Relationships with the North Atlantic Oscillation”, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, c. 8, ss. 483–499, **2008**.
- [72] E. Çil, “Erdemli Mersin Yöresinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Olası Tehlike Değerlendirmesi”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [73] M. Kouli, C. Loupasakis, P. Soupios, ve F. Vallianatos, “Landslide hazard zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture, Crete Island, Greece”, *Nat. Hazards*, c. 52, sayı 3, ss. 599–621, **2010**.
- [74] M. T. Brunetti, S. Peruccacci, M. Rossi, S. Luciani, D. Valigi, ve F. Guzzetti, “Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy”, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, c. 10, sayı 3, ss. 447–458, **2010**.
- [75] F. Guzzetti, S. Peruccacci, M. Rossi, ve C. P. Stark, “Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe”, *Meteorol. Atmos. Phys.*, c. 98, sayı 3, ss. 239–267, **2007**.
- [76] a. Erener ve H. S. B. Düzgün, “A GIS and RS-based quantitative vulnerability assessment for rainfall triggered landslides”, 34th Int. Symp. Remote Sens. Environ. - GEOSS Era Towar. Oper. Environ. Monit., **2011**.
- [77] A. Erener ve H. B. S. Düzgün, “A regional scale quantitative risk assessment for landslides: Case of Kumluca watershed in Bartın, Turkey”, *Landslides*, c. 10, sayı 1, ss. 55–73, **2013**.
- [78] A. R. Nafarzadegan, A. Talebi, H. Malekinezhad, ve N. Emami, “Antecedent Rainfall Thresholds for the Triggering of Deep-Seated Landslides (Case study: Chaharmahal & Bakhtiari Province, Iran)”, *Ecopersia*, c. 1, sayı 1, ss. 23–39, **2012**.
- [79] S. Mandal ve R. Maiti, “Assessing the Triggering Rainfall-Induced Landslip Events in the Shivkhola Watershed of Darjiling Himalaya, West Bengal”, *Eur. J. Geogr.*, c. 4, sayı 3, ss. 21–37, **2013**.
- [80] A. Puissant, M. Van Den Eeckhaut, J. P. Malet, ve O. Maquaire, “Landslide

- consequence analysis: a region-scale indicator-based methodology”, *Landslides*, c. 11, sayı 5, ss. 843–858, **2013**.
- [81] D. Tien Bui, B. Pradhan, O. Lofman, I. Revhaug, ve Ø. B. Dick, “Regional prediction of landslide hazard using probability analysis of intense rainfall in the Hoa Binh province, Vietnam”, *Nat. Hazards*, c. 66, sayı 2, ss. 707–730, **2013**.
- [82] R. Kumar ve R. Anbalagan, “Landslide susceptibility zonation in part of Tehri reservoir region using frequency ratio, fuzzy logic and GIS”, *J. Earth Syst. Sci.*, c. 124, sayı 2, ss. 431–448, **2015**.
- [83] S. Lee, J. S. Won, S. W. Jeon, I. Park, ve M. J. Lee, “Spatial Landslide Hazard Prediction Using Rainfall Probability and a Logistic Regression Model”, *Math. Geosci.*, c. 47, sayı 5, ss. 565–589, **2015**.
- [84] O. Marc ve N. Hovius, “Amalgamation in landslide maps: Effects and automatic detection”, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, c. 15, sayı 4, ss. 723–733, **2015**.
- [85] S. Segoni *vd.*, “Technical Note: An operational landslide early warning system at regional scale based on space-time-variable rainfall thresholds”, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, c. 15, sayı 4, ss. 853–861, **2015**.
- [86] Y. M. Wu, H. X. Lan, X. Gao, L. P. Li, ve Z. H. Yang, “A simplified physically based coupled rainfall threshold model for triggering landslides”, *Eng. Geol.*, c. 195, ss. 63–69, **2015**.
- [87] F. W. Y. Ko ve F. L. C. Lo, “Rainfall-based landslide susceptibility analysis for natural terrain in Hong Kong - A direct stock-taking approach”, *Eng. Geol.*, c. 215, ss. 95–107, **2016**.
- [88] J. C. Robbins, “A probabilistic approach for assessing landslide-triggering event rainfall in Papua New Guinea, using TRMM satellite precipitation estimates”, *J. Hydrol.*, c. 541, ss. 296–309, **2016**.
- [89] J. M. Chang, H. Chen, B. J. D. Jou, N. C. Tsou, ve G. W. Lin, “Characteristics of rainfall intensity, duration, and kinetic energy for landslide triggering in Taiwan”, *Eng. Geol.*, c. 231, sayı 1, ss. 81–87, **2017**.
- [90] M. Marjanović, M. Krautblatter, B. Abolmasov, U. Đurić, C. Sandić, ve V.

- Nikolić, “The rainfall-induced landsliding in Western Serbia: A temporal prediction approach using Decision Tree technique”, *Eng. Geol.*, c. 232, sayı November 2017, ss. 147–159, **2018**.
- [91] M. R. Palladino *vd.*, “Rainfall thresholds for the activation of shallow landslides in the Italian Alps: the role of environmental conditioning factors”, *Geomorphology*, c. 303, ss. 53–67, **2017**.
- [92] S. Naidu, K. S. Sajinkumar, T. Oommen, V. J. Anuja, R. A. Samuel, ve C. Muraleedharan, “Early warning system for shallow landslides using rainfall threshold and slope stability analysis”, *Geosci. Front.*, **2017**.
- [93] K. Martinović, K. Gavin, C. Reale, ve C. Mangan, “Rainfall thresholds as a landslide indicator for engineered slopes on the Irish Rail network”, *Geomorphology*, c. 306, ss. 40–50, **2018**.
- [94] A. Nemčok, J. Pašek, ve J. Rybář, “Classification of landslides and other mass movements”, *Rock Mech.*, c. 4, sayı 2, ss. 71–78, **1972**.
- [95] D. J. Varnes, “Slope Movement Types and Processes”, *Transp. Res. Board Spec. Rep.*, sayı 176, ss. 11–33, **1978**.
- [96] J. . Hutchinson, “General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology”, içinde *Fifth International Symposium on Landslides*, 1988, ss. 3–35.
- [97] D. M. Cruden, “A simple definition of a landslide”, *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. - Bull. l’Association Int. Géologie l’Ingénieur*, c. 43, sayı 1, ss. 27–29, **1991**.
- [98] D. M. Cruden ve D. J. Varnes, “Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3-Landslide types and processes”, *Spec. Rep.*, c. 247, sayı August, ss. 36–75, **1996**.
- [99] USGS, “Landslide Types and Processes”, *Highw. Res. Board Spec. Rep.*, sayı July, ss. 1–4, **2004**.
- [100] F. Guzzetti, A. C. Mondini, M. Cardinali, F. Fiorucci, M. Santangelo, ve K. T. Chang, “Landslide inventory maps: New tools for an old problem”, *Earth-Science Rev.*, c. 112, sayı 1–2, ss. 42–66, **2012**.

- [101] F. Taylor ve E. E. Brabb, "Map showing landslides in California that have caused fatalities or at least \$1,000,000 in damages from 1906 to 1984", [Reston, Va.] U.S. Geol. Surv., **1986**.
- [102] E. E. Brabb, "The San Mateo County California Gis Project for Predicting the Consequences of Hazardous Geologic Processes BT - Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards", A. Carrara ve F. Guzzetti, Ed. Dordrecht: Springer Netherlands, 1995, ss. 299–334.
- [103] T. Glade, "Establishing the frequency and magnitude of landslide-triggering rainstorm events in New Zealand", *Environ. Geol.*, sayı 35:2–3, ss. 160–174, **1998**.
- [104] P. Reichenbach, M. Cardinali, L. De Vita, ve F. Guzzetti, "Regional hydrological thresholds for landslides and floods in the Tiber River basin (Central Italy)", *Environ. Geol.*, c. 35:2–3, ss. 146–159, **1998**.
- [105] C. P. Salvati, P., Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M. and Stark, "Map of landslides and floods with human consequences in Italy", CNR Grup. Naz. per la Dif. dalle Catastr. Idrogeol. Publ. n. 2822, **2003**.
- [106] F. Guzzetti ve M. Cardinali, "Carta Inventario dei Fenomeni Franosi della Regione dell'Umbria ed aree limitrofe", CNR Grup. Naz. per la Dif. dalle Catastr. Idrogeol. Publ. n., c. 204, s. 2, **1989**.
- [107] G. Antonini, M. Cardinali, F. Guzzetti, P. Reichenbach, ve A. Sorrentino, "Carta Inventario dei Fenomeni Franosi della Regione Marche ed aree limitrofe", CNR Grup. Naz. per la Dif. dalle Catastr. Idrogeol. Publ. n. 580, s. 2, **1993**.
- [108] F. Cardinali, M., Antonini, G., Reichenbach, P. and Guzzetti, "Photo-geological and landslide inventory map for the Upper Tiber River basin", CNR Grup. Naz. per la Dif. dalle Catastr. Idrogeol. Publ. n. 2154, **2001**.
- [109] G. Antonini *vd.*, "No Title".
- [110] T. Y. Duman *vd.*, "No Title", *Eng. Geol.*, c. 77:1–2, ss. 99–114, **2005**.
- [111] G. F. Wieczorek, "Preparing A Detailed Landslide-Inventory Map For Hazard Evaluation And Reduction", *Bull. Assoc. Eng. Geol.*, c. 21, sayı 3, ss. 337–342, **1983**.

- [112] F. Guzzetti, "Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy", *Eng. Geol.*, c. 58, sayı 2, ss. 89–107, **2000**.
- [113] F. Ardizzone, M. Cardinali, M. Galli, F. Guzzetti, ve P. Reichenbach., "Identification and mapping of recent rainfall-induced landslides using elevation data collected by airborne Lidar", *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, c. 7, ss. 637–650, **2007**.
- [114] S. Ghosh, "A Knowledge-guided quantitative prediction for landslide hazard and risk --- case study in Darjeeling Himalaya , India", ITC.
- [115] E. E. Brabb ve E. H. Pampeyan, "Preliminary map of landslide deposits in San Mateo County, California", **1972**.
- [116] M. Galli, F. Ardizzone, M. Cardinali, F. Guzzetti, ve P. Reichenbach, "Comparing landslide inventory maps", *Geomorphology*, c. 94, ss. 268–289, **2008**.
- [117] C.-Y. Lin, H.-M. Lo, W.-C. Chou, ve W.-T. Lin, "Vegetation recovery assessment at the Jou-Jou Mountain landslide area caused by the 921 Earthquake in Central Taiwan", *Ecol. Modell.*, c. 176, sayı 1, ss. 75–81, **2004**.
- [118] T. Gorum *vd.*, "Distribution pattern of earthquake-induced landslides triggered by the 12 May 2008 Wenchuan earthquake", *Geomorphology*, c. 133, sayı 3, ss. 152–167, **2011**.
- [119] R. N. Parker *vd.*, "Mass wasting triggered by the 2008 Wenchuan earthquake is greater than orogenic growth", *Nat. Geosci.*, c. 4, sayı 7, ss. 449–452, **2011**.
- [120] R. C. Bucknam *vd.*, "Landslides triggered by Hurricane Mitch in Guatemala -- inventory and discussion", **2001**.
- [121] F. Guzzetti *vd.*, "Landslides triggered by the 23 November 2000 rainfall event in the Imperia Province, Western Liguria, Italy", *Eng. Geol.*, c. 73, sayı 3–4, ss. 229–245, **2004**.
- [122] M. Cardinali, M. Galli, F. Guzzetti, F. Ardizzone, P. Reichenbach, ve P. Bartoccini, "Rainfall induced landslides in December 2004 in south-western Umbria, central Italy: Types, extent, damage and risk assessment", *Nat.*

- Hazards Earth Syst. Sci., c. 6, sayı 2, ss. 237–260, **2006**.
- [123] F. Tsai, J. H. Hwang, L. C. Chen, ve T. H. Lin, “Post-disaster assessment of landslides in southern Taiwan after 2009 Typhoon Morakot using remote sensing and spatial analysis”, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., c. 10, sayı 10, ss. 2179–2190, **2010**.
- [124] M. Cardinali *vd.*, Landslides triggered by rapid snow melting: the December 1996–January 1997 event in Central Italy, c. 1999. 2000.
- [125] F. Fiorucci *vd.*, “Seasonal landslide mapping and estimation of landslide mobilization rates using aerial and satellite images”, Geomorphology, c. 129, sayı 1, ss. 59–70, **2011**.
- [126] P. Aleotti ve R. Chowdhury, “Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives”, Bull. Eng. Geol. Environ., c. 58, sayı 1, ss. 21–44, **1999**.
- [127] D. J. Varnes ve IAEG-CLOMMS (Internacional Association of Engineering Geology - Comission on Landslides and Other Mass Movements on, “Landslide hazard zonation: a review od principles and practise”, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology - Bulletin de l'Association Internationale de G{é}ologie de l'Ing{é}nieur*, c. 23, sayı 1. ss. 13–14, **1984**.
- [128] C. Baeza ve J. Corominas, “Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques”, Earth Surf. Process. Landforms, c. 26, sayı 12, ss. 1251–1263, **2001**.
- [129] M. Komac, “A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia”, Geomorphology, c. 74, sayı 1, ss. 17–28, **2006**.
- [130] I. D. Moore ve G. J. Burch, Modelling Erosion and Deposition: Topographic Effects, c. 29. 1986.
- [131] E. Yeşilnacar ve T. Topal, “Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey)”, Eng. Geol., c. 79, ss. 251–256, **2005**.
- [132] I. D. Moore, R. B. Grayson, ve A. R. Ladson, “Digital Terrain Modeling : A

Review of Hydrological Geomorphological and Biological Applications”, Hydrol. Process., c. 5, sayı 1, ss. 3–30, **1991**.

- [133] B. Tabachnick ve L. S. Fidell, Logistic regression. 1996.
- [134] S.-B. Bai, J. Wang, G.-N. Lü, P.-G. Zhou, S.-S. Hou, ve S.-N. Xu, “GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area, China”, *Geomorphology*, c. 115, sayı 1, ss. 23–31, **2010**.
- [135] I. Das, S. Sahoo, C. van Westen, A. Stein, ve R. Hack, “Landslide susceptibility assessment using logistic regression and its comparison with a rock mass classification system, along a road section in the northern Himalayas (India)”, *Geomorphology*, c. 114, sayı 4, ss. 627–637, **2010**.
- [136] A. Nandi ve A. Shakoor, “A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses”, *Eng. Geol.*, c. 110, ss. 11–20, **2009**.
- [137] D. W. Hosmer ve S. Lemeshow, “Applied Logistic Regression”, *Wiley Series in Probability and Sattistics*, sayı 1. s. 373, **2000**.
- [138] L. Ayalew ve H. Yamagishi, “The Application of GIS-Based Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan.”, *Geomorphology*, c. 65, ss. 15–31, **2005**.
- [139] S. Lee ve T. Sambath, “Landslide Susceptibility Mapping in the Damrei Romel Area, Cambodia Using Frequency Ratio and Logistic Regression Models”, *Environ. Geol.*, c. 50, ss. 847–855, **2006**.
- [140] P. Jaiswal, C. J. van Westen, ve V. Jetten, “Quantitative landslide hazard assessment along a transportation corridor in southern India”, *Eng. Geol.*, c. 116, sayı 3–4, ss. 236–250, **2010**.
- [141] R. A. Crovelli, “Probability Models for Estimation of Number and Costs of Landslides”, **2000**.
- [142] C. P. Stark ve N. Hovius, “The characterization of landslide size distributions”, c. 28, sayı 6, ss. 1091–1094, **2001**.
- [143] B. D. Malamud, D. L. Turcotte, F. Guzzetti, ve P. Reichenbach, “Landslide



inventories and their statistical properties”, c. 711, ss. 687–711, **2004**.

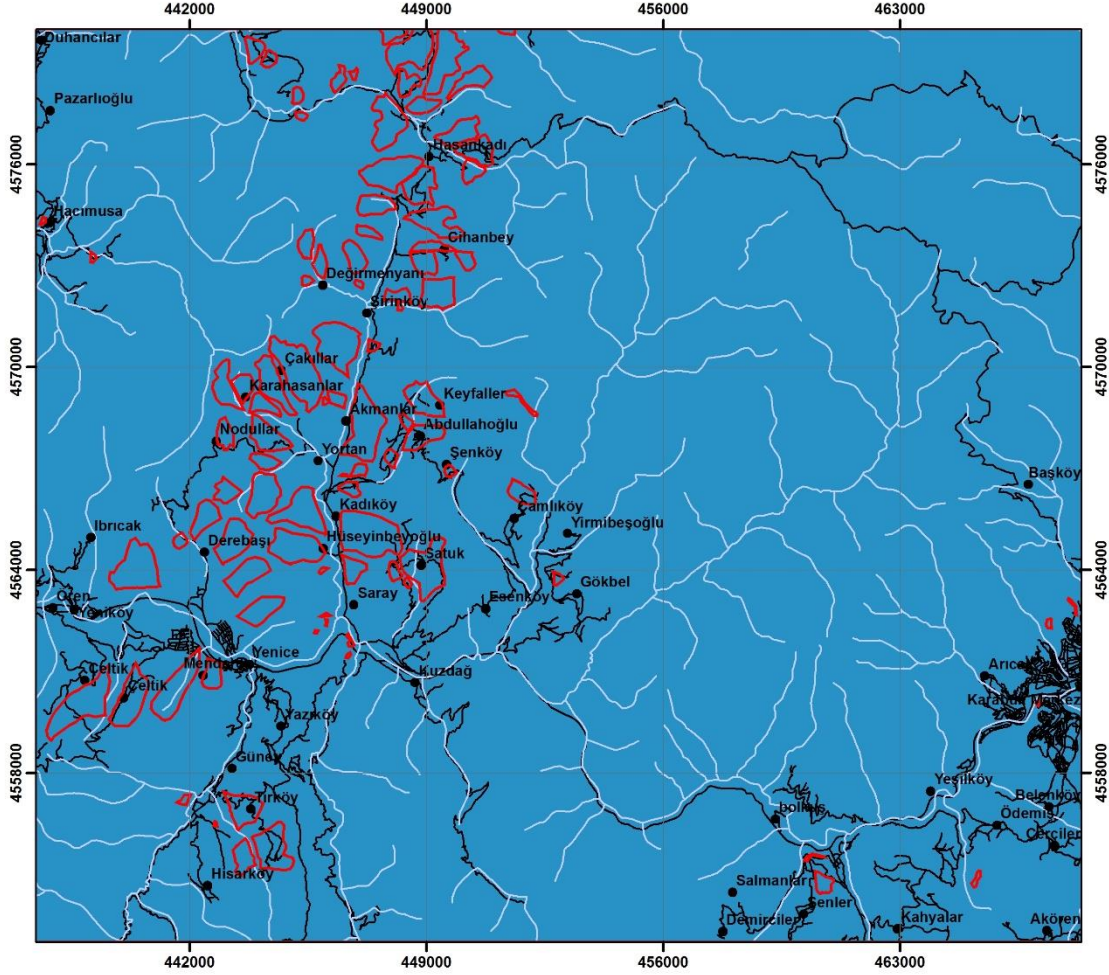
[144] S. Ghosh, “Knowledge Guided Empirical Prediction of Landslide Hazard”, University of Twente, 2011.

[145] S. Lari, P. Frattini, ve G. B. Crosta, “A probabilistic approach for landslide hazard analysis”, Eng. Geol., c. 182, sayı PA, ss. 3–14, **2014**.

[146] C. Y. Wu ve S. C. Chen, “Integrating spatial, temporal, and size probabilities for the annual landslide hazard maps in the Shihmen watershed, Taiwan”, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., c. 13, sayı 9, ss. 2353–2367, **2013**.

## EKLER

**EK1- Çalışma alanına ait 1 yıl içinde, 0.01 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



### Açıklamalar

	Heyelanlar	<b>Heyelan Tehlikesi</b>	
	Yerleşimler		Çok Yüksek (0.8 - 1.0)
	Akarsular		Yüksek (0.6 - 0.8)
	Yollar		Orta (0.4 - 0.6)
			Düşük (0.2 - 0.4)
			Çok Düşük (0.0 - 0.2)

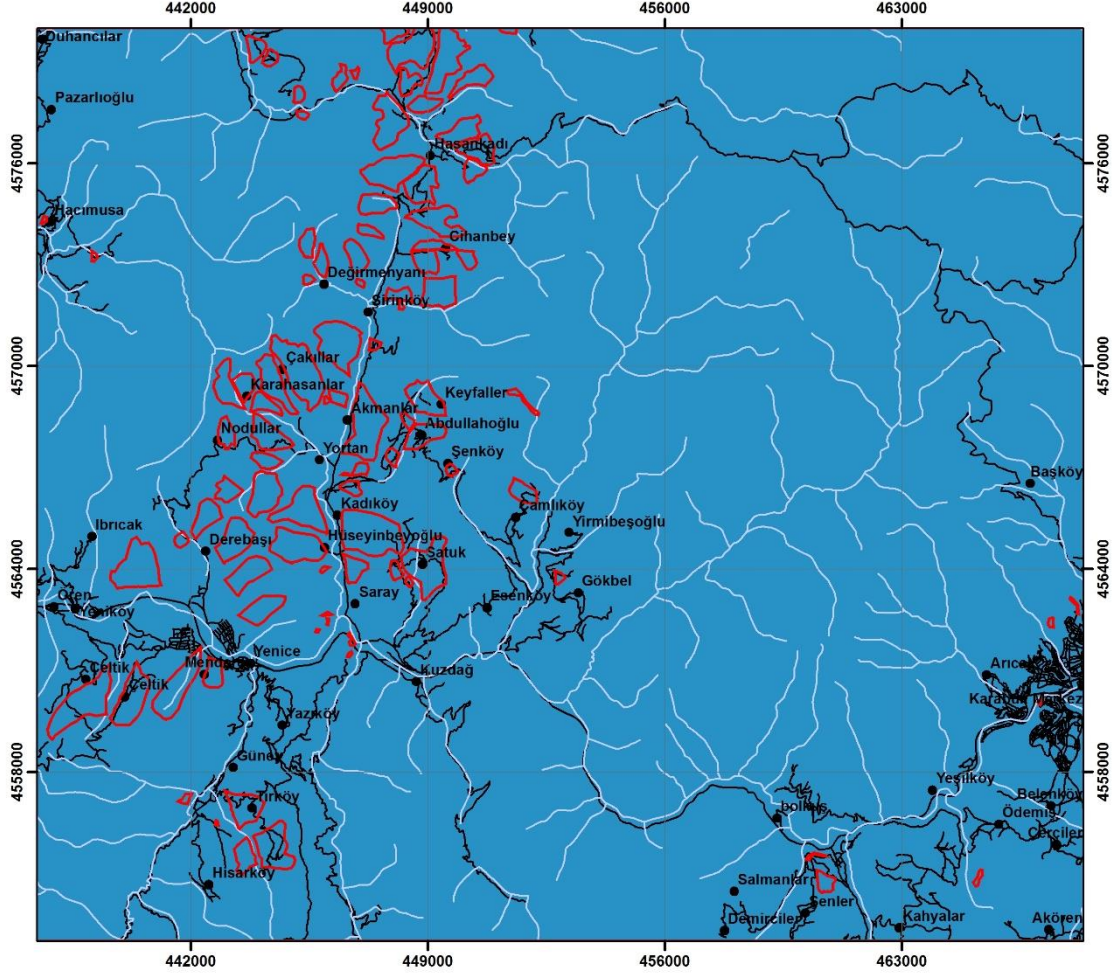
**A>0.01 km<sup>2</sup>**  
**t=1 Yıl içinde**



Kilometre

0 1.25 2.5 5 7.5 10

**EK2- Çalışma alanına ait 5 yıl içinde, 0.01 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



**Açıklamalar**

-  Heyelanlar
-  Yerleşimler
-  Akarsular
-  Yollar

**Heyelan Tehlikesi**

-  Çok Yüksek (0.8 - 1.0)
-  Yüksek (0.6 - 0.8)
-  Orta (0.4 - 0.6)
-  Düşük (0.2 - 0.4)
-  Çok Düşük (0.0 - 0.2)

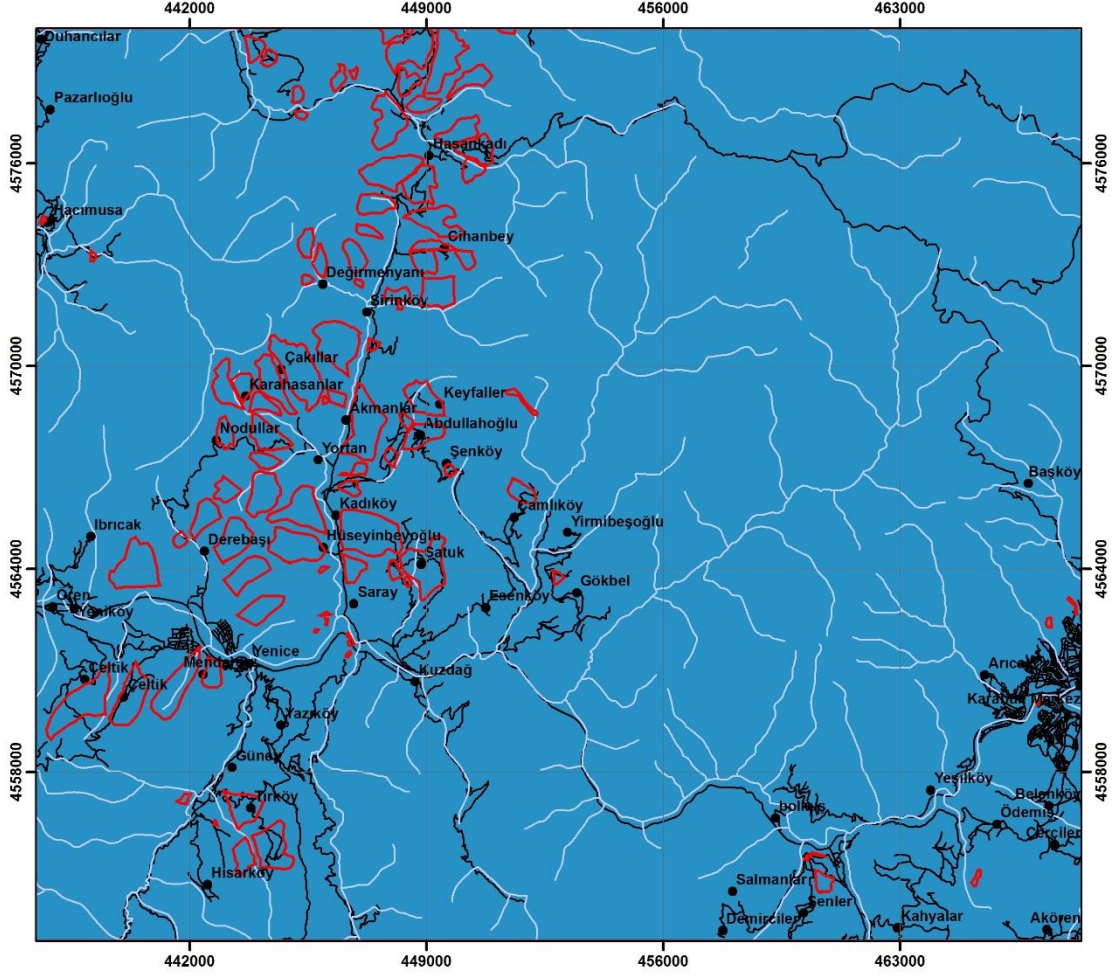
**A>0.01 km<sup>2</sup>  
t=5 Yıl içinde**



Kilometre



**EK3- Çalışma alanına ait 10 yıl içinde, 0.01 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



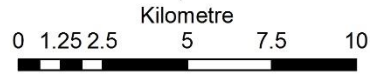
**Açıklamalar**

- Heyelanlar
- Yerleşimler
- Akarsular
- Yollar

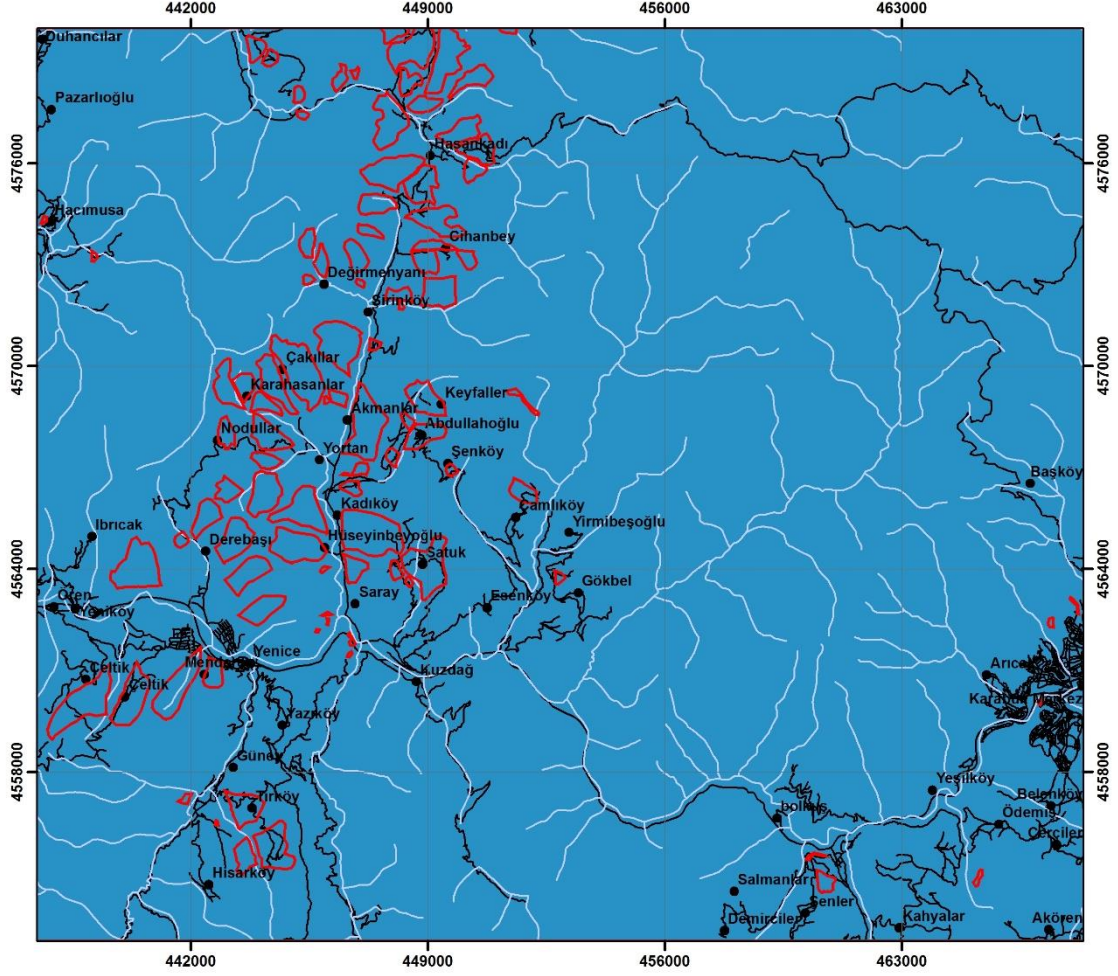
**Heyelan Tehlikesi**

- Çok Yüksek (0.8 - 1.0)
- Yüksek (0.6 - 0.8)
- Orta (0.4 - 0.6)
- Düşük (0.2 - 0.4)
- Çok Düşük (0.0 - 0.2)

**A > 0.01 km<sup>2</sup>  
t = 10 Yıl içinde**



**EK4- Çalışma alanına ait 25 yıl içinde, 0.01 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



**Açıklamalar**

-  Heyelanlar
-  Yerleşimler
-  Akarsular
-  Yollar

**Heyelan Tehlikesi**

-  Çok Yüksek (0.8 - 1.0)
-  Yüksek (0.6 - 0.8)
-  Orta (0.4 - 0.6)
-  Düşük (0.2 - 0.4)
-  Çok Düşük (0.0 - 0.2)

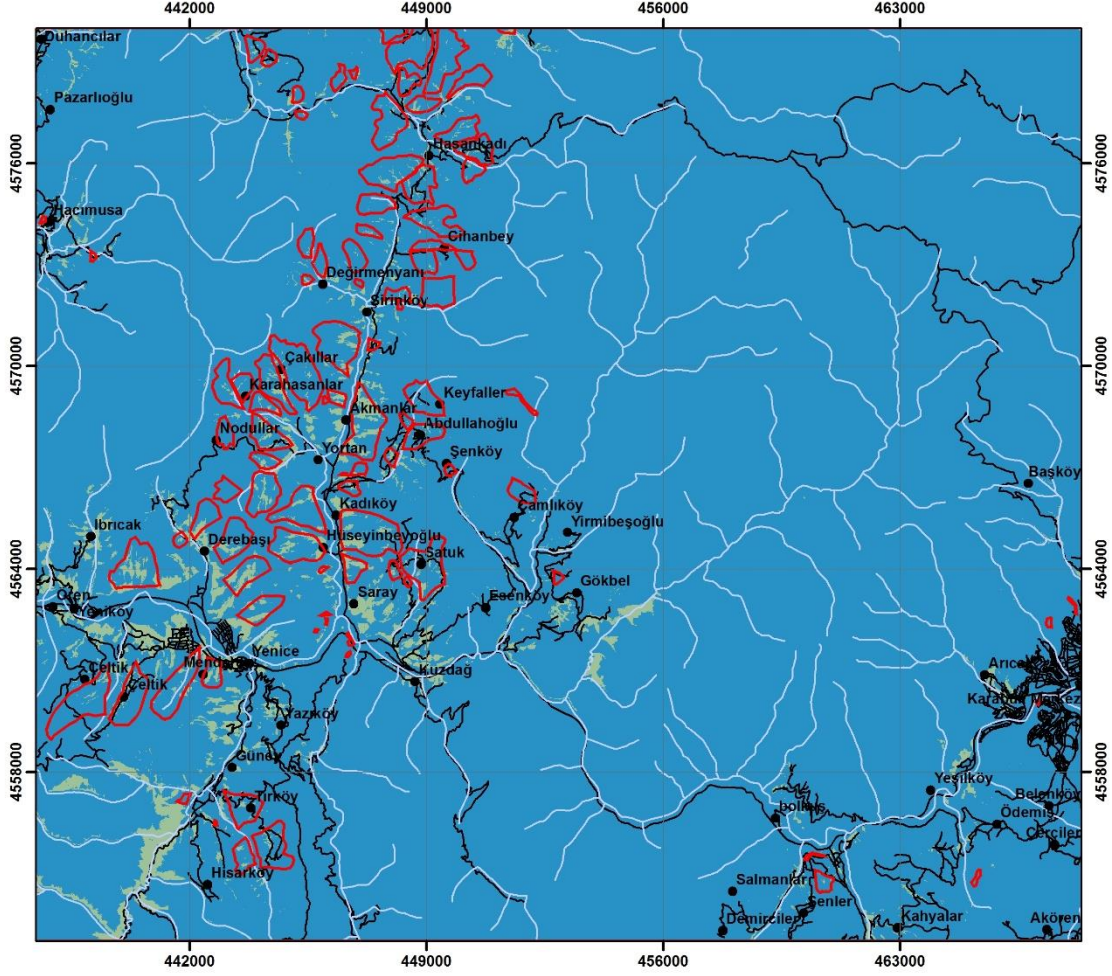
**A>0.01 km<sup>2</sup>  
t=25 Yıl içinde**



Kilometre



**EK5- Çalışma alanına ait 50 yıl içinde, 0.01 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



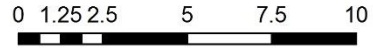
**Açıklamalar**

- |   |  |
|---|--|
|  Heyelanlar  | <b>Heyelan Tehlikesi</b>   |
|  Yerleşimler |  Çok Yüksek (0.8 - 1.0) |
|  Akarsular   |  Yüksek (0.6 - 0.8)     |
|  Yollar      |  Orta (0.4 - 0.6)       |
|   |  Düşük (0.2 - 0.4)      |
|   |  Çok Düşük (0.0 - 0.2)  |

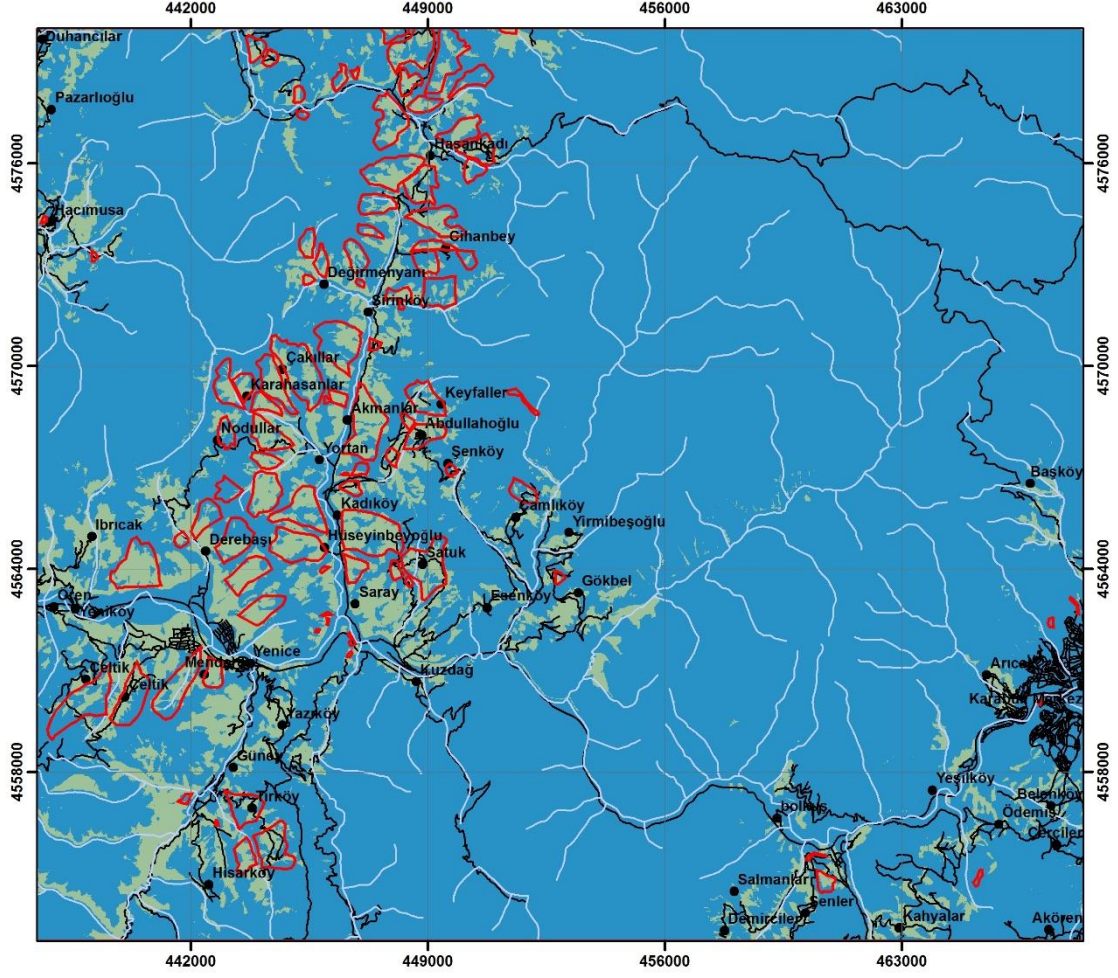
**A>0.01 km<sup>2</sup>  
t=50 Yıl içinde**



Kilometre



**EK6- Çalışma alanına ait 100 yıl içinde, 0.01 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



**Açıklamalar**

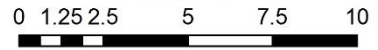
- Heyelanlar
- Yerleşimler
- Akarsular
- Yollar

- Heyelan Tehlikesi**
- Çok Yüksek (0.8 - 1.0)
  - Yüksek (0.6 - 0.8)
  - Orta (0.4 - 0.6)
  - Düşük (0.2 - 0.4)
  - Çok Düşük (0.0 - 0.2)

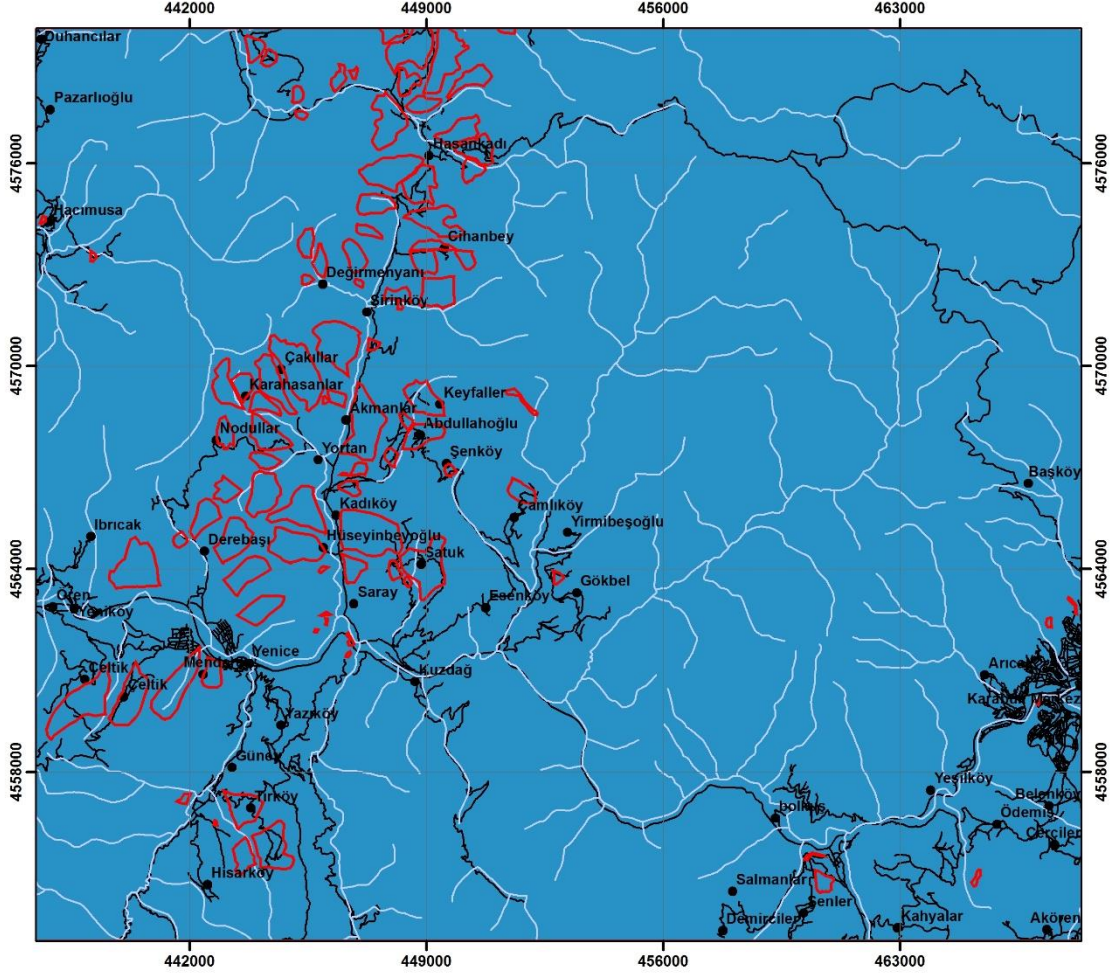
**A>0.01 km<sup>2</sup>  
t=100 Yıl içinde**



Kilometre



**EK7- Çalışma alanına ait 1 yıl içinde, 0.001 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



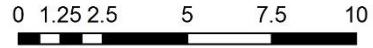
**Açıklamalar**

- |   |  |
|---|--|
|  Heyelanlar  | <b>Heyelan Tehlikesi</b>   |
|  Yerleşimler |  Çok Yüksek (0.8 - 1.0) |
|  Akarsular   |  Yüksek (0.6 - 0.8)     |
|  Yollar      |  Orta (0.4 - 0.6)       |
|   |  Düşük (0.2 - 0.4)      |
|   |  Çok Düşük (0.0 - 0.2)  |

**A>0.001 km<sup>2</sup>  
t=1 Yıl içinde**

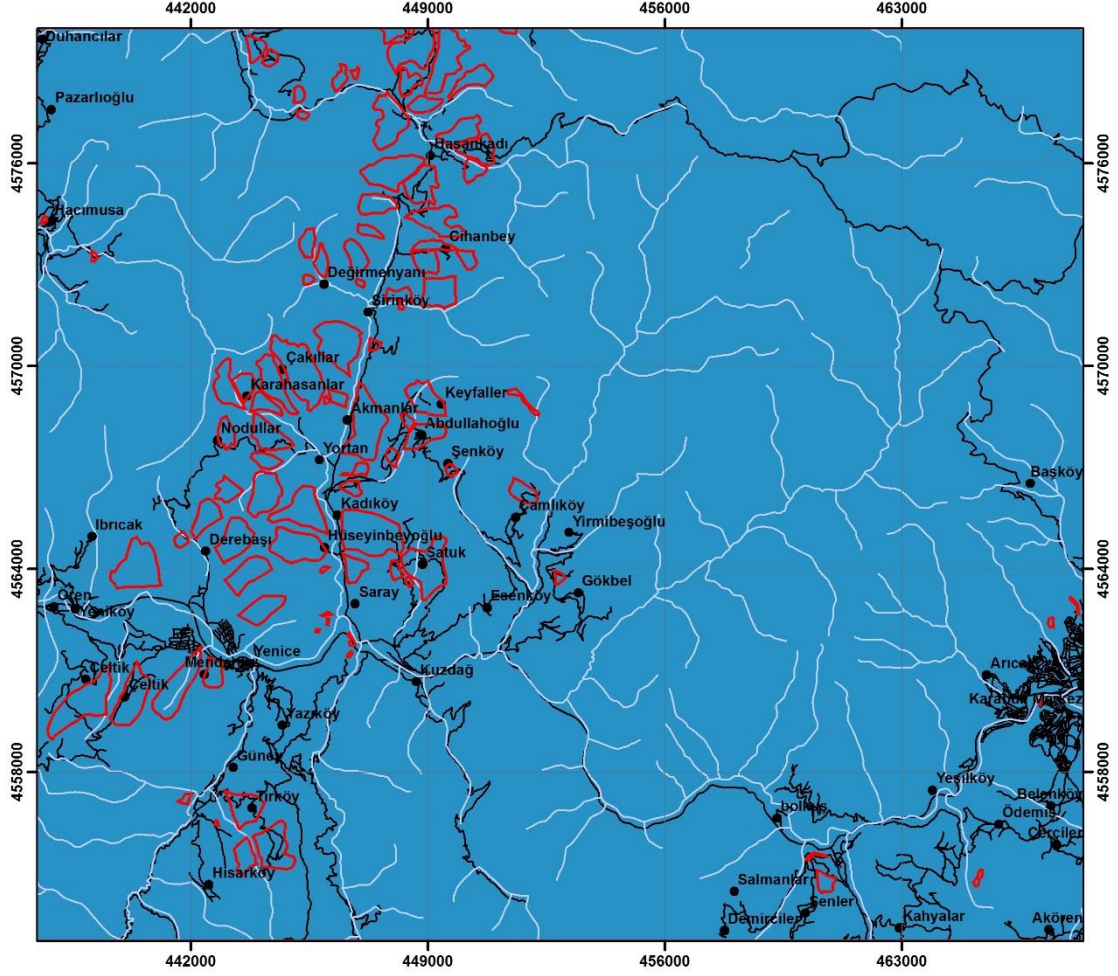


Kilometre





**EK8- Çalışma alanına ait 5 yıl içinde, 0.001 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



**Açıklamalar**

-  Heyelanlar
-  Yerleşimler
-  Akarsular
-  Yollar

- Heyelan Tehlikesi**
-  Çok Yüksek (0.8 - 1.0)
  -  Yüksek (0.6 - 0.8)
  -  Orta (0.4 - 0.6)
  -  Düşük (0.2 - 0.4)
  -  Çok Düşük (0.0 - 0.2)

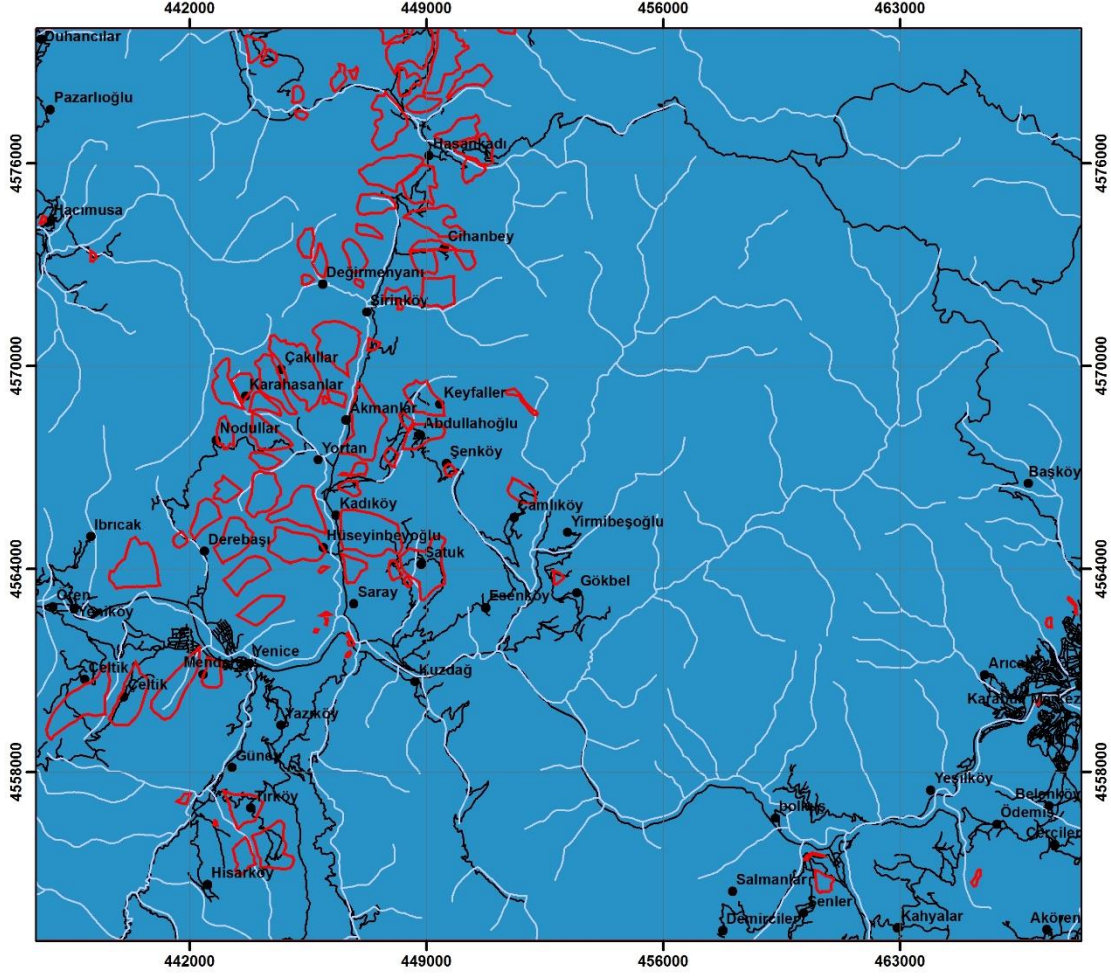
**A>0.001 km<sup>2</sup>  
t=5 Yıl içinde**



Kilometre



**EK9- Çalışma alanına ait 10 yıl içinde, 0.001 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



**Açıklamalar**

-  Heyelanlar
-  Yerleşimler
-  Akarsular
-  Yollar

**Heyelan Tehlikesi**

-  Çok Yüksek (0.8 - 1.0)
-  Yüksek (0.6 - 0.8)
-  Orta (0.4 - 0.6)
-  Düşük (0.2 - 0.4)
-  Çok Düşük (0.0 - 0.2)

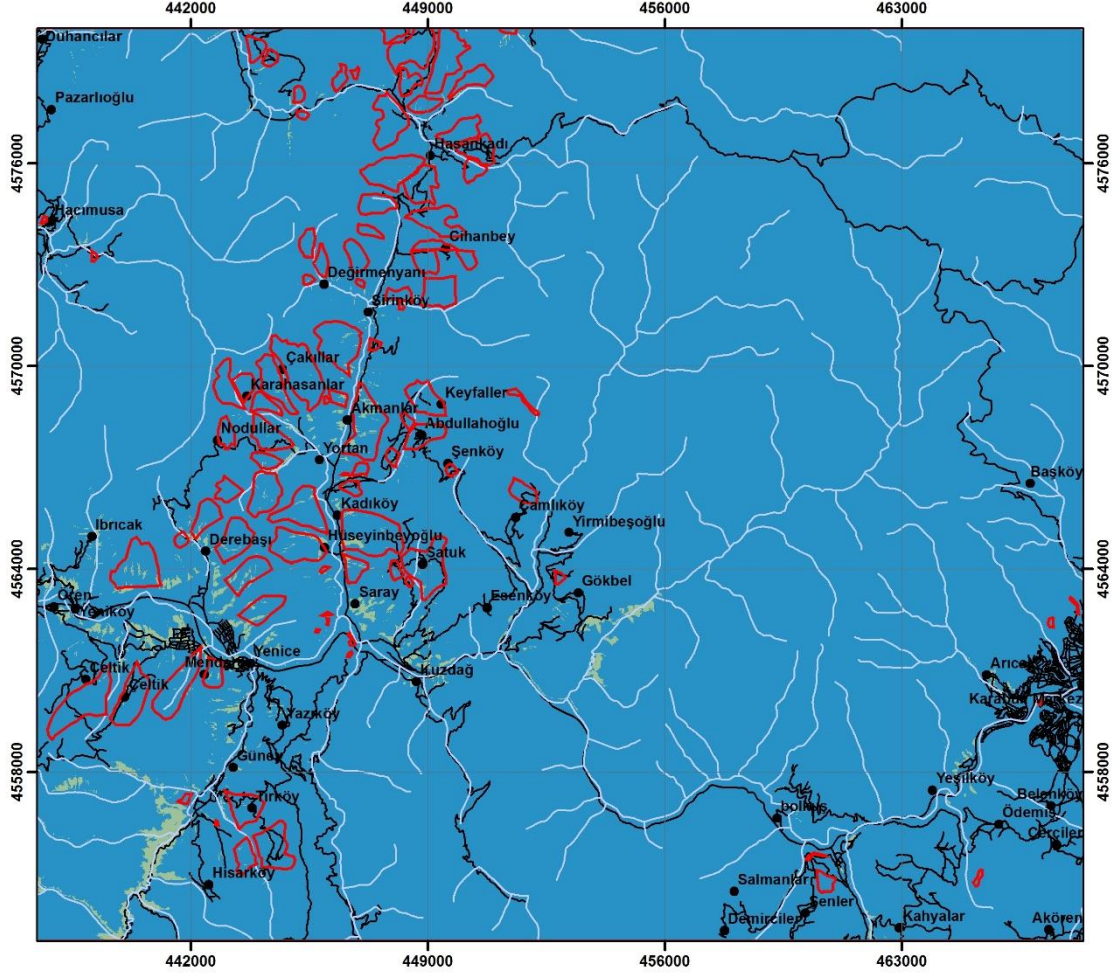
**A>0.001 km<sup>2</sup>  
t=10 Yıl içinde**



Kilometre



**EK10- Çalışma alanına ait 25 yıl içinde, 0.001 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



**Açıklamalar**

-  Heyelanlar
-  Yerleşimler
-  Akarsular
-  Yollar

**Heyelan Tehlikesi**

-  Çok Yüksek (0.8 - 1.0)
-  Yüksek (0.6 - 0.8)
-  Orta (0.4 - 0.6)
-  Düşük (0.2 - 0.4)
-  Çok Düşük (0.0 - 0.2)

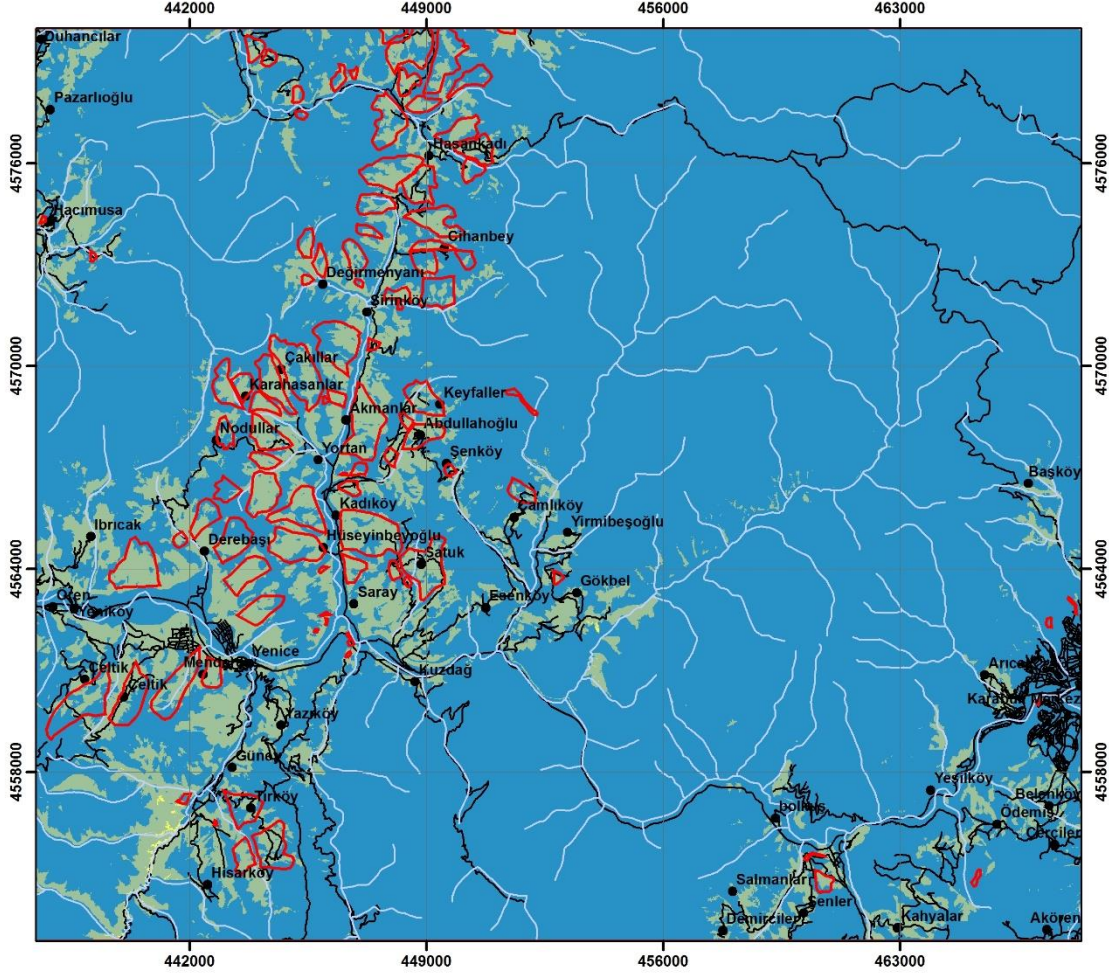
**A>0.001 km<sup>2</sup>  
t=25 Yıl içinde**



Kilometre



**EK11- Çalışma alanına ait 50 yıl içinde, 0.001 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



**Açıklamalar**

-  Heyelanlar
-  Yerleşimler
-  Akarsular
-  Yollar

**Heyelan Tehlikesi**

-  Çok Yüksek (0.8 - 1.0)
-  Yüksek (0.6 - 0.8)
-  Orta (0.4 - 0.6)
-  Düşük (0.2 - 0.4)
-  Çok Düşük (0.0 - 0.2)

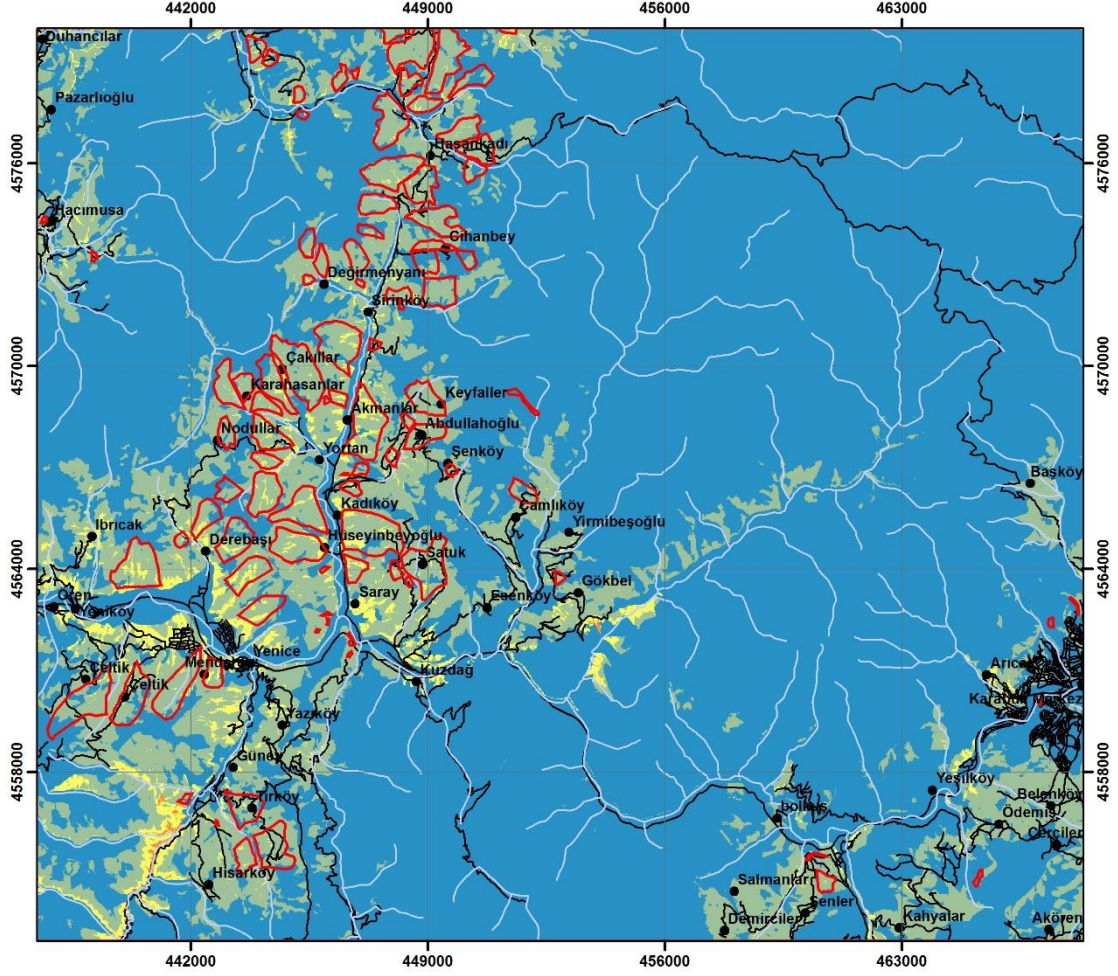
**A>0.001 km<sup>2</sup>  
t=50 Yıl içinde**



Kilometre



**EK12- Çalışma alanına ait 100 yıl içinde, 0.001 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



**Açıklamalar**

-  Heyelanlar
-  Yerleşimler
-  Akarsular
-  Yollar

- Heyelan Tehlikesi**
-  Çok Yüksek (0.8 - 1.0)
  -  Yüksek (0.6 - 0.8)
  -  Orta (0.4 - 0.6)
  -  Düşük (0.2 - 0.4)
  -  Çok Düşük (0.0 - 0.2)

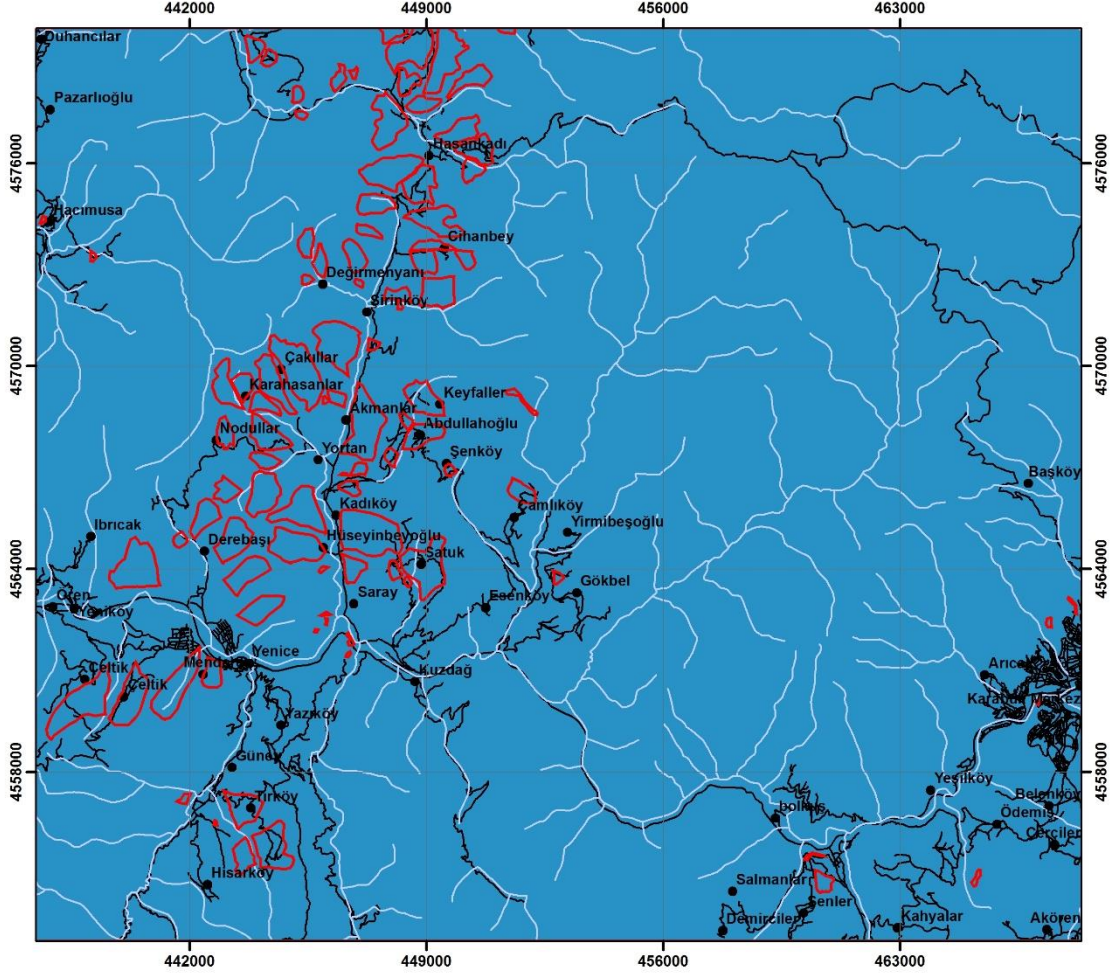
**A>0.001 km<sup>2</sup>  
t=100 Yıl içinde**



Kilometre



**EK13- Çalışma alanına ait 1 yıl içinde, 0.0003 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



**Açıklamalar**

-  Heyelanlar
-  Yerleşimler
-  Akarsular
-  Yollar

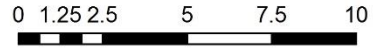
**Heyelan Tehlikesi**

-  Çok Yüksek (0.8 - 1.0)
-  Yüksek (0.6 - 0.8)
-  Orta (0.4 - 0.6)
-  Düşük (0.2 - 0.4)
-  Çok Düşük (0.0 - 0.2)

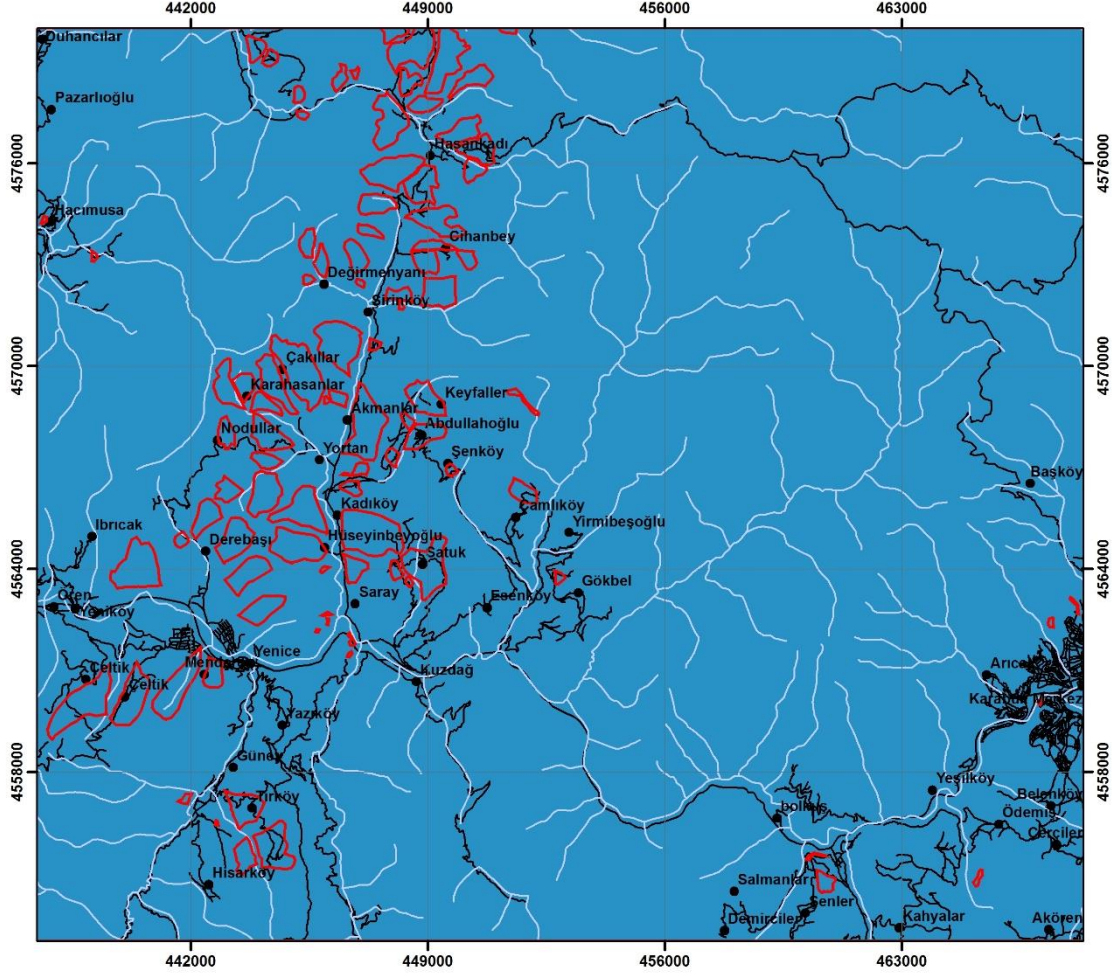
**A>0.0003 km<sup>2</sup>  
t=1 Yıl içinde**



Kilometre



**EK14- Çalışma alanına ait 5 yıl içinde, 0.0003 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



**Açıklamalar**

-  Heyelanlar
-  Yerleşimler
-  Akarsular
-  Yollar

**Heyelan Tehlikesi**

-  Çok Yüksek (0.8 - 1.0)
-  Yüksek (0.6 - 0.8)
-  Orta (0.4 - 0.6)
-  Düşük (0.2 - 0.4)
-  Çok Düşük (0.0 - 0.2)

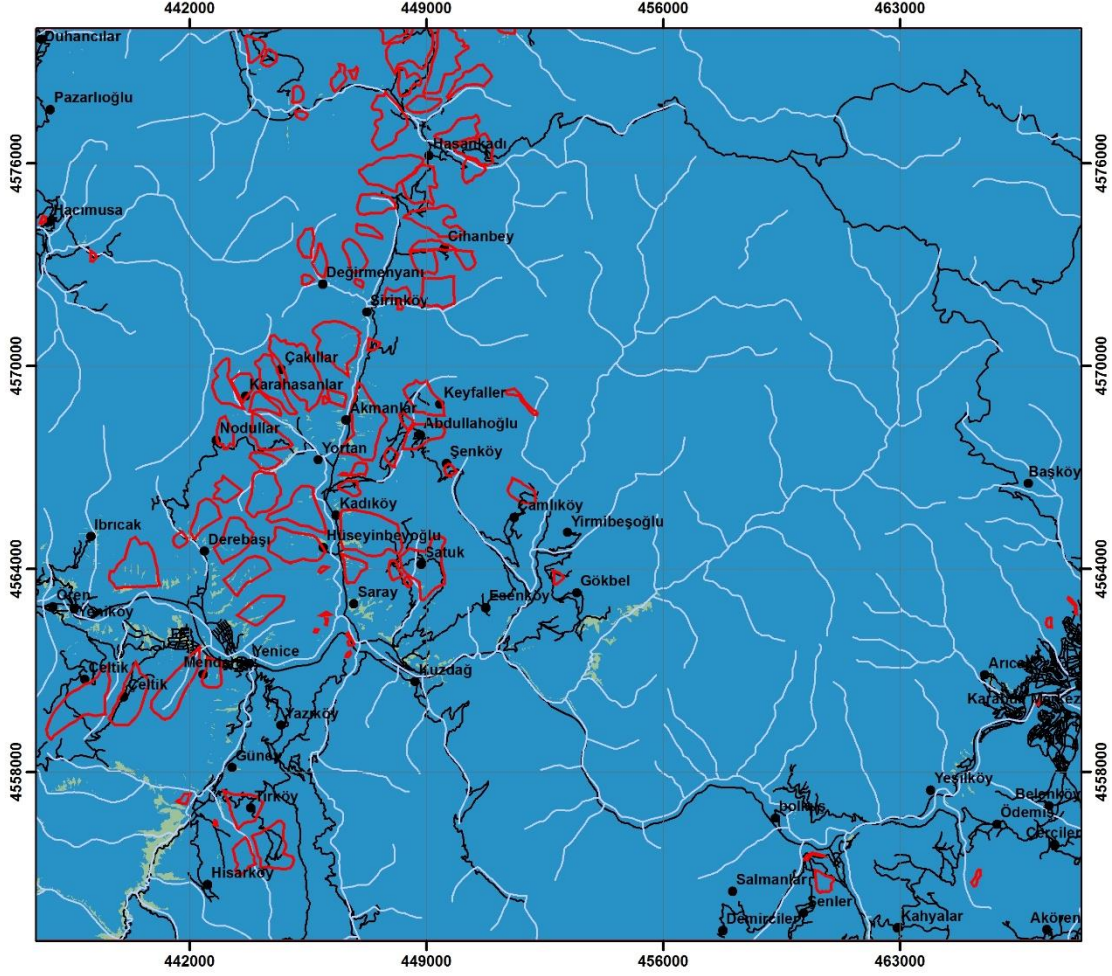
**A > 0.0003 km<sup>2</sup>  
t = 5 Yıl içinde**



Kilometre



**EK15- Çalışma alanına ait 10 yıl içinde, 0.0003 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



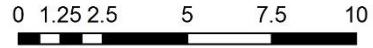
**Açıklamalar**

- |   |  |
|---|--|
|  Heyelanlar  | <b>Heyelan Tehlikesi</b>   |
|  Yerleşimler |  Çok Yüksek (0.8 - 1.0) |
|  Akarsular   |  Yüksek (0.6 - 0.8)     |
|  Yollar      |  Orta (0.4 - 0.6)       |
|   |  Düşük (0.2 - 0.4)      |
|   |  Çok Düşük (0.0 - 0.2)  |

**A>0.0003 km<sup>2</sup>  
t=10 Yıl içinde**

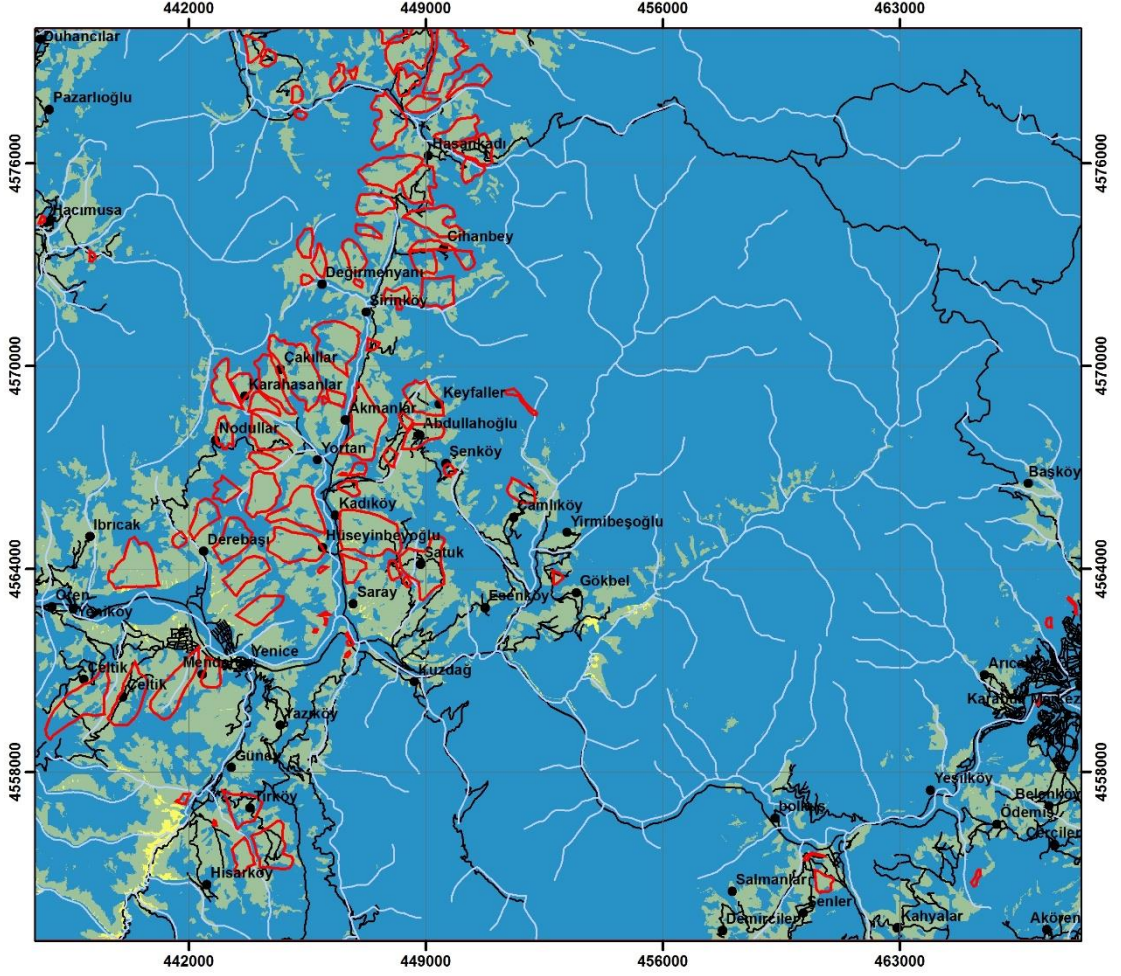


Kilometre





**EK16- Çalışma alanına ait 25 yıl içinde, 0.0003 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



**Açıklamalar**

-  Heyelanlar
-  Yerleşimler
-  Akarsular
-  Yollar

**Heyelan Tehlikesi**

-  Çok Yüksek (0.8 - 1.0)
-  Yüksek (0.6 - 0.8)
-  Orta (0.4 - 0.6)
-  Düşük (0.2 - 0.4)
-  Çok Düşük (0.0 - 0.2)

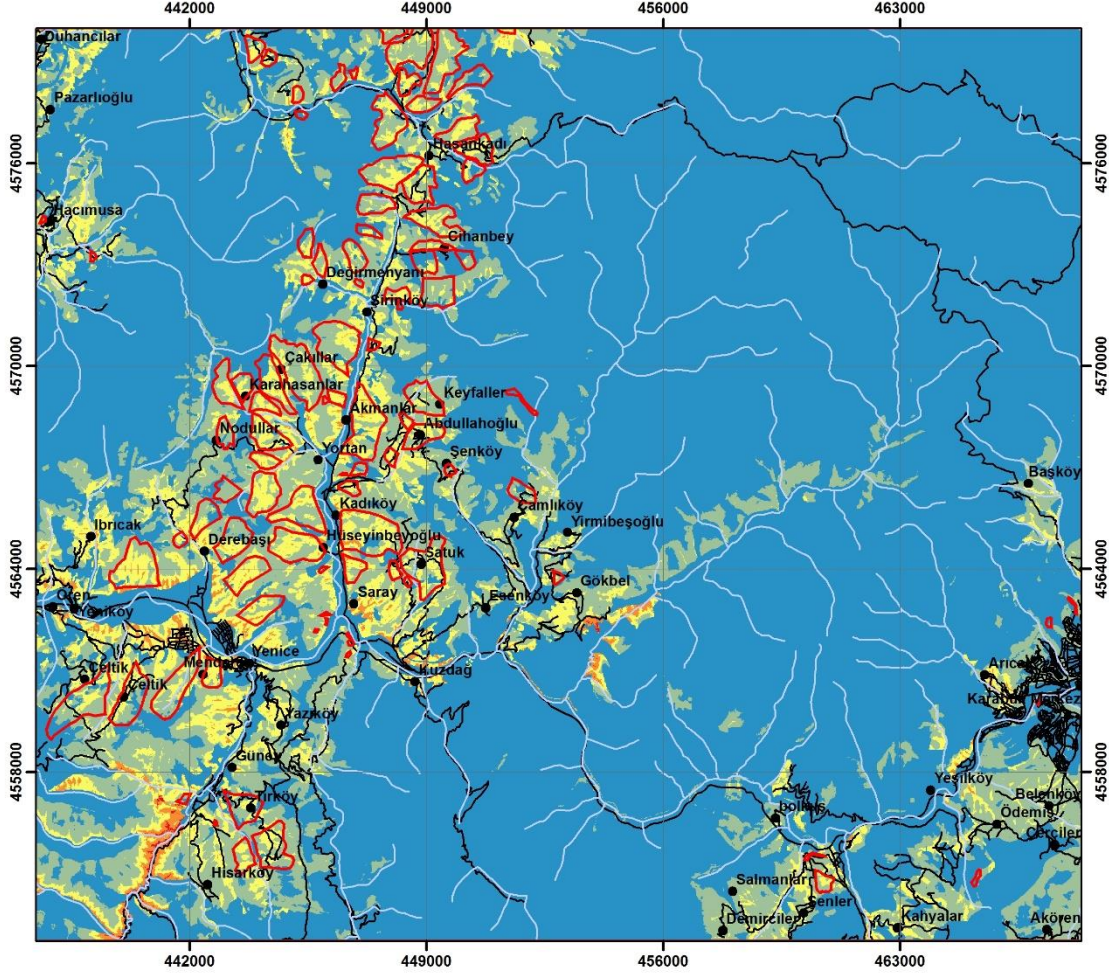
**A>0.0003 km<sup>2</sup>  
t=25 Yıl içinde**



Kilometre

0 1.25 2.5 5 7.5 10

**EK17- Çalışma alanına ait 50 yıl içinde, 0.0003 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



**Açıklamalar**

- Heyelanlar
- Yerleşimler
- Akarsular
- Yollar

**Heyelan Tehlikesi**

- Çok Yüksek (0.8 - 1.0)
- Yüksek (0.6 - 0.8)
- Orta (0.4 - 0.6)
- Düşük (0.2 - 0.4)
- Çok Düşük (0.0 - 0.2)

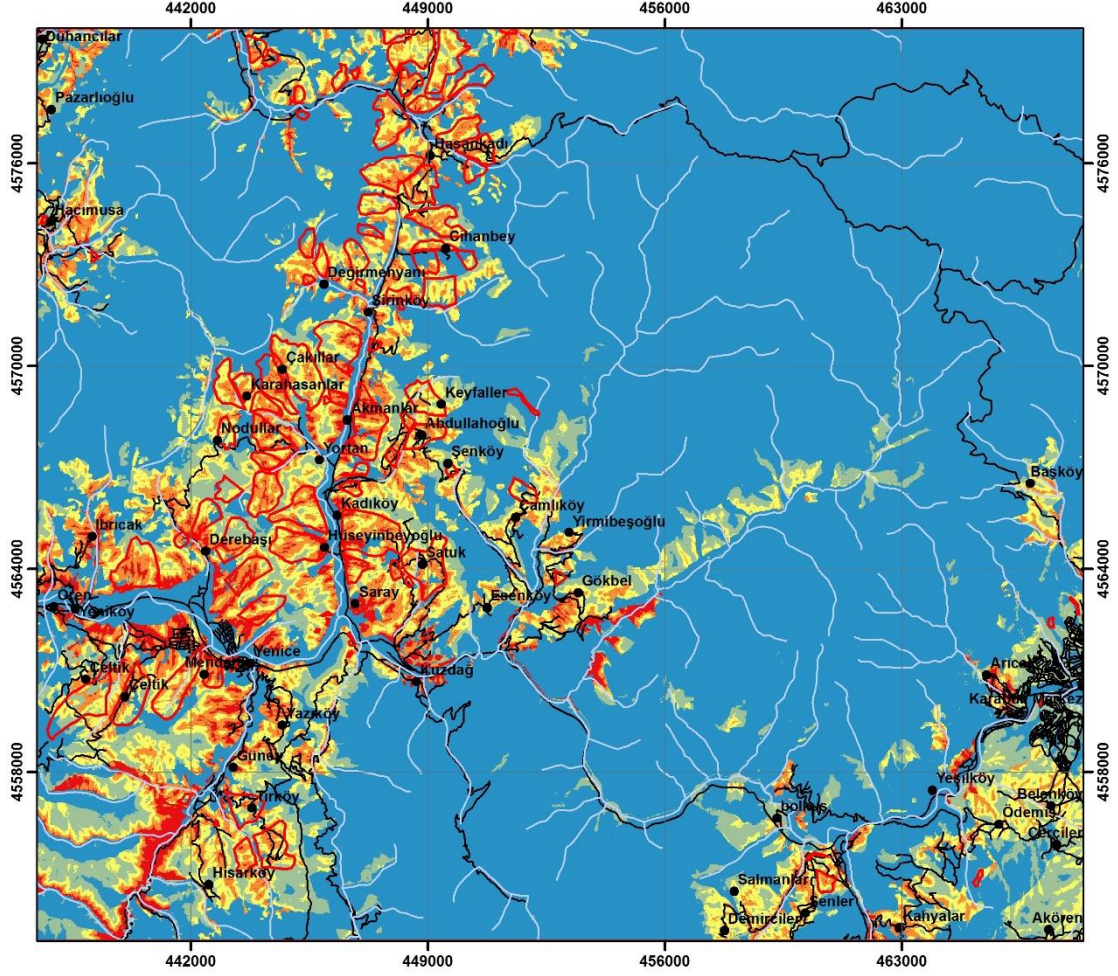
**A > 0.0003 km<sup>2</sup>  
t = 50 Yıl içinde**



Kilometre



**EK18- Çalışma alanına ait 100 yıl içinde, 0.0003 km<sup>2</sup>'den büyük heyelan olma olasılığı için üretilen tehlike haritası**



**Açıklamalar**

-  Heyelanlar
-  Yerleşimler
-  Akarsular
-  Yollar

**Heyelan Tehlikesi**

-  Çok Yüksek (0.8 - 1.0)
-  Yüksek (0.6 - 0.8)
-  Orta (0.4 - 0.6)
-  Düşük (0.2 - 0.4)
-  Çok Düşük (0.0 - 0.2)



**A>0.0003 km<sup>2</sup>  
t=100 Yıl içinde**





Kilometre





### Application of Chebyshev theorem to data preparation in landslide susceptibility mapping studies: an example from Yenice (Karabük, Turkey) region


**Murat ERCANOGLU**<sup>1\*</sup>  <http://orcid.org/0000-0002-3496-214X>;  e-mail: murate@hacettepe.edu.tr


**Gülseren DAĞDELENLER**<sup>1</sup>  <http://orcid.org/0000-0002-9409-8285>; e-mail: gulsrn@hacettepe.edu.tr


**Erman ÖZSAYIN**<sup>1</sup>  <http://orcid.org/0000-0003-3948-5482>; e-mail: eozsayin@hacettepe.edu.tr


**Tolga ALKEVLİ**<sup>1</sup>  <http://orcid.org/0000-0002-7713-7967>; e-mail: musclealkevli@gmail.com

**Harun SÖNMEZ**<sup>1</sup>  <http://orcid.org/0000-0002-1561-6233>; e-mail: haruns@hacettepe.edu.tr

**N. Nur ÖZYURT**<sup>1</sup>  <http://orcid.org/0000-0001-5409-1030>; e-mail: nozyurt@hacettepe.edu.tr

**Burcu KAHRAMAN**<sup>1</sup>  <http://orcid.org/0000-0003-4172-5086>; e-mail: bkahraman@hacettepe.edu.tr

**İbrahim UÇAR**<sup>2</sup>  <http://orcid.org/0000-0002-0597-4707>; e-mail: iucar@gazi.edu.tr

**Sinem ÇETİNKAYA**<sup>1</sup>  <http://orcid.org/0000-0001-5730-7052>; e-mail: sinemgeo@gmail.com

\* Corresponding author

<sup>1</sup> Hacettepe University, Geological Engineering Department, 06800, Beytepe, Ankara, Turkey

<sup>2</sup> Gazi University, Civil Engineering Department, 06500, Teknikokullar, Ankara, Turkey

**Citation:** Ercanoğlu M, Dagdelenler G, Ozsayin E, et al. (2016) Application of Chebyshev theorem to data preparation in landslide susceptibility mapping studies: an example from Yenice (Karabük, Turkey) region. Journal of Mountain Science 13(11). DOI: 10.1007/s11629-016-3880-z

© Science Press and Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS and Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

**Abstract:** Landslide database construction is one of the most crucial stages of the landslide susceptibility mapping studies. Although there are many techniques for preparing landslide database in the literature, representative data selection from huge data sets is a challenging, and, to some extent, a subjective task. Thus, in order to produce reliable landslide susceptibility maps, data-driven, objective and representative database construction is a very important stage for these maps. This study mainly focuses on a landslide database construction task. In this study, it was aimed at building a representative landslide database extraction approach by using Chebyshev theorem to evaluate landslide susceptibility in a landslide prone area in the Western

Black Sea region of Turkey. The study area was divided into two different parts such as training (Basin 1) and testing areas (Basin 2). A total of nine parameters such as topographical elevation, slope, aspect, planar and profile curvatures, stream power index, distance to drainage, normalized difference vegetation index and topographical wetness index were used in the study. Next, frequency distributions of the considered parameters in both landslide and nonlandslide areas were extracted using different sampling strategies, and a total of nine different landslide databases were obtained. Of these, eight databases were gathered by the methodology proposed by this study based on different standard deviations and algebraic multiplication of raster parameter maps. To evaluate landslide susceptibility, Artificial Neural Network method was used in the

**Received:** 3 February 2016

**Accepted:** 3 August 2016

study area considering the different landslide and nonlandslide data. Finally, to assess the performances of the so-produced landslide susceptibility maps based on nine data sets, Area Under Curve (AUC) approach was implemented both in Basin 1 and Basin 2. The best performances (the greatest AUC values) were gathered by the landslide susceptibility map produced by two standard deviation database extracted by the Chebyshev theorem, as 0.873 and 0.761, respectively. Results revealed that the methodology proposed by this study is a powerful and objective approach in landslide susceptibility mapping.

**Keywords:** Artificial neural network; Chebyshev theorem; Landslide; Landslide database; Landslides susceptibility mapping

### Introduction

Natural hazards and their consequences are of great importance among inhabitants, governments, local administrations, decision makers, and so on. Landslides, one of the most destructive natural hazards, have affected many people, infrastructures, properties and have caused great loss of lives in addition to the environmental consequences throughout the world. Many studies related to landslides have been performed in the last decades since these destructive consequences have been well-understood among the communities mentioned above.

Despite considerable improvements in our understanding of instability mechanisms and the availability of a wide range of mitigation techniques, landslides still cause a significant death toll and important economic losses all over the world (Corominas et al. 2014). After the declaration of the years between 1990 and 2000 as "International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR)" by United Nations General Assembly, studies related to natural hazards were progressively accelerated throughout the world.

With respect to landslides, WP/WLI (1990; 1993), Cruden and Varnes (1996), Guzzetti et al. (1999), Fell et al. (2008a; 2008b) and Corominas et al. (2014) published papers, which can be used as excellent guides to this subject, related to landslide inventory, susceptibility, hazard and risk studies. Of these, landslide susceptibility assessment can be

considered as the initial step towards a landslide hazard and risk assessment, but it can also be an end product in itself that can be used in land-use planning and environmental impact assessment (Corominas et al. 2014). For the landslide susceptibility analyses, there are qualitative and quantitative methods in the literature. Generally speaking, quantitative methods such as multivariate statistical analyses (Clerici et al. 2006; Gorum et al. 2008; Nefeslioglu et al. 2008) artificial neural networks (ANN) (Ercanoglu 2005; Ermini et al. 2005; Gómez and Kavzoglu 2005; Kawabata and Bandidas 2009; Bi et al. 2014; Conforti et al. 2014), fuzzy logic approach (Dewitte et al. 2010; Wang et al. 2013), decision tree analyses (Saito et al. 2009; Yeon et al. 2010; Park and Lee 2014), logistic regression (Chau and Chan 2005; Duman et al. 2006; Nandi and Shakoor 2009; Bai et al. 2010; Kundu et al. 2013), support vector machines (SVM) (San 2014) have been commonly preferred in the recent landslide susceptibility literature. There are also frequency ratio, weight of evidence, analytical hierarchy process and neuro-fuzzy approaches performed in landslide susceptibility assessments for comparison of the previously mentioned methods' results and maps (Yesilnacar and Topal 2005; Ercanoglu et al. 2008; Frattini et al. 2010; Yilmaz 2010; Marjanovic et al. 2011; Akgun 2012; Mohammady et al. 2012; Ozdemir and Altural 2013; Pradhan 2013; Althuwaynee et al. 2014; Peng et al. 2014; Shababi et al. 2014; Hussin et al. 2016). Of course, all these methods have pros and cons when compared to each other, and it can be concluded that almost every method may yield a result (i.e. landslide susceptibility map) regardless of its complexity (such as ANN, SVM) or simplicity (such as frequency ratio). Thus, the quality and reliability of the data related to landslides may be considered as more substantial issue in landslide susceptibility mapping. The details about this issue can be found in the literature (e.g.: Fell et al. 2008a; 2008b; van Westen et al. 2008; Guzzetti et al. 2012; Hasekiogullari and Ercanoglu 2012).

The choice of susceptibility mapping method depends on variety of factors which can be listed as: mapping unit, scale of investigation, type of method used, type of landslide, type of data required, triggers, and purpose of mapping. Production of a landslide susceptibility map starts

with the selection of a suitable mapping units such as grid cells (pixels), terrain units, unique-condition units, slope units and topographical units (Erener and Düzgün 2012). In other words, all statistical landslide susceptibility zonations require the selection of mapping units, which are the subdivisions that make up the susceptibility map (Hussin et al. 2016). In the literature, grid based landslide susceptibility mapping is more preferred among the scientists, and four general strategies (i.e. landslide database extraction) are used to sample landslide pixels as: (i) a single pixel; (ii) all the pixels within the entire landslide body or the scarp area; (iii) the main scarp upper edge approach and (iv) the seed cell approach (Hussin et al. 2016). To date, in the landslide literature, different sampling procedures have been applied (e.g.: Suzen and Doyuran 2004; Ercanoglu and Gokceoglu 2004; Clerici et al. 2006; Guzzetti et al. 2006; Gorum et al. 2008; Nefeslioglu et al. 2008; Bai et al. 2010; Yilmaz 2010; Oh and Pradhan 2011; Ozdemir and Altural 2013; San 2014; Dagdelenler et al. 2015; Hussin et al. 2016) to extract landslide database. Few researchers (Dai and Lee 2003; Fernandez et al. 2003; Remondo et al. 2003; Santacana et al. 2003; Suzen and Doyuran 2004; Clerici et al. 2006; Gorum et al. 2008; Yilmaz 2010; Nefeslioglu et al. 2008; Sujatha et al. 2012, Erener and Düzgün 2012; Dagdelenler et al. 2015; Hussin et al. 2016) suggested and compared different sampling strategies in their studies. For example, Dai and Lee (2003) considered the source area in the landslide body where the landslide started, and the run-out zone where both the displacement and the deposition area of the landslides occurred. They only took into account the source areas when assessing the susceptibility of the study area. Remondo et al. (2003), Fernandez et al. (2003) and Santacana et al. (2003) considered only rupture zones of landslide bodies during the landslide susceptibility assessments. Suzen and Doyuran (2004) proposed the seed cell sampling in order to evaluate pre-conditions of the mass movements. The authors suggested the seed cell sampling procedure by creating buffer zones to the crown and the flanks of the landslides. They defined the rules for the buffer lines' boundaries as: i) if the distance between the slide boundary and microcatchment divide line is smaller than 100 m, then use the microcatchment divide line; ii) if the

distance is larger than 100 m, use the 100 m buffer line. On the other hand, Clerici et al. (2006) suggested a shell script and have considered the selected factor cells which were defined on the upper edge of the main scarps of the mapped landslides. They emphasized that the reliability of final susceptibility map depends on in which the samplings concerning the presence of landslide data were taken from and the susceptibility assessments made by using cells close to the scarp of the landslide would better reflect the pre-failure conditions. Nefeslioglu et al. (2008) compared two different sampling strategies (samples were taken from whole landslide body and the seed cell approach) in their study. Nefeslioglu et al. (2008) emphasized that susceptibility maps based on the random sampling, in which data were taken from seed cells, were more realistic. Gorum et al. (2008) stated that the pre-failure original topography has an incontrovertible effect on the performance of landslide susceptibility maps, and they focused on the need of the reconstruction process for the purpose of researching topographical effects. They used the geomorphological parameters derived from the reconstructed topographical features. Yilmaz (2010) compared three sampling strategies such as samples from rupture zones as polygons, seed cell approach and points selected at the upper part of the scars of landslides. Based on this study, the author reported that the landslide susceptibility maps produced by using scarps and seed cell approach represented more realistic performances than that of the point based scar data. Sujatha et al. (2012) produced susceptibility models by applying two different sampling strategies such as point based and seed cell ones, and compared these two strategies for landslide susceptibility mapping of the study area. They emphasized that a smaller pixel size could improve the efficiency of the seed cell sampling approach. The susceptibility analyses indicated that the percentage of accuracies was quite good for both sampling strategies, but, the seed cell sampling was slightly superior to the point sampling. Wang et al. (2013) proposed the Fuzzy C-Means (FCM) algorithm as a new sampling procedure. The authors compared this technique with the seed cell approach to observe the performance of the landslide susceptibility maps produced by logistic regression method. They considered the FCM algorithm as an optimal

approach to be used in landslide susceptibility mapping.

All these sampling procedures have the advantages or disadvantages, and the database formed by any of the strategies is a crucial point in landslide susceptibility assessments. For instance, for shallow landslides, which are the point-like due to the scale of the work, the researchers have no option to use a large polygon-type sampling. In contrast, for large slow moving landslides, it is not logical to express landslide bodies with a single point or a pixel. Thus, more attention should be paid for this stage since the creation or extraction of landslide database is one of the most important stages of any landslide mapping study (Guzzetti et al. 1999).

Given the issues emphasized above, this study was aimed to extract the landslide database by Chebyshev theorem and to assess the landslide susceptibility in a selected area in the Western Black sea region of Turkey by using ANN method using different databases. The innovative aspect of this study was the application of a database extraction approach including a sampling procedure taking into consideration the Chebyshev theorem, developed by the Russian mathematician Chebyshev (1821-1894), was conducted to obtain the landslide and nonlandslide candidates for the database construction. ANN was successfully applied and yielded reliable results in many landslide susceptibility studies throughout the landslide literature. Thus, this assessment method was chosen to evaluate landslide susceptibility because of its ability to solve complex phenomena such as landslides. For the sampling procedures of spatial landslide susceptibility assessments, it is thought that the Chebyshev theorem makes easy use of objective sampling procedure in these analyses.

### 1 Study Area

The study area is located at the Western Black Sea region of Turkey (Figure 1) in the UTM 36N zone (Min X: 435<sup>200</sup>; Max X: 455<sup>000</sup>; Min Y: 4557<sup>000</sup>; Max Y: 4581<sup>750</sup>). It covers approximately 298,5 km<sup>2</sup>, and the main settlement is Yenice district of Karabük city. Yenice is the number one settlement area in the landslide database of AFAD (Disaster

and Emergency Management Presidency of Turkey). There are also some scattered villages, and rural life is dominant in the region. The annual average temperature in the region is 13,6°C and the annual average precipitation is 693,3 mm, respectively (Hasekiogullari and Ercanoglu 2012). The topographical elevation ranges between 99 m and 1417 m with semi-mountainous characteristics. The study area has a dendritic drainage system and Filyos River is the main stream flowing through approximately in east-west direction (see Figure 1). Slope values range between 0° and 81°, and steep slopes are generally formed by massive rocks. There is also a special type forest on the steep slopes in the region, known as Yenice forests, sheltering some special flora and fauna. As for the geological features of the region, there are different lithologies forming a complex structure from Precambrian to Quaternary age deposits. Precambrian and Paleozoic units generally outcrop in SW and SE parts of the region as metagranitoids, marbles, granites, limestones, and sandstones, located mostly out of the area of concern in the study area. Cretaceous units start with conglomerate (Lower Cretaceous age) and limestone, and continue with Upper Cretaceous age sedimentary and volcanic units. Of these, Upper Cretaceous aged Ulus formation (Ku) (see Figure 1) covers approximately whole of the area of concern in the study area, and is known as one of the most landslide prone lithological units in the Black Sea region of Turkey. It represents a typical turbiditic flysch character, composed of sandstone, siltstone, mudstone, and marl alternations. Landslides in the study area occur within the weak weathering zone of the Ulus formation. Lower-Middle Eocene deposits are mainly composed of sedimentary sandstone, mudstone and volcanic andesites and basalts. In these units, there are some local discontinuity controlled instabilities, but they are out of interest in the study area. Quaternary age slope debris and alluvial deposits are overlaid by these units (see Figure 1).

As can be seen from Figure 1, the study area was subdivided in two regions (Basin 1 and Basin 2) considering the sub-basin boundaries throughout the study area. Main purpose of this division is for the training and testing stages of the applied methodology, which will be discussed in the methodology section. Basin 1 covers 218,31 km<sup>2</sup>

EK19- devam ediyor.

J. Mt. Sci. (2016) 13(11): 1923-1940

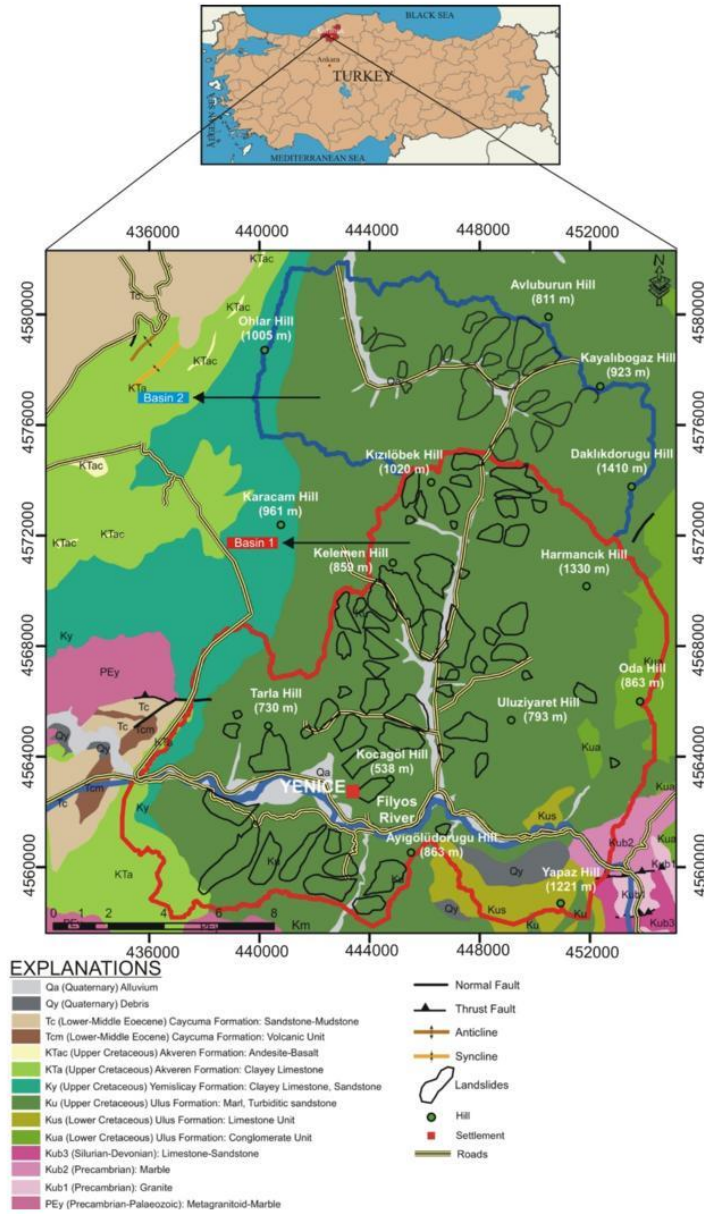


Figure 1 Landslide locations and general characteristics of the study area.

1927



and Basin 2 covers 80.25 km<sup>2</sup>. Thus, the area of concern in the area is totally 298.56 km<sup>2</sup>. The Digital Elevation Model (DEM) was produced from the digital topographical maps obtained from General Command of Mapping of Turkey with 1/25,000 scale by interpolation of topographical features. The resolution of the DEM was 20 m×20 m. Landslide locations were firstly interpreted by air photographs and orthophotos, and then checked in the field. In addition to this work, field mapping of landslides were also elaborately performed. Additionally, the landslide locations mapped in the previous studies performed in the region (e.g. Alkeveli and Ercanoglu 2011; Hasekiogullari and Ercanoglu 2012) were also updated. Therefore, all these works were compiled and combined. Finally, a total of 75 rotational landslides (56 landslides in Basin-1; 19 landslides in Basin-2) were mapped in the study area. The maximum and minimum areal coverage of landslides were 0.054 km<sup>2</sup> and 3.184 km<sup>2</sup> for Basin-1, while those of the sizes were 0.082 km<sup>2</sup> and 2.698 km<sup>2</sup> for Basin-2, respectively. Although it was not possible to determine the depths of all landslides, the depth values are expected to range roughly between 5 m and 25 m based on the field observations. A view from the landslide bodies in the study area is given in Figure 2.

## 2 Methodology

As mentioned before, utilization of landslide inventory and susceptibility maps play an important part to reduce the losses of lives and properties resulting from the landslides. According to the scientific landslide literature, there is no general agreement on which the sampling strategies to be used, when producing landslide susceptibility maps. In this study, it was tried to compare the procedure proposed in this study with the seed cell approach introduced by Suzen and Doyuran (2004). The methodology applied in this



Figure 2 A view from the landslide locations in the study area.

study includes five major stages as can be seen in Figure 3.

The first stage was to construct the landslide inventory map of the study area. Air photo and orthophoto interpretations were performed as remote sensing studies before the extensive field mapping of landslides. During the field studies, the identified landslide locations were checked and mapped on the topographical maps. Then, all landslide location data including remote sensing studies, field mapping and previously performed studies/archives were compiled and combined. The mapped landslide locations can be seen in Figure 1.

The second stage was to produce parameter maps to be used in the landslide susceptibility analyses. A total of nine parameters (see Figure 3) such as topographical elevation (DEM), slope (SLP), aspect (ASP), profile curvature (PRC), planar curvature (PLC), stream power index (SPI), topographical wetness index (TWI), normalized difference vegetation index (NDVI) and distance to drainage (DTD) were produced by using different sources (DEM, ASTER satellite image, topographical maps etc.) in ArcGIS 10.3 platform. Spatial distributions of all parameter maps of the study area are given in Figure 4. Lithology, is one of the most important parameters in landslide assessments, was not considered since the all mapped landslides were in the same lithological unit, namely the Ulus formation. For slope, aspect, profile and planar curvature maps, the DEM of the

study area was used as an input. For NDVI map, near infrared and red bands of ASTER Level 3A satellite imagery of the study area were used based on the equation below:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

where *NIR* (near infrared) (0.78-0.86 μm) and *R* (red) (0.63-0.69 μm) spectral bands of ASTER Level 3A satellite image. *TWI* was calculated by using Eq. 2:

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

where *a* is the local upslope area draining through

a certain point per unit contour length and  $\tan\beta$  is the local slope. *SPI* was calculated by using Eq. 3:

$$SPI = A_s \times \tan\beta \quad (3)$$

where *A<sub>s</sub>* is the specific catchment area and  $\beta$  is the local slope angle. For DTD map, firstly, drainage network was extracted using DEM and digitizing of the main rivers. Then, using distance module of the Geographical Information System (GIS) platform, DTD map was produced.

As the third stage of the study, landslide database extraction procedure proposed by this study (Strategy 1, STR<sub>1</sub>)

was performed (see Figure 3) only in Basin 1. STR<sub>1</sub> is mainly based on the statistical distribution of the considered parameters on the landslide occurrences. In other words, all the pixels within the entire landslide bodies were sampled as landslide pixels, while all pixels located outside the landslide polygons were considered as nonlandslide areas, as explained by Hussin et al. (2016). In this stage, in order to extract the landslide database by the STR<sub>1</sub>, firstly, all parameter maps in raster format should be analyzed by basic statistical indicators such as minimum, maximum, mean and standard deviations (Table 1), either in landslide bodies or in nonlandslide areas. For the readers, general distributions of considered landslide conditioning parameters with minimum, maximum, mean and standard deviation values

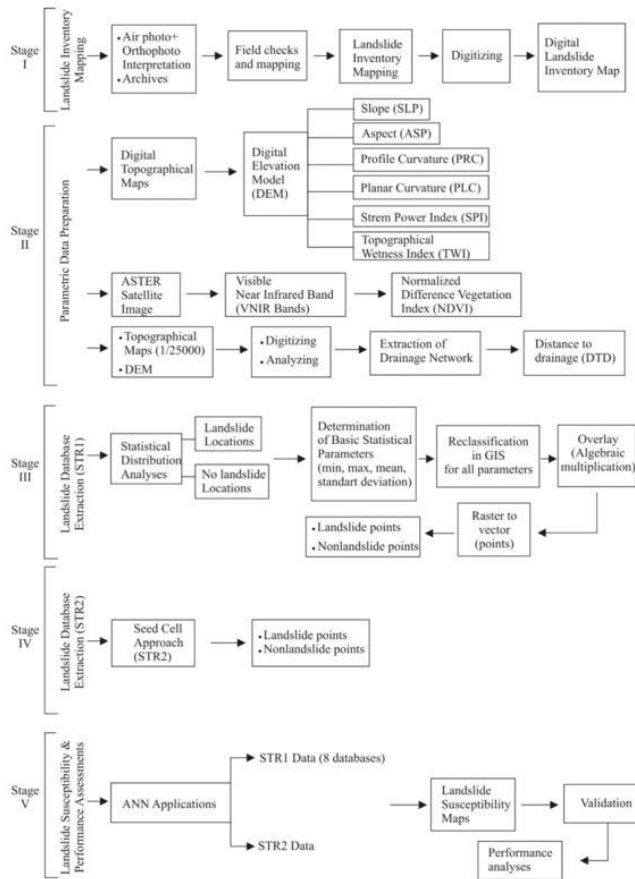
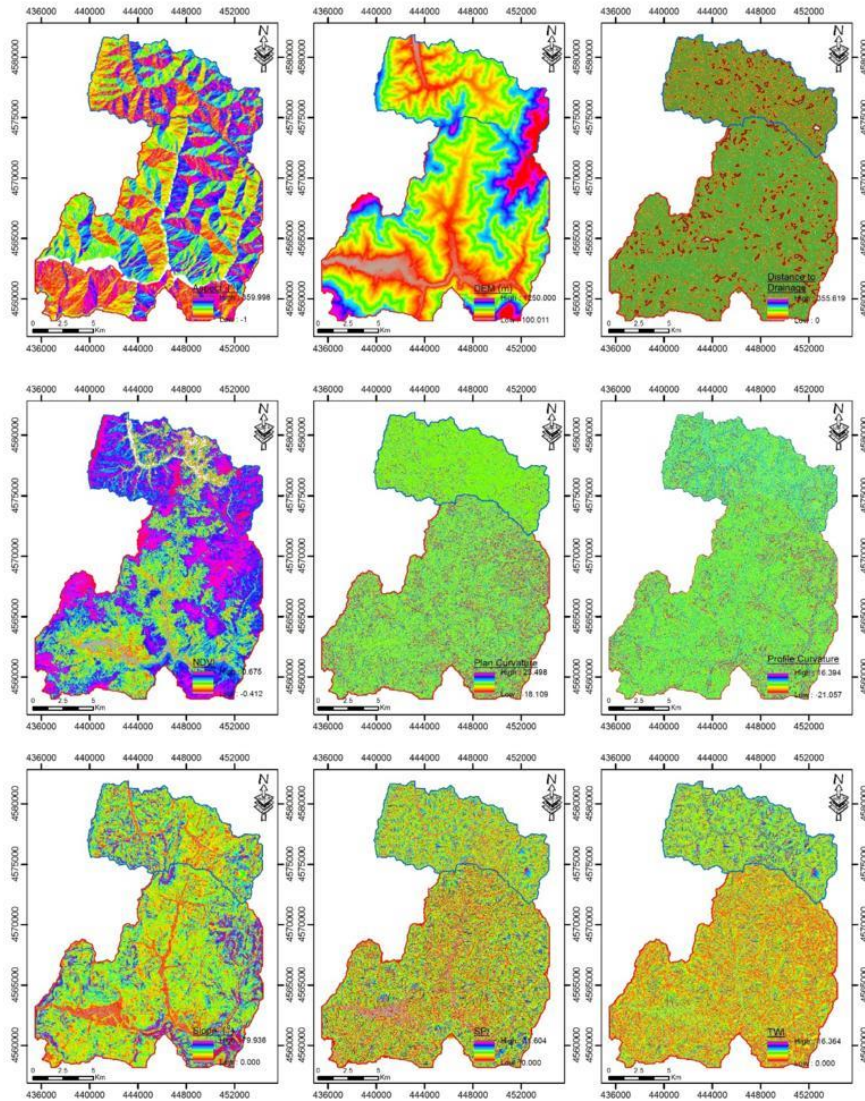


Figure 3 A schematic representation of the methodological stages of the study.



**Figure 4** Parameter maps used in the study: (a) aspect; (b) topographical elevation (DEM); (c) distance to drainage; (d) normalized difference vegetation index (NDVI); (e) planar curvature; (f) profile curvature; (g) slope; (h) stream power index (SPI) and (i) topographical wetness index (TWI).

in Basin 1 can be seen in Table 1 for entire study area, landslide areas, or nonlandslide areas. In this

stage, application of Chebyshev theorem was performed, explained in the following sentences.

**Table 1** Basic statistics of the considered parameters in the study, landslide and nonlandslide areas.

Parameter	Study area				Landslide area				Nonlandslide area			
	Min	Max	Mean	Std. dev.	Min	Max	Mean	Std. dev.	Min	Max	Mean	Std. dev.
Aspect (ASP)	-1.000	359.998	172.716	107.211	0.000	359.995	169.838	97.517	0.000	359.996	173.320	109.062
DEM	100.011	1250.000	500.516	236.213	127.486	959.048	440.000	133.677	100.011	1250.000	518.307	249.663
DTD	0.000	355.619	51.451	40.149	0.000	313.462	59.719	45.624	0.000	355.614	49.790	38.692
NDVI	-0.412	0.675	0.451	0.152	-0.093	0.665	0.409	0.109	-0.412	0.675	0.464	0.157
PLC	-18.109	23.498	-0.011	0.975	-10.336	11.559	-0.002	0.649	-18.109	23.498	-0.014	1.027
PRC	-21.057	16.394	-0.009	1.023	-13.050	11.003	0.012	0.667	-21.057	16.394	-0.014	1.080
SLP	0.000	79.936	19.329	9.404	8.412	46.540	17.752	5.730	0.000	79.936	19.644	9.946
SPI	0.000	11.604	3.621	1.584	0.104	10.539	3.801	1.569	0.000	11.604	3.580	1.584
TWI	0.000	16.364	5.737	1.595	0.041	15.508	6.003	1.629	0.000	16.364	5.684	1.582

**Notes:** Abbreviations for the parameters: DEM - Digital elevation model; DTD - Distance to drainage; NDVI - Normalized difference Vegetation index; PLC, Planar curvature; PRC, Profile curvature; SLP - Slope angle; SPI - Stream power Index; TWI - Topographical wetness index.

Theoretically, if a random variable has a small variance or standard deviation, it can be expected that most of the values are closely populated around the mean value. In other words, the probability that a random variable assumes a value within a certain interval about the mean is greater than for a similar random variable with a larger standard deviation. In the Chebyshev theorem, the fraction of area between any two values symmetric about the mean is related to the standard deviation. Since the area under a probability distribution curve or in probability histogram adds to 1, the area between any two numbers is the probability of the random variable assuming a value between those numbers (Walpole et al. 2002). The Chebyshev theorem is expressed in the following equation:

$$P(\mu - k\sigma < X < \mu + k\sigma) \geq 1 - \frac{1}{k^2} \quad (4)$$

where  $P$  is the probability,  $\mu$  is the mean,  $k$  is any real number greater than 1,  $\sigma$  is the standard deviation and  $X$  is a random variable. This theorem gives an estimate of the probability that a random variable assumes a value within  $k$  standard deviations of its mean for any real number  $k$ . The theorem can be established in the following equations assuming the variance of  $X$  as  $\sigma^2$  (Walpole et al. 2002):

$$\begin{aligned} \sigma^2 = E[(X - \mu)^2] &= \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx = \\ &= \int_{-\infty}^{\mu - k\sigma} (x - \mu)^2 f(x) dx + \int_{\mu - k\sigma}^{\mu + k\sigma} (x - \mu)^2 f(x) dx + \\ &+ \int_{\mu + k\sigma}^{+\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx \geq \int_{-\infty}^{\mu - k\sigma} (x - \mu)^2 f(x) dx + \\ &+ \int_{\mu + k\sigma}^{+\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx \end{aligned} \quad (5)$$

because the second of the three integrals is nonnegative. Since absolute value of  $x - \mu \geq k\sigma$  wherever  $x \geq \mu + k\sigma$  wherever  $x \leq \mu - k\sigma$ ,  $(x - \mu)^2 \geq k^2\sigma^2$  in both remaining integrals and can be expressed

as follows:

$$\sigma^2 \geq \int_{-\infty}^{\mu - k\sigma} k^2\sigma^2 f(x) dx + \int_{\mu + k\sigma}^{+\infty} k^2\sigma^2 f(x) dx \quad (6)$$

$$\int_{-\infty}^{\mu - k\sigma} f(x) dx + \int_{\mu + k\sigma}^{+\infty} f(x) dx \leq \frac{1}{k^2} \quad (7)$$

$$P(\mu - k\sigma < X < \mu + k\sigma) = \int_{\mu - k\sigma}^{\mu + k\sigma} f(x) dx \geq 1 - \frac{1}{k^2} \quad (8)$$

For the database construction with STR1, the Chebyshev theorem was applied to all parameter frequency distributions in landslide and nonlandslide areas. Basic problems in selecting samples in landslide susceptibility modeling were sourced from some issues such as number of pixels (i.e. portioning of data), location (whole landslide area, scarp, depletion area etc.) both for training and testing data, as mentioned before. When portioning data, there is no rule of thumb for the relative sizes of the landslide or nonlandslide data (Pradhan 2013). Generally, those two data sets are unbalanced. Therefore, the researchers usually discriminate the study areas (or overall pixels) as training and testing data sets in different ratios 50% and 50%; 60% and 40%; 70% and 30% etc., summing up to 100%. When a sample is chosen at random from a population, it is said to be an unbiased sample. That is, the sample, for the most part, is representative of the population (Bluman 2004). However, this selection does not solve the problems mentioned above since the quantity, statistical distribution type and characteristics are left unanswered or insufficient for the data sets in many cases. Therefore, the utilization of the Chebyshev theorem and the way of STR1 application proposed in this study minimizes these problems. This theorem specifies the proportion of values from a data set that will fall within  $k$  standard deviations of the mean will be at least  $1 - 1/k^2$ , where  $k$  is a number greater than 1 ( $k$  is not

necessarily an integer) (Figure 5). The main advantage of this theorem is that it can be applied in any distribution type regardless of its shape (Bluman 2004). This is very important feature of the Chebyshev theorem since the landslide characteristics do not always show normal distribution sourced from its complex nature.

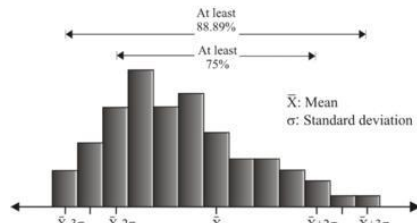


Figure 5 Explanation of Chebyshev theorem (after Bluman 2004).

Table 2 Data set proportions for different k values.

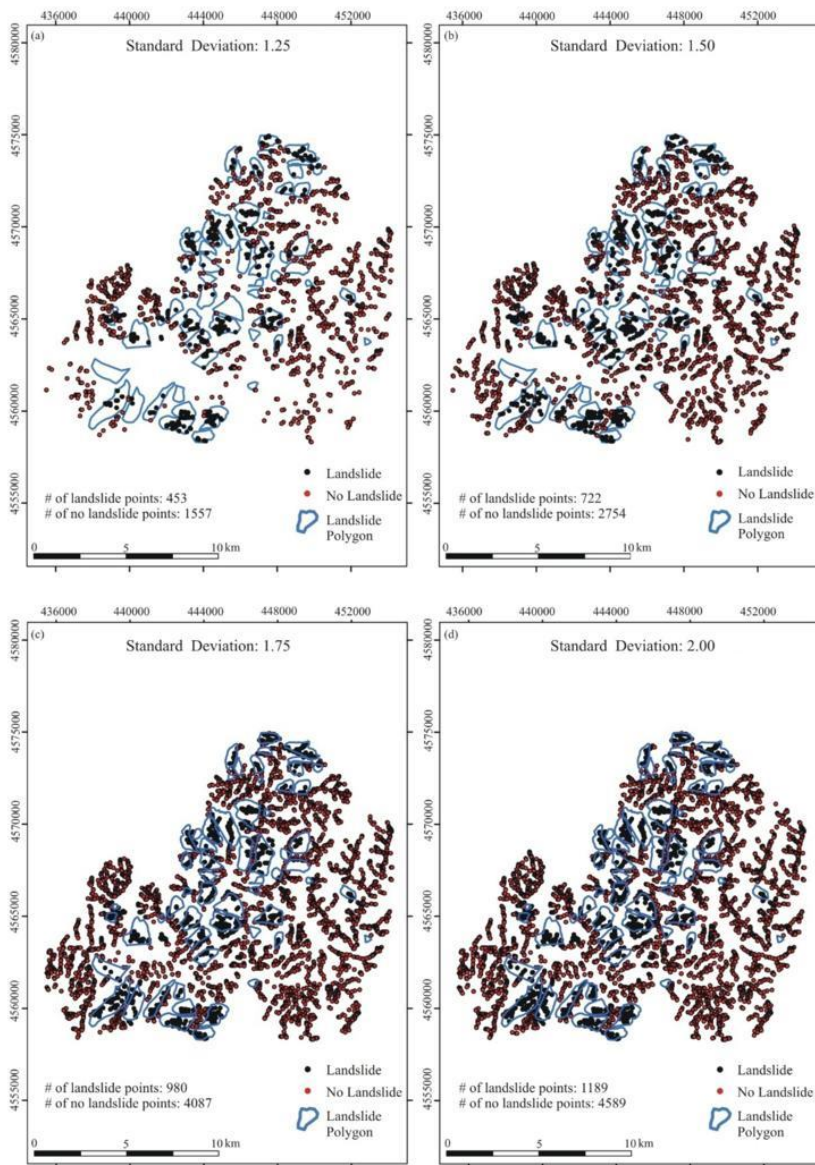
k	k <sup>2</sup>	Percentage of data at least (%)
1.250	1.563	36.000
1.500	2.250	55.500
1.750	3.063	67.300
2.000	4.000	75.000
2.250	5.063	80.200
2.500	6.250	84.000
2.750	7.563	86.700
3.000	9.000	88.800

Application of this theorem to landslide or nonlandslide data for different k standard deviations enabled us to prepare an objective sampling for representative landslide/nonlandslide database construction. In other words, taking into consideration of different k values provides different data sets representing the whole data set in different proportions (Table 2) to find the most appropriate data fit. By doing so, 8 different landslide database were extracted for each parameter map taking into consideration for different k values varying from 1.25 to 3 (see Table 2) in landslide and nonlandslide areas based on the mean and ± k standard deviations in Basin 1 training area. Then, the parametric data ranges determined by applying Chebyshev theorem in both landslide and nonlandslide locations were obtained by reclassifying. In the next stage, these reclassified images for each parameter maps were exposed to algebraic multiplication in GIS platform, and the final raster maps were converted to points by raster to vector operation for each k. These

maps (or points) for each considered k standard deviations were presented in Figure 6 for landslide and nonlandslide locations.

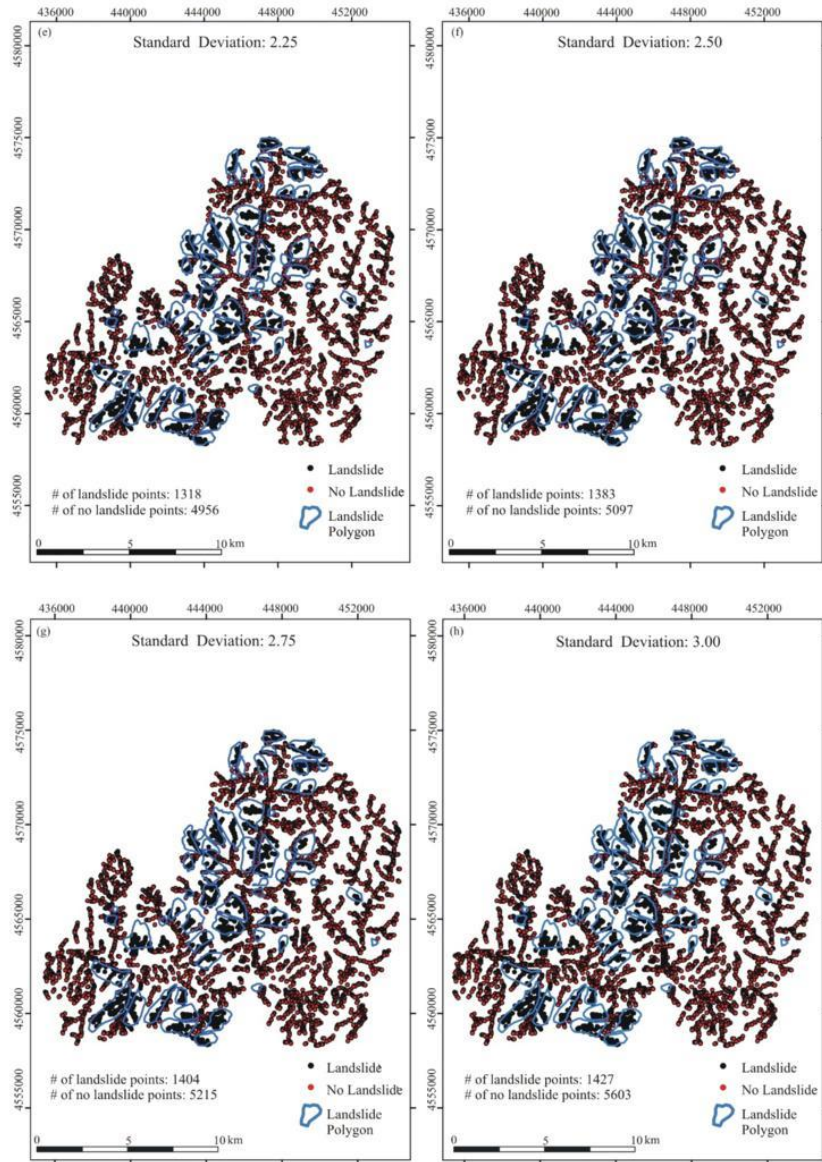
In addition to these 8 databases for STR1, in the fourth stage, seed cell approach (STR2) was applied for the Basin 1 training site. For STR2 (i.e. seed cell approach), buffer zones representing four pixels (i.e. 80 m for this study, the pixel size was 20 m in this study), as stated by Suzen and Doyuran (2004), were delineated for each landslide body in Basin 1. Next, equal amount of pixels that were randomly selected in the nonlandslide areas and STR2 data were constructed with 4506 point (2253 either in landslide or in nonlandslide locations). Basic statistical features of this database tabulated in Table 3.

The fifth stage includes the ANN applications for all 9 data sets (8 for STR1, 1 for STR2). A neural network can be defined as a model of reasoning based on the human brain (Negnevitsky 2002). Artificial Neural Networks (ANNs) are elegant and powerful tools for attacking difficult problems (Dowla and Rogers 1995). In addition, as stated by Huang and Wandstedt (1998), ANNs have a great advantage in dealing with problems such as many factors influence process and result, understanding the process is inadequate and complex. As landslides, there are many problems to be modeled and solved in nature. ANNs have been successfully applied in landslide susceptibility assessments (e.g. Ercanoglu 2005; Ermini et al. 2005; Gomez and Kavzoglu 2005; Yesilnacar and Topal 2005; Pradhan and Lee 2007; Kawabata and Bandibas 2009; Yilmaz 2009; Choi et al. 2010; Pradhan et al. 2010; Bui et al. 2012; Li et al. 2012; Zare et al. 2012; Park et al. 2013; Conforti et al. 2014). ANN models, to some extent, the complex problems similar to the human brain. An ANN consists of a number of very simple and highly interconnected processors, also called neurons, which are analogous to the biological neurons in the brain. The neurons are connected by weighted links passing signals through its connections. The output signal is transmitted through the neuron's outgoing connection and it splits into a number of branches that transmit the same signal. The outgoing branches terminate at the incoming connections of other neurons in the network (Negnevitsky 2002). ANNs have generally three main processing units known as input, hidden and output layers



**Figure 6** Landslide and nonlandslide locations determined by Chebyshev theorem and the methodology applied in this study for different standard deviations: (a)  $\sigma = 1.25$ ; (b)  $\sigma = 1.50$ ; (c)  $\sigma = 1.75$ ; (d)  $\sigma = 2.00$ ; (e)  $\sigma = 2.25$ ; (f)  $\sigma = 2.50$ ; (g)  $\sigma = 2.75$  and (h)  $\sigma = 3.00$ . (-To be continued-)

(-Continued-)



**Figure 6** Landslide and nonlandslide locations determined by Chebyshev theorem and the methodology applied in this study for different standard deviations: (a)  $\sigma = 1.25$ ; (b)  $\sigma = 1.50$ ; (c)  $\sigma = 1.75$ ; (d)  $\sigma = 2.00$ ; (e)  $\sigma = 2.25$ ; (f)  $\sigma = 2.50$ ; (g)  $\sigma = 2.75$  and (h)  $\sigma = 3.00$ .

**Table 3** Basic statistics of the input parameters in landslide and nonlandslide areas obtained by STR2.

Parameter	Landslide Area				Nonlandslide Area			
	Min	Max	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Mean	Std. Dev.
Aspect(ASP)	0.084	357.513	177.258	93.514	0.000	359.093	181.182	100.830
Digital Elevation Model (DEM)	159.312	976.953	525.734	137.222	100.000	1229.368	512.354	245.034
Distance to Drainage (DTD)	3.501	231.274	53.372	38.020	3.386	253.954	50.379	37.956
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	0.159	0.647	0.459	0.108	-0.108	0.654	0.464	0.142
Planar Curvature (PLC)	-4.238	7.152	-0.050	0.617	-7.014	4.682	-0.022	0.662
Profile Curvature (PRC)	-5.059	3.054	-0.024	0.563	-5.661	4.353	0.028	0.758
Slope Angle (SLP)	0.000	45.044	18.519	6.556	0.000	65.602	19.913	9.735
Stream Power Index (SPI)	0.045	7.951	3.600	1.228	0.000	8.990	3.628	1.348
Topographical Wetness Index (TWI)	3.038	11.587	5.740	1.239	2.726	11.926	5.728	1.310

connected by neurons and weighted links. Mathematical expressions for calculation and construction steps of ANNs can be found in detail in most of the above mentioned literature.

For the landslide susceptibility analyses, Multi-Layer Perceptron (MLP) module of Idrisi Selva computer programme was used. The MLP uses the Back Propagation (BP) learning algorithm, and it is one of the most widely used neural network models in engineering applications (Eastman, 2012). As is well-known, learning stage of ANN applications is very important. BP involves forward and backward propagation to accomplish its modification of the neural state. During learning, each sample is fed into the input layer and the receiving node sums the weighted signals from all nodes to which it is connected in the preceding layer (Eastman 2012). ANN applications were performed by the 9/3/1 (9 inputs, 3 hidden and 1 output layers) ANN structure proposed by the MLP module. For the learning stage, error is back propagated to the network and used to adjust the weights. This process is repeated until the overall error value falls within a desired value or number of iterations. There are also important ANN structure design parameters influencing the model results such as learning rate, momentum, number of iterations. If these parameters were applied incorrectly, the outputs would yield the results including overfitting or underfitting features. Of these, learning rate is a positive constant controlling the amount of adjustment of the connecting weights. If it is too small, learning stage may become overestimated and time consuming, while if it is too high, underestimation may occur.

Thus, as proposed by MLP module, dynamic learning rate option was chosen for this stage, provided by the software, in order not to cause any fitting problem. The momentum parameter of ANN helps to prevent divergence problem during the search for the minimum value on the error surface and is used to accelerate the convergence. This parameter intends to avoid oscillation problems during the search for the minimum value on the error surface and is used to speed up the convergence procedure. The default momentum value of 0.5 was chosen for this parameter as proposed by the software. Using a sigmoidal function and selecting maximum iteration number as 30000, Root Mean Square (RMS) was selected as 0.001, at which closeness to 0 indicates the good relationship, while the values close to 1 depict no relation, as the stopping criteria of ANN model. After all these data and parameters were fed into the MLP module, 9 different landslide databases were taken into consideration with 9 input parameters for Basin 1. Therefore, 9 different landslide susceptibility maps were obtained by the MLP module of the software. Of these, a landslide susceptibility map produced by the 2 standard deviation data obtained by Chebyshev theorem from the STR1 was given in Figure 7.

### 3 Validation

In order to validate the performances of the so-produced maps for Basin 1 with different landslide databases, Relative Operating Characteristics (ROC) module of Idrisi Selva was



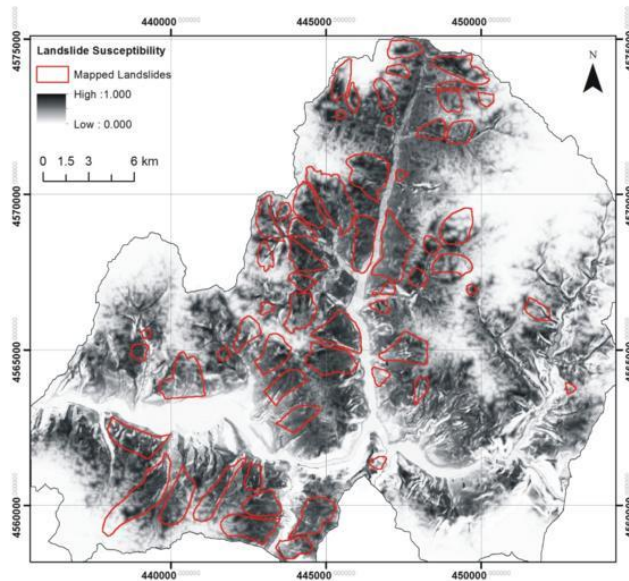
used. The ROC module employs an excellent method to assess the validity of a model that predicts the location of the occurrence of a class by comparing a suitability image depicting the likelihood of that class occurring (i.e., the input image) and a Boolean image showing where that class actually exists (i.e., the reference image) (Eastman 2012). For this stage, Boolean landslide inventory map depicting the landslide locations as 1 and nonlandslide areas as 0 were considered. For the input parameters of the module, 9 different susceptibility maps were used as inputs. The output of ROC module is a text file reporting the AUC value as well as the coordinates of the points on the ROC curve that are used to calculate the AUC value. An AUC value of 1 indicates that there is perfect spatial agreement between the class map (i.e., the reference image) and the suitability map (i.e., the input image). An AUC value of 0.5 is the agreement that would be expected due to chance (Eastman 2012). Therefore, considering these inputs and landslide location images, AUC values were calculated for each landslide database (Table 4).

**Table 4** Area under the curve (AUC) values of the so-produced maps with STR1 and STR2.

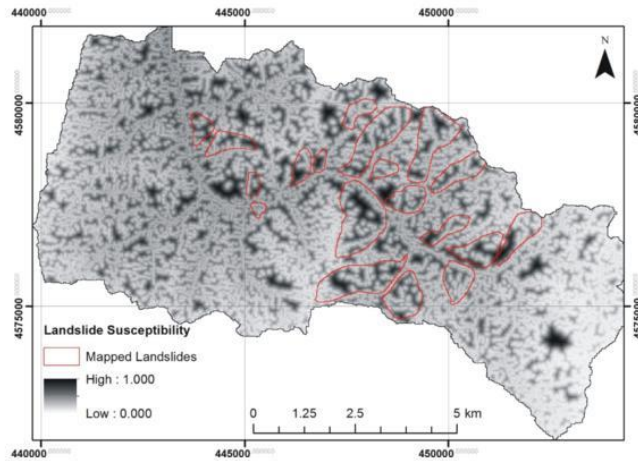
Landslide database	AUC in Basin 1	AUC in Basin 2
STR1 (St. Dev.: 1.25)	0.739	0.616
STR1 (St. Dev.: 1.50)	0.785	0.682
STR1 (St. Dev.: 1.75)	0.816	0.714
STR1 (St. Dev.: 2.00)	0.873	0.761
STR1 (St. Dev.: 2.25)	0.845	0.736
STR1 (St. Dev.: 2.50)	0.826	0.701
STR1 (St. Dev.: 2.75)	0.813	0.692
STR1 (St. Dev.: 3.00)	0.800	0.663
STR2 (Seed Cell)	0.819	0.711

The best performance was obtained by the STR1 with two standard deviations landslide database in Basin 1 produced by Chebyshev theorem. In other words, 87.3 % of the mapped landslides in Basin 1 were successfully estimated with this sampling procedure. However, it was thought that the more reliable performance indicators could be gained from Basin 2 data (testing data of this study), which had not been used until this stage. That is to say, the AUC values for Basin 1 should be considered as the sampling strategies' estimation capabilities in the data used, while the Basin 2 data with the same ANN structure yield the more precise performance

indicators for different sampling strategies used in this study. For this stage, the ANN structure was saved (i. e. the same ANN structure with the same inputs) and applied to Basin 2. Again, nine different landslide susceptibility maps were produced using Basin 2 data. Of these, similar to Basin 1 AUC values, the best performance was gathered from the landslide susceptibility map produced from the two standard deviation landslide database with AUC value of 0.761 (see Table 4), produced by Chebyshev theorem. The landslide susceptibility map produced by this database for Basin 2 was given in Figure 8.



**Figure 7** Landslide susceptibility map of the Basin 1 training area produced by the database based on  $k = 2$  standard deviation data.



**Figure 8** Landslide susceptibility map of the Basin 2 test area produced by the database based on  $k = 2$  standard deviation data.

area. AUC approach was used to compare the results in Basin 1, and the best performance was gathered from the landslide susceptibility map produced by  $k = 2$  standard deviation data with  $AUC=0.873$ . This means that using at least 75% (based on the Chebyshev theorem) of landslide and nonlandslide data will fall within two standard deviations of the mean values of the considered parameters (obtained by algebraic multiplication of all 9 conditioning parameters in landslide and nonlandslide locations)

#### 4 Results and Conclusions

In this study, a total of 75 rotational earth slides (56 landslides in Basin1; 19 landslides in Basin2) were mapped in the area of concern. Totally, nine conditioning parameters were used for landslide susceptibility assessments. Based on these landslide locations and the nine considered landslide conditioning parameters, different landslide susceptibility maps coming from different landslide/nonlandslide data were produced for the study area. The study area was divided into two regions as training and testing stages for modeling and validation of the so-produced landslide susceptibility maps. In this study, two different sampling strategies were used in the training data sets (i. e. in Basin 1). Of these, STR1, which depends upon the Chebyshev theorem, was applied on the data sets. In order to apply this procedure, data distributions in both landslide and nonlandslide areas were gathered together and 8 different landslide databases were extracted considering different standard deviation  $k$  values. In addition, seed cell sampling strategy (STR2) was also applied to compare the results. Therefore, 9 different landslide susceptibility maps were produced by using ANN method in Basin 1 training

have a better performance in predicting landslide locations. The same situation was also valid for Basin 2 data. For the Basin 2 data, which were not used in the modeling stage, the best performance was gathered from the  $k = 2$  standard deviation database among all landslide susceptibility maps. STR2 was also applied in Basin 1 and Basin 2 to compare the STR1 results. The results revealed that the number of data sourced from the increase in standard deviation and AUC values increase up to  $k = 2$  standard deviation data in STR1, while after this point, the AUC values were in tendency to decrease. This situation was linked to the characterization capability of the applied sampling strategies. In addition, close values of AUC also point out the ability of characterization of the so-produced databases for both in landslide and nonlandslide areas (STR1, from  $k = 1.25$  to  $k = 3$ , and STR2). Actually, all considered databases obtained by STR1 and STR2 produced satisfactory results based on AUC values. However, the representation capability of the landslide and nonlandslide data-base changes in small portions. It should be noted that all these results are related to the first stage of this study, as in many cases, reliable and representative landslide database. In other words, the more reliable and representative data sets may yield the higher performance

landslide susceptibility maps.

This study compares different sampling strategies in landslide susceptibility mapping, which constitutes one of the most important stages of landslide susceptibility, hazard and risk assessments. In the literature, there are different sampling procedures applied in landslide susceptibility mapping studies by the scientists. Any sampling procedure may yield a result, but, it should be based on a reliable landslide database. However, in this case, this situation can be affected by the parameter selection and the high performance capacity of applied methodology in any landslide susceptibility mapping study. Thus, in this study, ANN method was used to produce landslide susceptibility maps to compare different sampling data. In other words, the performances of the landslide susceptibility maps mentioned above were not affected by the methodology and the considered parameters. The one and only effect on the results was sourced from the differences in the landslide and nonlandslide database.

As mentioned before, whole data were constructed on landslide locations and nine parameters. Lithology, one of the most important landslide assessment parameters and controlling the landslide mechanisms, was not used for this study since all mapped landslides were in the same lithologic unit. In addition, rainfall distribution, mainly responsible for triggering the landslides in the study area, was accepted as equal throughout the study area.

The parameters used in any landslide study

and their importance on the results may change for different regions. However, the sampling strategy applied in this study (STR1) has capability of overcome these problems in landslide susceptibility mapping studies since the Chebyshev theorem is a distribution free application. Algebraic multiplications of each considered parameter using this theorem in both landslide and nonlandslide locations yield reliable and objective data for producing data-driven landslide database. The applied approach in this study also overcomes the problem in unbalanced data distributions in landslide and nonlandslide data, respectively. This situation was concluded as the approach used in this study has not only capability of representing landslide and nonlandslide data but also minimizes the huge data utilization problem in landslide susceptibility mapping studies.

## Acknowledgments

This research was supported by The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) (Project No: 113Y455) and Hacettepe University Scientific Researches Coordination Section (Project No: 735). The authors would also like to thank Mr. Halil Başer, Mr. Ziya Öncü and Mr. Gökhan Çınar for their logistic support during the field studies. The authors are grateful for the Editor and two anonymous reviewers for their valuable comments and suggestions, which highly increased the quality of the study.

## References

- Akgun A (2012) A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression multi-criteria decision and likelihood ratio methods: a case study at İzmir Turkey. *Landslides* 9(1): 93-106. DOI: 10.1007/s10346-011-0283-7
- Alkevi T, Ercanoglu M (2011) Assessment of ASTER satellite images in landslide inventory mapping: Yenice-Gokcebey (Western Black Sea Region Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 70(4): 607-617. DOI: 10.1007/s10064-011-0353-z
- Althwaynee OF, Pradhan B, Park HJ, et al. (2014) A novel ensemble bivariate statistical evidential belief function with knowledge-based analytical hierarchy process and multivariate statistical logistic regression for landslide susceptibility mapping. *Catena* 114: 21-36. DOI: 10.1016/j.catena.2013.10.011
- Bai SB, Wang J, Lu GN, et al. (2010) GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping of the Zhongxian segment in the Three Gorges area China. *Geomorphology* 115(1): 23-31. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.09.025
- Bi R, Schleier M, Rohn J, et al. (2014) Landslide susceptibility analysis based on ArcGIS and Artificial Neural Network for a large catchment in Three Gorges region China. *Environmental Earth Sciences* 72(6): 1925-1938. DOI: 10.1007/s12665-014-3100-5
- Bluman AG (2004) *Elementary Statistics: A Step by Step Approach*. McGraw Hill, New York. p 897.
- Bui DT, Pradhan B, Lofman O, et al. (2012) Landslide susceptibility assessment in the Hoa Binh province of Vietnam: A comparison of the Levenberg–Marquardt and Bayesian regularized neural networks. *Geomorphology* 171-172: 12-29. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.04.023
- Chau KT, Chan JE (2005) Regional bias of landslide data in generating susceptibility maps using logistic regression: Case of Hong Kong Island. *Landslides* 2(4): 280-290. DOI: 10.1007/s10346-005-0024-x

- Choi J, Oh HJ, Won JS, Lee S (2010) Validation of an artificial neural network model for landslide susceptibility mapping. *Environmental Earth Sciences* 60(3): 473-483. DOI: 10.1007/s12665-009-0188-0
- Clerici A, Perego S, Tellini C, et al. (2006) A GIS-based automated procedure for landslide susceptibility mapping by the conditional analysis method: the Baganza valley case study (Italian Northern Apennines). *Environmental Geology* 50(7): 941-961. DOI: 10.1007/s00254-006-0264-7
- Conforti M, Pascale S, Robustelli G, et al. (2014) Evaluation of prediction capability of the artificial neural networks for mapping landslide susceptibility in the Turbolo River catchment (northern Calabria Italy). *Catena* 113: 236-250. DOI: 10.1016/j.catena.2013.08.006
- Corominas J, Van Westen C, Frattini P, et al. (2014) Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 73(2): 209-263. DOI: 10.1007/s10064-013-0538-8
- Cruden DM, Varnes DJ (1996) *Landslide Types and Processes*. In: Turner AK, Schuster RL (Eds.), *Landslides: Investigation and Mitigation*, Transportation Research Board, Special Report No. 247, pp: 36-75.
- Dagdelenler G, Nefeslioglu HA, Gokceoglu C (2015) Modification of seed cell sampling strategy for landslide susceptibility mapping: an application from the Eastern part of the Gallipoli Peninsula (Canakkale, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 1-16. DOI: 10.1007/s10064-015-0759-0
- Dai FC, Lee CF (2003) A spatiotemporal probabilistic modelling of storm induced shallow landsliding using aerial photographs and logistic regression. *Earth Surface Processes & Landforms* 28(5): 527-545. DOI: 10.1002/esp.456
- Dewitte O, Chung CJ, Cornet Y, et al. (2010) Combining spatial data in landslide reactivation susceptibility mapping: A likelihood ratio-based approach in W Belgium. *Geomorphology* 122(1): 153-166. DOI: 10.1016/j.geomorph.2010.06.010
- Dowla FU, Rogers LL (1995) *Solving Problems in Environmental Engineering and Geosciences with Artificial Neural Networks*. MIT Press, Massachusetts, London, p 241.
- Duman TY, Can T, Gokceoglu C, et al. (2006) Application of logistic regression for landslide susceptibility zoning of Cekmece Area Istanbul Turkey. *Environmental Geology* 51(2): 241-256. DOI: 10.1007/s00254-006-0322-1
- Eastman JR (2012) *IDRISI Selva Guide to GIS and Image Processing User's Guide (Ver17)*. Clark University Press, Massachusetts, USA.
- Ercanoglu M (2005) Landslide susceptibility assessment of SE Bartın (West Black Sea region Turkey) by artificial neural networks. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5(6): 979-992. DOI: 10.5194/nhess-5-979-2005
- Ercanoglu M, 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): 229-250. DOI: 10.1016/j.enggeo.2004.06.001
- Ercanoglu M, Kaşmer Ö, Temiz N (2008) Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 67(4): 565-578. DOI: 10.1007/s10064-008-0170-1
- Erener A, Düzgün HSB (2012) Landslide susceptibility assessment: what are the effects of mapping unit and mapping method? *Environmental Earth Sciences* 66(3): 859-877. DOI: 10.1007/s12665-011-1297-0
- Ermini L, Catani F, Casagli N (2005) Artificial Neural Networks applied to landslide susceptibility assessment. *Geomorphology* 66(1-4): 327-343. DOI: 10.1016/j.geomorph.2004.09.025
- Fell R, Corominas J, Bonnard C, et al. (2008a) Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology* 102(3-4): 85-98. DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.03.022
- Fell R, Corominas J, Bonnard C, et al. (2008b) Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology* 102(3-4): 99-111. DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.03.014
- Fernandez T, Irigaray C, El Hamdouni R, et al. (2003) Methodology for landslide susceptibility mapping by means of a GIS Application to the Contraviesia Area (Granada Spain). *Natural Hazards* 30(3): 297-308.
- Frattini P, Crosta G, Carrara A (2010) Techniques for evaluating the performance of landslide susceptibility models. *Engineering Geology* 111(1-4): 62-72. DOI: 10.1016/j.enggeo.2009.12.004
- Gómez H, Kavzoglu T (2005) Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin Venezuela. *Engineering Geology* 78(1-2): 11-27. DOI: 10.1016/j.enggeo.2004.10.004
- Gorum T, Gönengil B, Gökçeoglu C, et al. (2008) Implementation of reconstructed geomorphologic units in landslide susceptibility mapping: the Melen Gorge (NW Turkey). *Natural Hazards* 46(3): 323-351. DOI: 10.1007/s11069-007-9190-6
- Guzzetti F, Carrara A, Cardinali M, et al. (1999) Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study Central Italy. *Geomorphology* 31(1-4): 181-216. DOI: 10.1016/S0169-555X(99)00078-1
- Guzzetti F, Reichenbach P, Ardizzone F, et al. (2006) Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology* 81(1-2): 166-184. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.04.007
- Guzzetti F, Mondini AC, Cardinali M, et al. (2012) Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews* 112(1-2): 42-66. DOI: 10.1016/j.earscirev.2012.02.001
- Hasekiogullari GD, 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. DOI: 10.1007/s11069-012-0218-1
- Huang Y, Wanstedt S (1998) The introduction of neural network system and its applications in rock engineering. *Engineering Geology* 49(3-4): 253-260. DOI: 10.1016/S0013-7952(97)00056-2
- Hussin HY, Zumpano V, Reichenbach P, et al. (2016) Different landslide sampling strategies in a grid-based bi-variate statistical susceptibility model. *Geomorphology* 253: 508-523. DOI: 10.1016/j.geomorph.2015.10.030
- Kawabata D, Bandibas J (2009) Landslide susceptibility mapping using geological data a DEM from ASTER images and an Artificial Neural Network (ANN). *Geomorphology* 113(1-2): 97-109. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.06.006
- Kundu S, Saha AK, Sharma DC, et al. (2013) Remote Sensing and GIS Based Landslide Susceptibility Assessment using Binary Logistic Regression Model: A Case Study in the Ganeshganga Watershed Himalayas. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 41(3): 697-709. DOI: 10.1007/s12524-012-0255-y
- Li Y, Chen G, Tang C, et al. (2012) Rainfall and earthquake-induced landslide susceptibility assessment using GIS and Artificial Neural Network. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 12(8): 2719-2729. DOI: 10.5194/nhess-12-2719-2012
- Marjanović M, Kovačević M, Bajat B, et al. (2011) Landslide susceptibility assessments using SVM machine learning algorithm. *Engineering Geology* 123(3): 225-234. DOI: 10.1016/j.enggeo.2011.09.006
- Mohammady M, Pourghasemi HR, 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. DOI: 10.1016/j.jseas.2012.10.005
- Nandi A, Shakoor A (2009) A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. *Engineering Geology* 110(1-2): 11-20. DOI: 10.1016/j.enggeo.2009.10.001

- Nefeslioglu HA, Gokceoglu C, Sonmez H (2008) An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology* 97(3-4): 171-191. DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.01.004
- Negnevitsky M (2002) *Artificial intelligence: a guide to intelligent systems*. Pearson, Essex.
- Oh HJ, Pradhan B (2011) Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. *Computers & Geosciences* 37(9): 1264-1276. DOI: 10.1016/j.cageo.2010.10.012
- Ozdemir A, 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. DOI: 10.1016/j.jseas.2012.12.014
- Park S, Choi C, Kim B, et al. (2013) 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. DOI: 10.1007/s12665-012-1842-5
- Park I, Lee S (2014) Spatial prediction of landslide susceptibility using a decision tree approach: a case study of the Pyeongchang area Korea. *International Journal of Remote Sensing* 35(16): 6089-6112. DOI: 10.1080/01431161.2014.943326
- Peng L, Niu R, Huang B, et al. (2014) Landslide susceptibility mapping based on rough set theory and support vector machines: A case of the Three Gorges area China. *Geomorphology* 204: 287-301. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.08.013
- Pradhan B (2013) A comparative study on the predictive ability of the decision tree support vector machine and neuro-fuzzy models in landslide susceptibility mapping using GIS. *Computers & Geosciences* 51: 350-365. DOI: 10.1016/j.cageo.2012.08.023
- Pradhan B, Lee S (2007) Utilization of optical remote sensing data and GIS tools for regional landslide hazard analysis using an artificial neural network model. *Earth Science Frontiers* 14(6): 143-152. DOI: 10.1016/S1872-5791(08)60008-1
- Pradhan B, Lee S, Buchroithner MF (2010) A GIS-based back-propagation neural network model and its cross-application and validation for landslide susceptibility analyses. *Computers, Environment and Urban Systems* 34(3): 216-235. DOI: 10.1016/j.compenvurbys.2009.12.004
- Remondo J, Gonzalez-Diez A, Teran JRD, et al. (2003) Landslide susceptibility models utilizing spatial data analysis techniques A case study from the lower Deba Valley Guipúzcoa (Spain). *Natural Hazards* 30(3): 267-279.
- Saito H, Nakayama D, Matsuyama H (2009) Comparison of landslide susceptibility based on a decision-tree model and actual landslide occurrence: The Akaishi Mountains Japan. *Geomorphology* 109(3-4): 108-121. DOI: 10.1016/j.geomorph.2009.02.026
- San BT (2014) An evaluation of SVM using polygon-based random sampling in landslide susceptibility mapping: The Candir catchment area (western Antalya Turkey). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 26: 399-412. DOI: 10.1016/j.jag.2013.09.010
- Santacana N, Baeza B, Corominas J, et al. (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.
- Shahabi H, Khazri S, Ahmad BB, et al. (2014) Landslide susceptibility mapping at Central Zab basin Iran: A comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models. *Catena* 115: 55-70. DOI: 10.1016/j.catena.2013.11.014
- Sujatha ER, Kumaravel P, Rajamanickam VG (2012) Landslide susceptibility mapping using remotely sensed data through conditional probability analysis using seed cell and point sampling techniques. *Journal of the Indian Society Remote Sensing* 40(4): 669-678. DOI: 10.1007/s12524-011-0192-1
- Suzen ML, 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. DOI: 10.1016/S0013-7952(03)00143-1
- van Westen CJ, Castellanos E, Kuriakose SL (2008) Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: An overview. *Engineering Geology* 102(3-4): 112-132. DOI: 10.1016/j.enggeo.2008.03.010
- Walpole RE, Myers RH, Myers SL, et al. (2002) *Probability & Statistics for Engineers and Scientists*. Prentice Hall, New Jersey, USA. p. 816.
- Wang LJ, Sawada K, Moriguchi S (2013) Landslide susceptibility analysis with logistic regression model based on FCM sampling strategy. *Computers & Geosciences* 57: 81-92. DOI: 10.1016/j.cageo.2013.04.006
- WP/WLI (The International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory) (1990) A suggested method for reporting a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 41: 5-12.
- WP/WLI (The International Geotechnical Societies' UNESCO Working Party on World Landslide Inventory) (1993) *Multilingual landslide glossary*. BITech Publishers Ltd, British Columbia.
- Yeon YK, Han JG, Ryu KH (2010) Landslide susceptibility mapping in Injae Korea using a decision tree. *Engineering Geology* 116(3-4): 274-283. DOI: 10.1016/j.enggeo.2010.09.009
- Yesilnacar E, 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. DOI: 10.1016/j.enggeo.2005.02.002
- 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 & Geosciences* 35(6): 1125-1138. DOI: 10.1016/j.cageo.2008.08.007
- Yilmaz I (2010) The effect of the sampling strategies on the landslide susceptibility mapping by conditional probability and artificial neural networks. *Environmental Earth Sciences* 60(3): 505-519. DOI: 10.1007/s12665-009-0191-5
- Zare M, Pourghasemi HR, Vafakhah M, et al. (2012) Landslide susceptibility mapping at Vaz Watershed (Iran) using an artificial neural network model: a comparison between multilayer perceptron (MLP) and radial basis function (RBF) algorithms. *Arabian Journal of Geosciences* 6(8): 2873-2888. DOI: 10.1007/s12517-012-0610-x

## **EK20- Tezden Türetilmiş Bildiriler**

Ercanoglu, M., Uçar, İ., Sönmez, H., Özyurt, N. N., Dağdelenler, G., Özsayın, E., Kahraman, B., Çetinkaya, S., Alkeveli, T., Assessment of landslide and flood potential of Yenice district (Karabük, Turkey). Natural Disasters and Disasters Manegement Symposium (DAAYS'16), Karabük, Turkey, March 2-4, 2016.

Alkeveli, T., Dağdelenler, G., Çetinkaya, S., Özsayın, E., Kahraman, B., Özyurt, N. N., Uçar, İ., Sönmez, H., Ercanoglu, M., World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium 2015 (WMESS15'), Prague, Czech Republic, 07-11 September 2015.



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 17/06/2019

Tez Başlığı / Konusu: YENİCE (KARABÜK) BÖLGESİNİN HEYELAN TEHLİKESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 89 sayfalık kısmına ilişkin, 17/06/2019 tarihinde ~~sağım~~/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 7 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/~~dağıtım~~
- 3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Sinem Çetinkaya  
Öğrenci No: N13120418  
Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı  
Programı:  
Statüsü:  Y.Lisans  Doktora  Bütünleşik Dr.

17.06.2019

**DANIŞMAN ONAYI**

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Murat Ercanoğlu

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sinem ÇETİNKAYA  
Doğum yeri : İzmir  
Doğum tarihi : 22.10.1988  
Medeni hali : Bekar  
Elektronik posta adresi : sinemgeo@gmail.com  
Yabancı dili : İngilizce

### EĞİTİM DURUMU

Lisans : Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği (2006-2012)

### KONFERANS, SEMPOZYUM, KONGRE, PANEL VB

- Uçar, İ., Çetinkaya, S., Ercanoğlu, M., Sönmez, H., Özyurt, N. N., Özsayın, E., Dağdelenler, G., Kahraman, B. ve Mercan, S. ,. Karabük ve Yenice Bölgelerinde Taşkın Modelleme Çalışmaları, IV. Ulusal Taşkın Sempozyumu Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Rize, **2016**.
- Ercanoğlu, M., Dağdelenler, G., Özsayın, E., Alkeveli, T., Sönmez, H., Özyurt, N. N., Kahraman, B., Uçar, İ., Çetinkaya, S., Application of Chebyshev theorem to data preparation in landslide susceptibility mapping studies: an example from Yenice (Karabük, Turkey) region. Journal of Mountain Sciences, 13 (11), 1923-1940, **2016**.
- Ercanoğlu, M., Uçar, İ., Sönmez, H., Özyurt, N. N., Dağdelenler, G., Özsayın, E., Kahraman, B., Çetinkaya, S., and Alkeveli, T., 2016. Assessment of Landslide and Flood Hazard Potential of Yenice District (Karabük, Turkey) (Orjinali İngilizcedir), Uluslararası Doğal Afetler ve Afet Yönetimi Sempozyumu **2016** (DAAYS 2016) Karabük, Türkiye.
- Yener, A.B., Çetinkaya, S., The Importance of Engineering Geological Considerations during construction stage a Dam- A case study of Ballıkaya Dam,



NW Anatolia, TURKEY., International Conference on "Engineering Geology in New Millenium", **2015**.

- Alkeveli, T., Dağdelenler, G., Çetinkaya, S., Özsayın, E., Kahraman, B., Özyurt, N. N., Uçar, İ., Sönmez, H. and Ercanoğlu, M., 2015. Landslide Susceptibility Assessment in Yenice Region (Karabük, NW Turkey): Comparison of Artificial Neural Network with Logistic Regression , World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS, 2015) , **2015**.