



T.C
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YUKARI KARASU HAVZASININ AZİZİYE-AŞKALE ARASINDA
KALAN BÖLÜMÜNÜN HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdem AYDOĞAN

NİSAN 2019
GÜMÜŞHANE

T.C
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YUKARI KARASU HAVZASININ AZİZİYE-AŞKALE ARASINDA
KALAN BÖLÜMÜNÜN HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Erdem AYDOĞAN

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08.04.2019
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 19.04.2019

NİSAN 2019



KABUL ve ONAY



Dr. Öğr. Üyesi Serhat DAĞ danışmanlığında **Erdem AYDOĞAN** tarafından hazırlanan “**YUKARI KARASU HAVZASININ AZİZİYE-AŞKALE ARASINDA KALAN BÖLÜMÜNÜN HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ**” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

: 
Prof. Dr. Aykut AKGÜN

Üye (Danışman)


: 
Dr. Öğr. Üyesi Serhat DAĞ

Üye

: 
Doç. Dr. Selçuk ALEMDAG

ONAY

Bu tez 8./5./19 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

: 
Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum "Yukarı Karasu Havzasının Aziziye-Aşkale Arasında Kalan Bölümünün Heyelan Duyarlılık Analizi" isimli tez çalışmasında; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
08/04/2019



Erdem AYDOĞAN

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

YUKARI KARASU HAVZASININ AZİZİYE-AŞKALE ARASINDA
KALAN BÖLÜMÜNÜN HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

Erdem AYDOĞAN

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serhat DAĞ

2019, 95 sayfa

Ülkemizde depremlerle birlikte aktif fay zonları boyunca sıklıkla gerçekleşen afet türlerinden biri de heyelanlardır. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verileri dikkate alındığında Erzurum ili heyelan gerçekleşme sayısına göre ülkemizde ilk sıralarda yer almaktadır. Bu çalışmada frekans oranı yöntemi ile Yukarı Karasu Havzasının Aziziye-Aşkale (Erzurum) arasında kalan bölümünün heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanı 1/25000 ölçekli 32 adet paftanın kesişim sınırlarından oluşmaktadır. İnceleme alanında daha önce MTA tarafından gerçekleştirilen çalışmalardan yararlanarak 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Bölgede Erken Paleozoyikten Kuvaternere kadar değişen yaş aralığında 14 farklı formasyon ayırtlanmıştır.

Heyelan duyarlılık analizine yönelik olarak arazi çalışmaları ile 334 adet heyelan kayıt altına alınmış ve heyelan envanter haritası oluşturulmuştur. Mevcut heyelanların %80'i analizlerde kullanılırken rastgele seçilen %20'si ise kontrol ve performans aşamasında değerlendirilmiştir.

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde jeolojik faktörlerden litoloji ve faya yakınlık parametreleri, topoğrafik faktörlerden, yükseklik, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü (bakı), yamaç eğriselliği parametreleri ve çevresel faktörlerden arazi kullanımı ile akarsuya yakınlık parametreleri kullanılmıştır.

Çalışmada frekans oranı yönteminden yararlanarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiş ve 5 farklı duyarlılık sınıfı ayırtlanmıştır. Daha sonra duyarlılık haritasının performans analizi mevcut heyelanlarla duyarlılık haritası karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Üretilen duyarlılık haritasında çalışma alanının %55.02'si, mevcut heyelanların ise %89.1'i yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda tespit edilmiştir. Bu durum çalışmada elde edilen heyelan duyarlılık haritasının başarılı bir şekilde kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Aşkale, Aziziye, Frekans oranı, Heyelan envanteri, Heyelan duyarlılık haritası.

ABSTRACT
MS THESIS

**LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS OF UPPER KARASU
WATERSHED LOCATED BETWEEN AZIZIYE-AŞKALE PART**

Erdem AYDOĞAN

Gümüşhane Üniversity
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Serhat DAĞ

2019, 95 pages

In our country, along with earthquakes, one of the types of disasters frequently occurring along active fault zones is landslides. When the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) data are taken into consideration, Erzurum province ranks first in our country according to the number of landslide occurrences. In this study, landslide susceptibility analysis of Upper Karasu Watershed between Aziziye-AŞkale (Erzurum) section was performed by using frequency ratio method.

The study area consists of the intersection boundaries of 32 topographic maps of 1/25000 scale. In the study area, 1/25000 scale geological map was prepared by taking advantage of the studies conducted by MTA. In the region, from the Early Paleozoic to the Quaternary, 14 different formations were separated.

For landslide susceptibility analysis, 334 landslides were recorded and landslide inventory maps were prepared with field work. While the randomly selected 20% was evaluated during the control and performance phases, 80% of the existing landslides were used in the analyzes.

In the production of landslide susceptibility map, from geological factors lithology and fault proximity parameters, from topographic factors elevation, slope gradient and slope aspect, slope curvature parameters and from environmental factors land use and rivers proximity parameters were used.

In this study, landslide susceptibility map was produced by utilizing the frequency ratio method and 5 different susceptibility classes were differentiated. Then, the performance analysis of the susceptibility map was carried out by overlaying the susceptibility map with the existing landslides. In the produced susceptibility map, 55.02% of the total study area and 89.1% of the existing landslides were determined in high and very high susceptible areas. This situation shows that the landslide susceptibility map obtained in this study can be used successfully.

Keywords: Aşkale, Aziziye, Frequency ratio, Landslide inventory, Landslide susceptibility map.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yapmış olduğum yüksek lisans çalışmasında tez konusunun belirlenmesini sağlayan, çalışmalarım süresince beni yönlendirerek destekleyen ve tezin her aşamasında yapıcı eleştirileriyle katkı sağlayan danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Serhat DAĞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez savunma sınavında jüri olarak katkı sunan Sayın Prof. Dr. Aykut AKGÜN ve Sayın Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ'a yapıcı eleştiri ve önerilerinden dolayı şükranlarımı sunarım.

Tez çalışması sırasında "Erzurum Heyelan Envanter Haritası" verilerinden yararlanma imkânını sağladığından dolayı başta AFAD Başkanı Sayın Dr. Mehmet GÜLLÜOĞLU'na, Planlama ve Risk Azaltma Daire Başkanı Sayın Yusuf AYSU ile Afet Risk Azaltma Sistemi Çalışma Grup Başkanlığı personeline teşekkür ederim.

Ayrıca tez çalışması sırasında benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen başta Erzurum İl Afet ve Acil Durum Müdürü Sayın Selahattin KARSLI olmak üzere, Planlama ve Risk Azaltma Şube Müdürü Sayın Ersan SAĞSÖZ ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak hayatım boyunca benden her türlü desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan başta annem ve babam olmak üzere eşim Ümmühan AYDOĞAN, çocuklarım Eymen ve Ravzanur AYDOĞAN'a teşekkürü borç bilirim.

Erdem AYDOĞAN
Gümüşhane, 2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı	3
1.3. Çalışma Alanının Konumu	3
1.4. Ulaşım ve Yerleşim Durumu	4
1.5. Morfoloji.....	6
1.6. İklim ve Bitki Örtüsü	8
1.7. Literatür Çalışmaları.....	9
1.7.1. İnceleme Alanı ve Yakın Çevresiyle İlgili Jeolojik Çalışmalar	10
1.7.2. Heyelanlara Yönelik Çalışmalar.....	13
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	21
2.1. Giriş	21
2.2. Arazi Çalışmaları	21
2.3. Bilgisayar Destekli Büro Çalışmaları	24
3. BULGULAR	26
3.1. Bölgesel Jeoloji.....	26
3.2. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi	28
3.2.1. Hınıs Metaofiyoliti (Pzh).....	30
3.2.2. Anadolu Ada Yayılı Volkanoklastik Sedimanter Serisi (PzMzan).....	30
3.2.3. Rizekent Formasyonu (Jr).....	31
3.2.4. Yeşirçöl Formasyonu (Ky)	33
3.2.5. Başkurdere Formasyonu (Kb)	33
3.2.6. Kopdağı Melanjı (Kk).....	33
3.2.7. Serçeme Formasyonu (KTs).....	34

3.2.8.	Gölveren Formasyonu (Tgö)	34
3.2.9.	Adilcevaz Formasyonu (Mia)	35
3.2.10.	Aşkale Formasyonu (Ta)	35
3.2.11.	Ziyarettepe Formasyonu (Tz)	36
3.2.12.	Solhan Formasyonu (Mivs)	37
3.2.13.	Gelinkaya Formasyonu (Tg).....	37
3.2.14.	Alüvyon, Traverten ve Yamaç Molozu	38
3.3.	Heyelan Duyarlılık Haritasında Kullanılan Parametreler.....	38
3.3.1.	Heyelan Envanteri	39
3.3.2.	Litoloji	44
3.3.3.	Yamaç Eğimi	47
3.3.4.	Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)	48
3.3.5.	Yamaç Eğim Yönü (Bakı)	54
3.3.6.	Yamaç Eğriselliği	56
3.3.7.	Ana Faya Yakınlık.....	59
3.3.8.	Akarsuya Yakınlık	64
3.3.9.	Arazi Kullanımı	67
3.4.	Frekans Oranı Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritası Üretimi.....	72
3.5.	Duyarlılık Haritasının Performansının Değerlendirilmesi.....	78
4.	TARTIŞMA (İRDELEME).....	81
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	84
6.	KAYNAKLAR.....	87
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.....	5
Şekil 2.1. Çalışma alanı içinde gerçekleşen bazı heyelanların genel görünümü.....	23
Şekil 2.2. Aziziye ilçesinde sayısallaştırılan heyelanların 2 ve 3 boyutlu gösterimi.....	24
Şekil 3.1. Erzurum ve çevresinin genel jeoloji haritası (Yılmaz, 1988).....	27
Şekil 3.2. Erzurum ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti.....	29
Şekil 3.3. Çalışma alanının genel jeoloji haritası	32
Şekil 3.4. Heyelan kayıt formu (Varnes, (1978) ve WP/WLI (1994)).	41
Şekil 3.5. Çalışma alanı heyelan envanter haritası	42
Şekil 3.6. Mevcut heyelanların boyutsal dağılımları.....	43
Şekil 3.7. Çalışma alanı litoloji haritası.....	45
Şekil 3.8. Litoloji sınıfları yüzde dağılım grafikleri.....	47
Şekil 3.9. Çalışma alanı eğim haritası	49
Şekil 3.10. Eğim sınıflarına ait yüzde dağılım grafikleri	50
Şekil 3.11. Çalışma alanı SYM haritası.....	52
Şekil 3.12. SYM sınıflarına ait yüzde dağılım grafikleri	53
Şekil 3.13. Çalışma alanı yamaç eğim yönü (bakı) haritası	55
Şekil 3.14. Bakı sınıfları yüzde dağılım grafikleri	56
Şekil 3.15. Çalışma alanı yamaç eğrisellik haritası	58
Şekil 3.16. Eğrisellik sınıfları yüzde dağılım grafikleri	59
Şekil 3.17. Çalışma alanı fay haritası	61
Şekil 3.18. Faya yakınlık haritası	62
Şekil 3.19. Faya yakınlık sınıfları yüzde dağılım grafikleri	63
Şekil 3.20. Çalışma alanı akarsu ağı haritası	65
Şekil 3.21. Akarsulara yakınlık haritası	66
Şekil 3.22. Akarsuya yakınlık sınıfları yüzde dağılım grafikleri	68
Şekil 3.23. Çalışma alanı arazi kullanımı haritası	69
Şekil 3.24. Yeniden sınıflandırılmış arazi kullanım haritası	71
Şekil 3.25. Arazi kullanımı sınıfları yüzde dağılım grafikleri.....	72
Şekil 3.26. Çalışma alanı heyelan duyarlılık haritası	77
Şekil 3.27. Duyarlılık haritası yüzde dağılım seviyeleri	78
Şekil 3.28. Performans analizi yüzde dağılım grafiği	79
Şekil 3.29. Heyelan duyarlılık performans haritası	80

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Afet türlerine göre olay sayısı ve etkilenen yapı sayısı dağılımı (Gökçe vd., 2008)	2
Tablo 1.2. Çalışma alanına ait topoğrafik harita listesi	4
Tablo 1.3. Erzurum iline ait ortalama aylık sıcaklık verileri (www.mgm.gov.tr).....	8
Tablo 1.4. Erzurum iline ait ortalama aylık yağış verileri (www.mgm.gov.tr).....	9
Tablo 2.1. Heyelan envanter bilgilerine ait örnekler	22
Tablo 3.1. Litoloji sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri	46
Tablo 3.2. Eğim sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri	50
Tablo 3.3. SYM sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri	53
Tablo 3.4. Bakı sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri	56
Tablo 3.5. Eğrisellik sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri	59
Tablo 3.6. Faylara yakınlık sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri.....	63
Tablo 3.7. Akarsuya yakınlık sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri.....	67
Tablo 3.8. Arazi kullanımı sınıflaması	70
Tablo 3.9. Arazi kullanımı sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri.....	70
Tablo 3.10. Parametre alt sınıflarına ait heyelan yoğunluk ve frekans oranları ve değerleri	74

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Çalışma alanı piksel sayısı
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı
AUC	: Eğri altında kalan alan
B	: Heyelanlı alan piksel sayısı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
Cu	: Bakır
FR	: Frekans Oranı (Frequency Ratio)
GIS	: Geographical Information System
HGM	: Harita Genel Müdürlüğü
Hp	: Heyelanlı piksel sayısı
Hpix	: Parametre sınıfındaki heyelanlı piksel sayısı
K.A.F.	: Kuzey Anadolu Fayı
LR	: Lojistik Regresyon (Logistic Regression)
LSI	: Sediman taşıma kapasite endeksi
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	: Maden Tetkik Arama
NFR	: Normalleştirilmiş frekans
Pb	: Kurşun
Pix	: Parametre sınıfı çalışma alanı piksel sayısı
Shp	: Vektör data (veri) uzantısı
SPI	: Akarsu aşındırma gücü endeksi
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TWI	: Topoğrafik nemlilik endeksi
UTM	: Evrensel koordinat sistemi (Universal Transverse Mercator)
YSA	: Yapay sinir ağı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Doğal afet, dünyada meydana gelen doğa olaylarının, insan hayatını ve çevresel koşulları olumsuz yönde etkilemesi olarak adlandırılmaktadır. Doğal afet denince ilk akla gelen olaylar deprem, heyelan, çığ, su baskını ve volkanik aktivitelerdir. Dünya üzerinde artan nüfus yoğunluğu insanların farklı yerleşim yerleri aramasına ve yaşamsal alanların yayılmasına neden olmuştur. Bu durum beraberinde plansız kentleşmeleri ve doğal afetlere daha fazla maruz kalmayı gerçekleştirmiştir. Doğal afet türleri içinde en fazla etki alanına ve yıkım gücüne sahip olan afet türlerinden biri de deprem olup, gerçekleşmesi durumunda heyelan, kaya düşmesi ve çığ gibi kütleli hareketlerde tetikleyebilmektedir. Depremden sonra insan hayatını olumsuz yönde en çok etkileyen afet türü heyelanlardır.

Küresel ölçekte dünyada birçok ülke heyelan afeti ile karşı karşıyadır. Ülkelerin içinde buldukları jeolojik, morfolojik ve meteorolojik koşullar heyelan oluşumu üzerinde etkin rol oynamaktadır. Heyelanlar ve verdikleri zarar incelendiğinde ABD, Fransa, İtalya İsviçre gibi gelişmiş ülkelerde ortaya çıkan zararın, ekonomik açıdan diğer ülkelere göre daha yüksek olduğu görülmektedir (1-5 milyar \$). Ancak bu durum, bu ülkelerin ekonomilerini büyük ölçüde etkilememektedir. Gelişmekte olan veya az gelişmiş ülkelerde ise bu tür doğal afetler, çevresel zararların yanı sıra ülke ekonomisine büyük zararlar verebilmektedir. Dünya Bankası verilerine göre, doğal afetlerden kaynaklanan ölümlerin %95'i geliştirmekte olan veya az gelişmiş ülkelerde olmakta ve bu ülkeler yıllık üretimlerinin %1-2'sini doğal afetler sonucunda yitirmektedirler (Kremier vd., 2000). Doğal afetler sonucu oluşan can ve mal kaybının yanı sıra olayın sosyo-ekonomik boyutu da ele alındığında, ülkemiz için kaybın yüksek olabileceği düşünülmektedir (Ercanoğlu vd., 2008).

Ülkemizde, büyük can ve mal kaybına neden olan doğal afet olayları ile sık sık karşılaşılmaktadır. Bunun başlıca nedeni ülkemizin jeolojik ve jeomorfolojik yapısı ile sahip olduğu iklimsel özelliklerdir. Ülkemizde afet olayları ile ilgili çalışmalar 7269 sayılı afet yasası kapsamında yürütülmekte olup, kanunu uygulayıcı kurum Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD) ve tüm illerde bulunan taşra teşkilatlarıdır. AFAD verilerine göre; 1950-2008 yılları arasında meydana gelen afet olayları Tablo 1.1'de verilmiş olup, yerleşim birimlerinde en çok meydana gelen afet olayı %45'lik oranla heyelanlardır. Heyelan olay sayısını % 18'lik oranla hasar veren büyüklüğe sahip depremler, % 14'lük

oranla su baskınları izlemektedir. Afet olayları nedeniyle, zarar gören yapıların durumları incelendiğinde; depremlerin % 55, heyelanların ise % 21'lik bir paya sahip olduğu belirlenmiştir (Gökçe vd., 2008).

Tablo 1.1. Afet türlerine göre olay sayısı ve etkilenen yapı sayısı dağılımı (Gökçe vd., 2008).

Afet Türü	Olay Sayısı	Etkilenen Yapı Sayısı
Deprem	5318	158241
Heyelan	13494	59345
Taşkın	4067	22157
Kaya Düşmesi	2956	19422
Diğer Afetler	1175	9237
Çığ	731	4384
Çoklu Afetler	2024	12210
Tasnif Edilmemişler	42	0
Toplam	29807	284996

Tablo 1.1 incelendiğinde en çok zarar verici etkiye sahip afet türlerinin deprem, heyelan ve taşkınlar olduğu anlaşılmaktadır. Kaya düşmesi afetinin tabloda ayrı tutulmuş olmasına rağmen temelde bir heyelan türü veya kütle hareketleri içinde yer aldığı düşünülürse heyelanların zarar verici etki yönüyle çok önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Türkiye’de aktif fay ve fay zonları boyunca özellikle Doğu, Batı ve Orta Karadeniz Bölümünde yerleşim birimlerinde heyelan olayları yoğunlaşmaktadır. İç Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve Trakya Bölgesinde ise heyelan olaylarının daha az görüldüğü anlaşılmaktadır. AFAD verilerine göre, 1950-2008 yılları arasında ülkemizde, 13494 heyelan olayı kayıt altına alınmış olup, en çok heyelan olayı gözlenen illerde ilk sırayı 1123 heyelan olayı ile Trabzon’un aldığı tespit edilmiştir. Heyelan gerçekleşme sayısına göre sırasıyla diğer iller ise 1049 heyelanla Rize ikinci, 613 heyelanla Kastamonu üçüncü ve 573 heyelanla Erzurum dördüncü sırada yer almaktadır. En az heyelan olayı gözlenen iller ise, Kırklareli, Mardin ve Şanlıurfa’dır. Ülkemizde depremlerden sonra en çok hasarın meydana geldiği afet türü heyelanlar olup olmuş/muhtemel heyelan olaylarından etkilenen/etkilenebilecek durumdaki toplam yapı sayısı 59345’dir. Trabzon 4106 yapı ile heyelanlardan en çok zarar görmüş ilimizdir. 2008 yılı itibariyle ilçeler bazında yapılan değerlendirmeler sonucu 922 ilçenin 679’unda, başka bir ifadeyle bütün ilçelerimizin % 73.6’sında heyelan olayları meydana gelmiştir (Demir vd., 2011).

AFAD verilerine göre, Erzurum ili tüm afet olaylarının yoğun olarak gözlemlendiği bir bölgedir. Heyelan olayları özellikle Aşkale, İspir Narman ve Oltu ilçelerinde yoğun olarak gözlenmektedir. Kaya düşmesi olayları ise genel olarak ilin kuzey ve kuzeydoğusunda bulunan Oltu, Olur, Şenkaya, Narman ve Tortum ilçelerinde yoğunlaşmaktadır. Çığ olayı ise genel olarak Palandöken sıradağları ile birlikte Çat, İspir ve Tortum ilçelerine bağlı mahallelerde meydana gelmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Heyelan olayı, kütleli bir hareket türü olup, mal ve can kayıplarına sebep olması ve yeryüzünü şekillendirmesi yönüyle, doğal afet olaylarının en önemli türlerinden biridir. Son yıllarda özellikle Coğrafi Bilgi Sistemlerindeki (CBS) gelişmelerin de artmasıyla birlikte, gerek üniversiteler gerekse kamu kurumları (AFAD, MTA) heyelanlardan kaynaklı zararları azaltmak ve arazi kullanım planları yapmak amacıyla heyelan duyarlılık araştırmalarına yönelik çalışmalar gerçekleştirmektedir. Önceleri daha küçük alanlarda gerçekleştirilen çalışmalar artık daha geniş alanlarda yapılmaya başlanmıştır. Bu sayede tüm ülke genelinin heyelan envanteri ve duyarlılık haritalarının oluşturulması planlanmaktadır.

Duyarlılık haritalarının oluşturulmasındaki temel amaç, heyelan sonucunda oluşabilecek zararların en aza indirilmesi olup, bu tür çalışmaların en önemli aşaması heyelan envanterinin oluşturulmasıdır. Çünkü duyarlılık haritalarında kullanılan temel faktör bölgede daha önce gerçekleşmiş olan heyelanlardır.

Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımı olan ArcGIS 10.2 kullanılarak, heyelanların insan yaşamına direkt ve dolaylı etkisinin azaltılması, potansiyel yerleşim alanları seçimi, sanayi kuruluşları ve mühendislik yapılarının tasarımında kullanılmak üzere Yukarı Karasu Havzasının Aziziye-Aşkale arasında kalan bölümünün heyelan duyarlılık haritasının hazırlanması amaçlanmıştır.

1.3. Çalışma Alanının Konumu

Çalışma alanı, Doğu Anadolu Bölgesinin Erzurum iline bağlı Aziziye ve Aşkale İlçe sınırları içerisinde kalan Yukarı Karasu Havzası içinde yer almaktadır (Şekil 1.1).

Fırat Nehrinin ana kaynağını oluşturan Karasu Havzasının çıkış yeri Erzurum Ovasında bulunan Kargapazarı Dağları olup buradan doğan Karasu Nehri doğu batı yönünde

akış göstererek Ovacık Yaylasından gelen Serçeme Çayı ile birleşir ve Aşkale Boğazına ulaşır. Erzincan sınırına ulaşan Karasu Nehri burada Tercan, Çayırlı, Otlukbeli ve Üzümlü ilçelerinden geçerek Tunceli Pülümür'ün bir kısmını da içine alıp Keban Barajında Murat Nehri ile birleşir ve bu noktadan sonra Fırat Nehri adını alır.

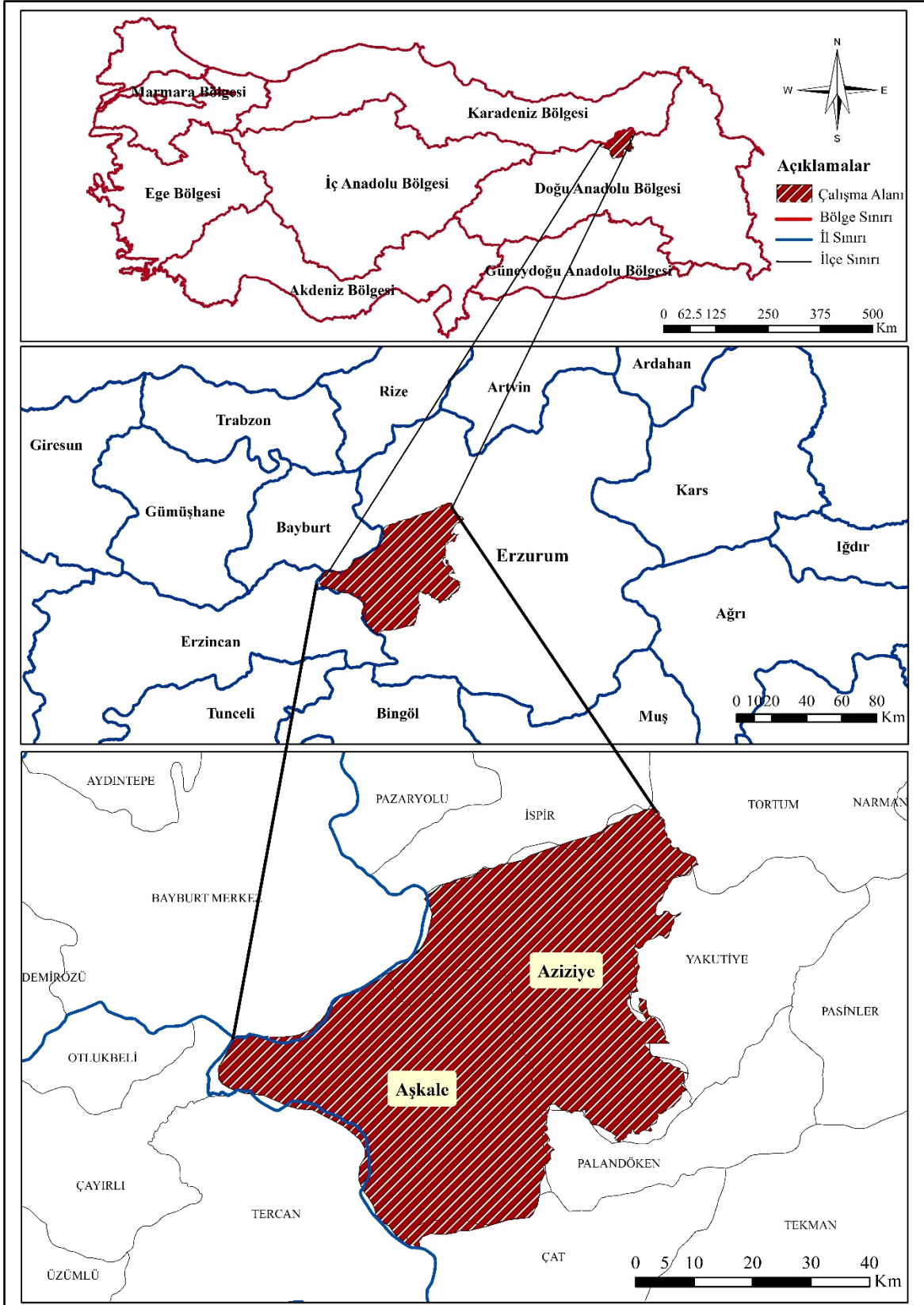
Yukarı Karasu Havzasının Aziziye ve Aşkale ilçe sınırları içerisinde kalan bölümünün oluşturulması, ArcGIS yazılımında 71 adet 1/25000 ölçekli sayısal (vektör veri formatı) topoğrafya haritasından üretilmiş olan SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) haritası kullanılarak yapılmıştır. Bu harita üzerinde öncelikle Yukarı Karasu Havzasının genel sınırları hesaplanmış daha sonra Aziziye ve Aşkale ilçe sınırları Yukarı Karasu havzası üzerine atılarak kesişim yerleri dışında kalan alanlar kesilerek çıkarılmıştır. Sonuçta Yukarı Karasu Havzasının Aziziye Aşkale ilçe sınırlarında kalan bölümü elde edilmiştir. Sınır kesme işlemlerinden sonra çalışma alanına ait 1/25000 ölçekli 32 adet paftanın listesi Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.2. Çalışma alanına ait topoğrafik harita listesi

Sıra	Pafta No	Sıra	Pafta No	Sıra	Pafta No
1	Trabzon H44-c3	12	Tortum H46-c1	23	Erzurum I45-b1
2	Trabzon H44-c4	13	Tortum H46-d1	24	Erzurum I45-b2
3	Tortum H45-b3	14	Tortum H46-d2	25	Erzurum I45-b3
4	Tortum H45-c1	15	Tortum H46-d3	26	Erzurum I45-b4
5	Tortum H45-c2	16	Tortum H46-d4	27	Erzurum I45-c1
6	Tortum H45-c3	17	Erzincan I44-b1	28	Erzurum I45-c2
7	Tortum H45-c4	18	Erzincan I44-b2	29	Erzurum I45-d1
8	Tortum H45-d3	19	Erzurum I45-a1	30	Erzurum I45-d2
9	Tortum H45-d4	20	Erzurum I45-a2	31	Erzurum I46-a1
10	Tortum H46-a3	21	Erzurum I45-a3	32	Erzurum I46-a2
11	Tortum H46-a4	22	Erzurum I45-a4		

1.4. Ulaşım ve Yerleşim Durumu

Erzurum ilinin batısında bulunan Aziziye ve Aşkale ilçelerinden Aziziye ilçesi merkez ilçe olup İl merkezine uzaklığı 15 km kadardır. Aşkale ilçesi ise 54 km uzaklıkta olup, ulaşım Erzurum-Erzincan E80 Devlet karayolundan yapılmaktadır.



Şekil 1.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

Çalışma alanının kuzeyinde Bayburt ili, güneyinde Çat ilçesi, doğusunda Erzurum İl merkezi ve batısında ise Erzincan ilinin Tercan ilçesi bulunmaktadır.

2017 yılı itibariyle Aşkale ilçesinin nüfusu 23130 olup, Aziziye ilçesinin nüfusu ise 59309 dur (TÜİK, 2017). 2012 yılında Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe giren 6360 sayılı yasayla Erzurum ilindeki tüm köy yerleşim alanlarının, köy tüzel kişilikleri kaldırılarak mahalle statüsüne kavuşmuş ve Büyükşehir Belediyesine bağlanmıştır. Dolayısıyla önceden köy statüsünde olan yerleşim alanları artık mahalle olarak adlandırılmaktadır. Aşkale ilçesinde merkez mahallelerle birlikte 75 adet mahalle bulunmakta olup, bunlardan nüfus bakımından en yoğunları Kandilli (1346), Dereköy (746), Yeniköy (636), Çayköy (596) ve Merdivenköy (524) dür. Aziziye ilçesinde ise merkez mahallelerle birlikte 54 adet mahalle bulunmaktadır. Aziziye ilçesinde nüfus bakımından en yoğun yerleşim yerleri ise Başçakmak (752), Eskipolat (651), Yarımca (624), Yoncalık (601) ve Çiğdemli (595) dir.

1.5. Morfoloji

Çalışma alanı Doğu Anadolu Bölgesinin Erzurum-Kars Bölümünde Aşkale ve Aziziye sınırları içerisinde bulunmaktadır. Çalışma alanındaki başlıca morfolojik birimler, vadi tabanları, taraçalar, aşınım yüzeyleri ve tepelik alanlardır (Polat, 2003).

Yukarı Karasu Irmağı Havzası’nda, geniş yer kaplayan yapılardan birisi dağlık alanlar olup, çalışma alanı çevresindeki en yüksek noktalar Mescit Dağı (3234 m), Kargapazarı Dağları (3120 m), Dumlu Dağı (3169 m) ve Kop Dağları (2903 m) dır. Çalışma alanı içerisindeki en yüksek nokta ise 3111 metre yüksekliğinde bulunan Yolbaşı Tepesidir. Bölgedeki dağların büyük kısmı Alpin orojenezine maruz kalmış ve neotektonik hareketlerle son şekillerini almışlardır. Dağlar oldukça kırıklı ve kıvrımlıdır.

Kargapazarı Dağları, Yukarı Karasu Havzasının kuzeydoğu kısmında yükselen sıradağlardır. Kargapazarı Dağları Erzurum Ovasının doğusunda bulunan Çobandede Dağı (2453 m) ile başlar, batı yönünde yüksekliğini artırarak uzanıp Ziyaret Tepe’ye (3193 m) ulaşır.

Kop Dağları, Tercan-Çayırılı depresyonu kuzeydoğusundan başlayarak, Aşkale Boğazı kuzeyinden geçerek Koşapınar yerleşim yerinin kuzeydoğusunda sona erer. Bu kütle Çoruh Havzası ile Yukarı Karasu Havzasının sınırını oluşturmaktadır. Kütlenin güney sınırı Yukarı Karasu Havzasına dahil olup, yaklaşık 55 km uzunlukta bir eksene sahiptir.

Dumlu Dağı, Yukarı Karasu Havzası ile Çoruh Havzasını birbirinden ayıran su bölüm çizgisinin ayrıca Karadeniz Bölgesi ile Doğu Anadolu Bölgesini birbirinden ayıran sınırın geçtiği yükseltilerden biridir. Kütleinin kuzey kısmı hariç tamamı Yukarı Karasu Havzasında bulunmaktadır. En yüksek noktası Dumlu Dağı olup 3169 m yüksekliğe sahiptir. Dumlu Dağı basık bir volkan konisidir.

Morfolojik yapıların diğer bir elemanı olan Platolar, Yukarı Karasu Havzasında dağlar kadar geniş yer kaplamamakla beraber, Yukarı Karasu Havzasının çalışma alanı sınırları içerisinde kalan bölümünde sadece Ovacık (Ilıca) Platosu bulunmaktadır.

Ovacık (Ilıca) Platosu, güneyde Yeşirçöl Dağları, doğuda Mescit Dağını temsil eden Sitenk Dağı (3097 m), Yolbaşı Tepe (3119 m), Çivilikaya Tepe, Gölbaşı Tepe (3120 m) yükseltilerinin bulunduğu alan ile kuzeyde Büyük Dağ ve Çiğdem Dağı yükseltileri arasındaki plato ve tepelik alanlardan ibarettir (Polat, 2003).

Çalışma alanı içerisinde kalan en önemli ovalar, Erzurum ve Aşkale Ovalarıdır. Bu ovalar tektonik kökenli olup yükseltileri 1200-2200 metre arasında değişmektedir.

Yukarı Karasu Havzasının doğusunda bulunan Erzurum Ovası, kuzeyde Dumlu Dağı (3169 m), güneyde Palandöken Dağları (3176 m), kuzeydoğuda Kargapazarı Dağları (3120 m), batıda ise Turnagöl Dağı (2409 m) ile çevrilidir. Erzurum Ovasının batı kısmında bu ovanın tali kısımları olan Özbek ve Daphan Ovaları bulunmaktadır. Erzurum Ovasının yüzölçümü 591 km²'dir. Kabaca üçgen şeklinde gözükten ova faylarla kesilmiştir. Deniz seviyesine göre 1750-2050 m yüksekliğinde uzamaktadır.

Aşkale Ovası, Daphan Ovasının batı kısmında bulunmaktadır. Kuzey ve kuzeybatıdan Kop Dağları (2903 m), güneyde Kılıçkaya (Meyram) Dağları (2669 m), güneydoğudan Tabye volkanik kütlesi (2711 m) ile çevrilidir. Ova içerisinde yaygın olarak gözlenen bir olayda heyelanlar olup, bölgenin jeolojik, jeomorfolojik ve iklimsel özellikleri ile yakından ilişkilidir. Pırnakaban, Koşapınar, Gölveren ve Ballıtaş Mahalleleri heyelan tehdidi ile karşı karşıyadır. Özellikle Koşapınar Mahallesi çok büyük bir heyelan kütlesi üzerinde bulunmaktadır. Heyelanlar özellikle jipsli ve killi birimlerde, fay hatlarının geçtiği ve akarsu vadilerinin geçtiği alanlarda yoğunlaşmaktadır. Aşkale Ovası 26 km²'lik bir alan kaplamaktadır.

Karasu Irmağı genel olarak kuzeydoğu ve güneybatı yönlü bir akış hattı izlemekte olup bu akış hattı üzerinde iki önemli boğazdan geçmektedir. Bunlar Aşkale Boğazı ve Sansa Boğazlarıdır. Bu boğazlardan Aşkale Boğazı çalışma alanı içerisinde bulunmaktadır.

Aşkale Boğazı, Aşkale depresyonunun batısında geniş bir vadi tabanına ulaşan Karasu Irmağı örgülü bir drenaj oluşturur ve Kale Tepe civarında vadi tabanının iyice daralması sonucu bu noktadan sonra Aşkale Boğazı ismini almaktadır. Karasu Irmağı boğazda batı yönünde yaklaşık 38-40 kilometrelik bir akış izleyerek Kenetepe yakınlarında boğazı terk etmektedir. Aşkale Boğazının sınırları kuzeyde Kop Dağları (2903 m) ve güneyde Meyram Dağları (2669 m) arasında gelişmiştir. Boğaz Aşkale depresyonu ile Tercan-Çayırılı depresyonlarını birbirine bağlamaktadır (Polat, 2003).

Serçeme Çayı Vadisi, Karasu Irmağı'nın önemli kollarından birisidir. Serçeme Çayının başlangıç noktası Gaban Deresi olup, Büyükçay, Sırlı, Karalı, Kuzgun, Kamışlı adıyla bilinen kolları vardır. Uzunluğu yaklaşık 72 km olup genel olarak kuzeydoğu-güneybatı eksenli bir akış yönüne sahiptir. Serçeme Vadisinin kapladığı alan konusunda tam bir görüş birliği bulunmamaktadır. Özey (1993) tarafından yapılan araştırmada 705 km², Kafalı (1992) tarafından yapılan araştırmada ise 597 km² olarak belirtilmiştir.

1.6. İklim ve Bitki Örtüsü

Erzurum ve çevresinin iklim tipi, karasal iklimdir. Kışları çok şiddetli ve uzun, yaz ayları ise kısa ve sıcak geçmektedir.

Bölgede iklimsel verilerin takibi ve tasnifi Erzurum il merkezinde bulunan Meteoroloji 12. Bölge Müdürlüğü binası ve 30 gözlem istasyonu ile kesintisiz olarak yapılmaktadır. Erzurum Meteoroloji İstasyon verilerine göre 1929-2018 yılları arasına ait ortalama aylık sıcaklık değerleri Tablo 1.3'de verilmektedir.

Tablo 1.3. Erzurum iline ait ortalama aylık sıcaklık verileri (www.mgm.gov.tr).

Ölçüm Periyodu (1929 - 2018)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Tem	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Sıcaklık (°C)	-9.2	-7.7	-2.4	5.4	10.7	14.9	19.3	19.5	14.7	8.1	1.0	-5.9	5.7
En Yüksek Sıcaklık(°C)	-4.0	-2.4	2.6	10.9	16.8	21.7	26.5	27.2	22.6	15.1	6.8	-1.0	11.9
En Düşük Sıcaklık (°C)	-14.0	-12.6	-7.1	0.0	4.4	7.3	11.2	11.2	6.5	1.8	-3.7	-10.3	-0.4
Güneşlenme Süresi (saat)	3.2	4.4	5.1	6.3	7.9	10.2	11.2	10.7	9.0	6.8	4.8	3.1	82.7

Meteoroloji İşleri genel Müdürlüğü verilerine göre hazırlanan Tablo 1.6 incelendiğinde Erzurum ilinde yıllık ortalama sıcaklık 5.7 °C'dir. Yıllık ortalama en yüksek sıcaklık değeri Ağustos ayında 27.2 °C ve yıllık ortalama en düşük sıcaklık değeri -14 °C

olarak Ocak ayında ölçülmüştür. 1929-2017 yılları arasında ölçülen en büyük sıcaklık değeri 11.08.2006 tarihinde 36.5 °C ve en düşük sıcaklık değeri 28.12.2002 tarihinde -37.2 °C olarak ölçülmüştür.

Erzurum Meteoroloji İstasyon verilerine göre 1929-2018 yılları arasına ait ortalama aylık yağış değerleri Tablo 1.4’de verilmektedir.

Tablo 1.4. Erzurum iline ait ortalama aylık yağış verileri (www.mgm.gov.tr).

Ölçüm Periyodu (1929 - 2017)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Yağışlı Gün Sayısı	11.3	11.1	12.4	13.7	16.2	11.0	6.7	5.2	5.2	9.7	9.3	10.7	122.5
Aylık Yağış Miktarı (mm)	22.5	26.8	34.9	53.0	73.8	49.0	26.6	17.7	23.5	48.3	33.1	22.8	432.0

Erzurum Meteoroloji İstasyonu verilerine göre il genelinde ortalama yıllık yağış miktarı 432 mm’dir. Aylık ortalama yağış miktarlarına göre en fazla yağışın düştüğü ay Mayıs ayı olup bu aya ait ortalama yağış miktarı 73.8 mm olarak ölçülmüştür. Yağışın en az görüldüğü Ağustos ayında ise uzun yıllara ait ortalama yağış miktarı değeri 17.7 mm olarak ölçülmüştür.

Çalışma alanının büyük kısmını oluşturan Aşkale ilçesinde iklime bağlı olarak gelişen toprak yapısı genel olarak kestane renkli topraklardır.

Karasal iklimin hâkim bitki örtüsü step formasyonlarıdır. Özellikle Aşkale Boğazının kuzeye bakan yamaçlarında karaçam, ardıç ve meşe türlerinden oluşan ağaç toplulukları gözlenmektedir. Yukarı Karasu Vadisinin eski yatağı boyunca ise zengin bitki türleri (hidrofil bitkiler, söğüt, kavak) gözükmemektedir (Sever, 1996).

1.7. Literatür Çalışmaları

Erzurum il geneli ile çalışma alanı ve yakın çevresinde genel jeoloji ve maden jeolojisine yönelik çalışmalar özellikle MTA tarafından yapılmış olup, aşağıda bu çalışmalardan bazıları özet halinde verilmiştir.

Ayrıca tez konusu olan heyelan duyarlılık analizleri konusunda Erzurum il genelinde duyarlılık, tehlike ve risk analizlerine yönelik bir çalışma yapılmamış olup, dünyada ve Türkiye’de ise heyelan duyarlılık araştırmalarıyla ilgili çalışmalar gün geçtikçe artarak devam etmektedir. Yine bu başlık altında konu ile ilgili çalışmalardan bazıları özetlenmiştir.

1.7.1. İnceleme Alanı ve Yakın Çevresiyle İlgili Jeolojik Çalışmalar

Erzurum bölgesinin öncü jeoloji çalışmaları, Lahn (1939, 1940, 1948); Erinç (1953); Erentöz (1949, 1954a, b) ve Altınlı (1963, 1964) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucu, yörenin önemli kaya türleri ve stratigrafisi genel çizgileriyle belirlenmiştir. İnceleme alanında daha sonra, bir bölümü MTA harita arşivinde korunmuş olan 1/25.000 ölçekli ayrıntıda pek çok çalışma yapılmıştır (Akkuş, (1965); Arpat, (1965); Rathur, (1965); İlker, (1966); Erdoğan, (1966, 1972); Sungurlu, (1971); Tanrıverdi, (1972)). Erdoğan ve Soytürk (1974)'ün çalışmaları, 1/25000 ölçekli çalışmaların bir bileşimi niteliğindedir. Yılmaz vd., (1986, 1988a ve 1988b) ise yapılan çalışmaları irdeleyerek ve arazide de gözden geçirerek yörenin 1/100000 ölçekli jeoloji haritalarının hazırlanmasına katkıda bulunmuşlardır. Erzurum ilinde yapılan jeolojik çalışmalardan bazılarını aşağıda kısaca değinilmiştir.

Lahn (1939), “Karasu ile Çoruh (Erzurum Vilayeti) Arasındaki Mıntıkada Yapılan Jeolojik Tetkikata Dair Rapor” isimli çalışmasında, Aziziye güneyindeki dreissensial çökelleri Kuvaterner'e dahil edilip, kuzeydeki volkaniklere Geç Eosen – Oligosen yaşı vererek şistleşmiş andezit grubu altında olduğunu belirtmiştir. Ayrıca ilin güneyindeki volkanik birimlere de Miyosen-Geç Miyosen yaşı vererek bölgedeki yükselme hareketlerinin Pliyosen başlarında başladığını ileri sürmüştür.

Lahn (1940), “Erzurum Havalisinin Jeolojik Bünyeleri” isimli çalışmasında, Erzurum civarındaki volkanik kütleleri, Geç Miyosen yaşlı bazalt serisi ve Helvesiyen yaşlı şistleşmiş andezit olmak üzere iki seriye ayırarak, Alp orojenezi sonrası dikey hareketlenmenin başladığını ve bu hareketlerin derin graben tarzında çöküntü havzalarını oluşturduğunu belirtmiştir.

Erinç (1953), “Doğu Anadolu Coğrafyası” isimli çalışmasında, bölgenin genel morfolojik özelliklerini açıklamış ve Erzurum Havzasının hakiki bir graben olduğuna dikkat çekmiştir.

Altınlı (1966), “Geology of Eastern and Southeastern Anatolia” isimli çalışmasında, sahadaki genel jeolojik özellikleri belirleyerek, havza kenarındaki çökellere Ponsiyen yaşı vermiş ve dağlık alanlardaki volkanik birimleri andezit grubuna dahil etmiştir. Palandöken Dağlarında bulunan volkanik birimlerin Miyosen yaşlı çökeller üzerine geldiğini açıklamıştır.

Akkuş (1965), “Pasinler (Hasankale) Havzasının 1/25000 Ölçekli Detay Petrol Etüdü Raporu” isimli çalışmasında Pasinler kaplıcalar civarında uzun zamandan beri bilinmekte

olan petrol sızıntılarının sebebini araştırmıştır. Sonuçta bu alanda yüzeyleyen alüvyon biriminin altında doğu-batı istikametli bir fayla petrol sızıntılarının ilişkili olduğunu ortaya koymuştur.

Arpat (1965), “Ilıca-Aşkale (Erzurum ili) Arasındaki Sahanın Genel Jeolojisi ve Petrol İmkanları” isimli çalışmasında, bölgeyi ayrıntılı olarak incelemiş Erzurum Ovasının batı kısmında uzanan tatlı su çökellerini Pliyosene dahil ederek bu birimlere Gelinkaya Formasyonu ismini vermiştir. Ayrıca Miyosen sonundaki şiddetli volkanik aktivitelere bağlı olarak bazaltik lavların oldukça geniş bir alanda tatlısu çökellerinin altında uyumsuz olarak bulunduğunu belirtmiştir.

Yılmaz ve Uysal (1988a), “Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Erzurum F-32 Paftası” isimli çalışmalarında 1/100000 ölçeğinde bu paftanın jeoloji haritasını oluşturmuşlardır. İncelemeler sonucu en altta bulunan kayaları, beş birim halinde ayırtlamışlardır. Bunların, Akdağ Metamorfileri ve bunların üzerinde bindirmeler ile bulunan ofiyolitli karmaşığın birimleri olduğunu belirtmişlerdir.

Yılmaz vd., (1988b), “Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Erzurum F-33 Paftası” isimli çalışmalarında 1/100000 ölçeğinde bölgenin jeoloji haritasını oluşturmuşlardır. Araştırmacılar bu çalışmalarında önceki çalışmalarıyla aynı birimleri denestirip birimleri aynı formasyonlara toplamışlardır. Toplamda altı formasyonda bölgeyi ayırtlamışlardır. Bunlardan Akdağ Metamorfileri ve bunların üzerinde bindirmeler ile bulunan ofiyolitli karmaşık biriminden farklı olarak, Tozlu Yayla Granotoyitlerini ayırtlayarak haritalandırmışlardır.

Tarhan (1990), “Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Erzurum G-33 Paftası” isimli çalışmasında 1/100000 ölçeğinde bu paftaya ait bölgenin jeoloji haritasını hazırlamıştır. Çalışmalar sonucunda bölgede Paleozoyik yaşlı kaya birimlerinin yezelediğini belirterek en altta bulunan kayaların, Hınıs Metaofiyolitlerine ait olduğunu belirtmiştir. Hınıs Metaofiyolitleri üzerinde ise Akdağ Metamorfileri ve ofiyolitik karışıkların bulunduğunu belirtmiştir.

Bozkuş, (1992), “Olur (Erzurum) Yöresinin Stratigrafisi” adlı çalışmasında yöredeki birimlerin Permo-Karboniferden günümüze kadar çeşitli fasiyeslerde geliştiğini inceleme alanının temelini Permo-Karbonifer yaşlı magmatiklerin oluşturduğunu belirtmiştir. Magmatikler üzerine uyumsuz olarak volkano tortullardan oluşan Liyas yaşlı birimlerin geldiğini, bu biriminde üzerine uyumsuz olarak Jura-Erken Kretase yaşlı kireçtaşlarının geldiğini belirtmiştir. Liyas da başlayan denizel çökmenin Geç Kretase sonuna kadar

devam ettiği belirtilen çalışmada, Oligosende karasal kırıntılarının oluştuğu belirtilmektedir. Tüm bu birimlerin üzerinde ise Pliyo-Kuvaterner yaşlı volkanitlerin uyumsuz olarak üzerlediğini belirtilmiştir.

Yılmaz ve Bozkuş (1993), “Tercan (Erzincan)-Aşkale (Erzurum) Arasının Tektoniği” isimli çalışmada Geç Kretase-Oligosen döneminde bölgenin sıkışma tektoniğine bağlı olarak ofiyolitli karışıklardaki yapısal unsurları incelemişlerdir. Araştırmalar sonucunda bölgenin sıkışma gerilimi (K-G yönlü) etkisinde olduğunu ve bunun neticesinde bölgede birçok tektonik yapının geliştiğini belirtmişlerdir.

Güven (1998), “Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Tortum D-31 Paftası” isimli çalışmasında 1/100000 ölçekli paftanın jeoloji haritasını hazırlamıştır. İncelemeler sonucu Pontitlerin doğu kesiminde yer alan inceleme alanında şiddetli magmatik aktivitelerin gerçekleştiğini bunun sonucunda bölgede Kaçkar Granotoidi isimli birimlerin oldukça fazla yayılım gösterdiğini belirtmiştir. Ayrıca bölgedeki birimlerin Menezoyik ve Senezoyik yaşlı birimlerden oluştuğunu vurgulamıştır.

Tarhan (1998), “Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Erzurum F-31 Paftası” isimli çalışmasında 1/100000 ölçeğinde bu paftanın jeoloji haritasını oluşturmuştur. Araştırmalar sonucu bölgede yüzeyleyen birimlerin tabanında Karbonifer- Geç Kretase yaşlı Anadolu Volkanosedimanter serisinin yer aldığını belirtmişlerdir. Bu birimi Erken Paleozoyik yaşlı Hınıs Metaofiyolitleri (peridotitler) izlemektedir. Bu biriminde üzerine uyumsuz olarak Mollakuladere ve Adilcevaz Formasyonlarının geldiği araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir. Çalışma alanında özellikle KB-GD yönlü aktif fayların bulunduğu ve bu fayların Kuzey Anadolu Fay (K.A.F.) sistemine uygun geliştiği çalışmada vurgulanmıştır.

Yıldırım ve Parlak (2008), “Tekman-Pasinler (Erzurum) Arasında Yüzeyleyen Ofiyolitik Birimlerin Jeolojisi ve Petrografik zellikleri” isimli çalışmalarında, yaklaşık 200 km²’lik bir alandaki ofiyolitik birimleri incelemiş ve bu birimleri metamorfitletler, ofiyolitik karışık, ofiyolit naplar olmak üzere 3 yapısal birime ayırtlamışlardır. Çalışmanın ana konusunu oluşturan ofiyolitik napları şahvelet Ofiyoliti olarak adlandıran araştırmacılar, bu birimin dalma-batma zonlarında gelişen magmatiklerden oluştuğunu belirtmişlerdir.

Aslan (2010), “Mahmutavuş Cu-Pb Cevherleşmesinin Jeolojik zellikleri” isimli çalışmada Narman ilçesine bağlı Mahmutavuş Mahallesi civarındaki Cu-Pb cevherleşmelerinin jeolojik incelemesini yapmış ve damar tipli cevherleşmenin; tektonik olaylar sonucu Miyosendeki volkanik aktivitelere bağlı olarak kırık hatları boyunca çıkan

çözeltilerin, Oligo-Miyosen yaşlı volkanikler içerisine yerleşmesi sonucunda oluştuğunu belirtmişlerdir.

Yılmaz vd., (2016), Oltu-Balkaya Havzasının (KD Türkiye) Tektonik Konumu ve Geç Kretase Sonrası Jeolojik Evrimi” isimli çalışmasında, Oltu-Balkaya havzasının Geç Maastrichtiyen-Erken Eosen döneminde çarpışma evresi, Orta Eosen-Erken Pliyosen döneminde çarpışma sonrası ve Geç Pliyosen’den günümüze kadar ise doğrultu atımlı rejimin egemen olduğu üst üste gelişen bir havza olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

1.7.2. Heyelanlara Yönelik Çalışmalar

Literatür araştırmalarına göre, dünyada ve Türkiye’de, farklı parametreler ve yöntemler kullanılarak heyelan duyarlılığının değerlendirildiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Heyelan duyarlılık araştırmalarında, özellikle son yıllardaki teknolojik gelişmeler, uydu görüntülerinin netliği ve kullanımının artması ayrıca CBS yazılımlarının yaygınlaşması gibi etkenlere bağlı olarak, son 15-20 yıl içinde önemli bir artış olduğu söylenebilir. Bu kapsamda yapılan çalışmaların bazıları aşağıda verilmektedir.

Gupta and Joshi (1990), heyelan duyarlılık ve tehlike değerlendirmelerinde coğrafi bilgi sistemiyle kullanılabilecek bir yöntem geliştirmek amacıyla yaptıkları çalışmada, Ramganga havzasının heyelan duyarlılık haritasını üretmişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları heyelan envanterini, hava fotoğrafı yorumlamaları ve arazi çalışmalarıyla elde etmişlerdir. Duyarlılık çalışmalarında parametre olarak; litoloji, arazi kullanımı, ana faylara yakınlık ve yamaç bakılarını kullanmışlardır. Kullandıkları yöntemle üretilen “Heyelan nominal risk faktörü” indeksi değeri ile inceleme alanını heyelan duyarlılığı açısından düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç sınıfa ayırmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre, sismik aktivite ve yağış parametrelerinin heyelan oluşumunda son derece önemli olduğuna dikkat çekmişlerdir. Ancak bu parametrelerde yeterli ve güvenilir veriye ulaşılamaması nedeniyle değerlendirmelerde kullanılmadığını vurgulamışlardır.

Carrara vd., (1991), tarafından Tescio (İtalya) havzasında yapılan çalışmada heyelan tehlike değerlendirme yöntemlerinden diskriminant analizi kullanılmıştır. Bu çalışmada litoloji, yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, süreksizlik yönelimi ile yamaç yönelimi arasındaki ilişki, eklem pürüzlülük katsayısı ve arazi kullanım potansiyeli gibi yüksek özdeğerlerle temsil edilen parametreler kullanılmıştır. Analiz sonucunda standart diskriminant fonksiyonları elde edilmiştir. Bu parametrelere ilişkin verilerin toplanması,

değerlendirmesi ve sınıflandırmasını CBS yazılımları ile istatistiksel kantitatif yaklaşımı kullanarak yapmışlardır. Sonuç olarak; CBS teknolojilerinin veri toplama, işleme ve analiz işlemlerinde kolaylık sağladığını, çalışmalarını sonucunda üretilen bilgilerin önemli ölçüde doğru olduğunu vurgulamışlardır.

Moore vd., (1991), Kütlesel hareketlerin dağılımlarını ve nedenlerini ortaya koymak amacıyla, Filipinler'in Aurora Bölgesi'nde yaptıkları çalışmada, hava fotoğrafı, uydu görüntüsü ve arazi çalışmalarından faydalanarak, bölgedeki mevcut heyelanları tespit etmişlerdir. Heyelan yoğunlukları ile litoloji, eğim, yükseklik ve toprak kalınlığı parametrelerinin arasındaki ilişkileri araştırarak, sonuçta özellikle sismik aktivite ve tropikal yağışların heyelanlar üzerinde tetikleyici bir etkiye sahip olduklarını belirlemişlerdir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada tespit ettikleri heyelanların, % 24'ünün doğal yollarla oluştuğunu ortaya koyarken diğer heyelanların, ormanlık alanların yok edilmesi ve yol yapımı gibi insan kaynaklı faktörler sonucunda oluştuğunu belirtmişlerdir.

Pachauri ve Pant (1992), Himalayalarda Aglar Nehri Havzasının heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, arazi parametreleri ve heyelanlar arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Himalayalara ait sınıflandırılmış arazi veri tabanı haritasında jeolojik ve jeomorfolojik parametrelerin nicel hesaplamalarına dayalı yapılan ilk heyelan duyarlılık analizi çalışmasıdır. Bu çalışma iki aşamalıdır. Birinci aşamada arazi, kendi içinde fizyografik benzerlik gösteren homojen birimlere ayrılmıştır. Her bir birime, heyelan ve jeolojik özellikler arasındaki karşılıklı ilişkiye bağlı derecelendirme sistemine göre puan verilmiştir. Araştırmacılar her bir parametreyi kendi içinde sınıflandırarak, sekiz parametre için ağırlık değerlerine göre 3 ile 11 arasında değişen puanlar kullanmışlardır. Sonuç olarak; inceleme alanı için çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük duyarlı sınıflarından oluşan, heyelan duyarlılık haritasını üretmişlerdir.

Gökçeoğlu ve Aksoy (1996), Kuzey Anadolu fay hattının yaklaşık 10 km kuzeyinde Mengen çevresinde bulunan Gökçesu ve Pazarköy arasında kalan 120 km²'lik bir alanda istatistik ve deterministik yöntemlerle heyelan duyarlılık çalışması yapmıştır. Çalışmada toprak zeminlerin makaslama dayanım parametreleri, yamaç yönelimi, yamaç eğimi, yükseklik değerleri, ana faylara olan mesafeler kullanılmıştır. Heyelanların aktivite durumlarının takibi için çalışılan alan ile ilgili farklı zamanlarda çekilmiş Spot uydu görüntüleri kullanılmış ve yukarıda belirtilen parametreler için ayrı ayrı haritalar üretilmiştir. Tüm bu haritaları üst üste koyarak son bir harita elde etmişlerdir. Kuzey Anadolu Fayı'na yaklaşık 10 km uzaklıkta bulunan inceleme alanında, heyelanların yaklaşık %88'inin ana

faya 250 m'den daha yakın mesafede oluştuğunu tespit eden araştırmacılar, bu haritada bir sınıflandırma yapmış ve beş bağıl duyarlılık sınıfı oluşturmuşlardır. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde çakıştırma yöntemini kullanan araştırmacılar, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelere farklı ağırlık değerleri atayarak deneme-yanılma yöntemiyle heyelan duyarlılığı değerlendirmeleri yapmışlardır. Söz konusu haritalar ile mevcut heyelan dağılımını karşılaştıran araştırmacılar, kullanılan parametre ağırlıklarının değiştirilmesinin heyelan duyarlılığı üzerinde çok fazla etkili olmadığını, her bir parametrenin eşit ağırlıkta kullanılması ile üretilen haritaların en iyi sonucu verdiğini belirlemişlerdir.

Van Westen vd., (1997), heyelan duyarlılık ve tehlike haritalarının oluşturulmasında literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin, genel olarak özellikleri, üstünlük ve sınırlanmalarını ortaya koyan bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada alan büyüklüklerini dikkate alarak, heyelan araştırmalarında kullanılan yöntemleri genel olarak üç sınıfa ayırmışlardır. Bunlar küçük ölçekli çalışmalarda kullanılan nitel yöntemler, orta ölçekli çalışmalarda kullanılan istatistiksel analizleri kapsayan nicel yöntemler ve büyük ölçekli çalışmalarda kullanılan deterministik yaklaşımlardır. Bu yöntemlerde çalışma alanı içerisindeki heyelanların alansal yayılımları ve türlerinin bilinmesinin, uygulanan yöntemlerde bir gereklilik ve belirleyicilik olduğunu bildirilmiştir. Araştırmacılar deneyim ve hava fotoğraflarının nitel haritalama yönteminde önemli olduğunu, fakat nitel analizlerin pratikte kullanımının sınırlı olduğunu vurgulamışlardır. Daha büyük alanlar için kullanılan çok değişkenli istatistiksel yaklaşımda hücrelerin homojen alanları temsil edecek şekilde seçilmesi gerekliliği vurgulamışlardır. Heyelan oluşumuna neden olan parametrelerin katkı derecelerinin belirlenmesinde basit yoğunluk fonksiyonlarının iki değişkenli istatistik analizde kullanılabileceği, ancak ilgili değişkenler için normalleştirme yapılmasının bir gereklilik olduğu belirtilmiştir. Ayrıca istatistiksel analizlerde büyük alanlardan toplanması gerekli veriler için harcanan para ve zamanın en önemli sorun olduğunu vurgulamışlardır. Bu sorunun uygulamada “harcanan para/elde edilen fayda” oranına bakılarak temsili küçük bir alanın seçilmesi ile aşılabileceğini belirtmişlerdir.

Atkinson ve Massari (1998), tarafından İtalya, Apennines merkezindeki küçük alanlar için genelleştirilmiş lineer modelleme yöntemini kullanarak, heyelanlar ile çeşitli bağımsız değişkenler (jeoloji, tabakaların doğrultu eğim değerleri, yamaç yönelimi) arasındaki ilişkiyi analiz etmişlerdir. Çalışmada, jeoloji, eğim, doğrultu, tabaka-yamaç arasındaki ilişki, eğim yönü, çizgisellik yoğunluğu ve şev açısı gibi heyelanlarla ilişkili bağımsız değişkenler

parametre olarak seçilmiştir. Çalışmada ayrıca arazi gözlemlerinden, heyelan raster haritalarından, hava fotoğraflarından, topoğrafik haritalardan ve jeoloji haritalarından faydalanılmıştır. Analizlerde lineer modelleme yöntemlerinden mantıksal regresyon yöntemi kullanarak, analiz sonucunda heyelanlara sebep olan en önemli faktörlerin jeoloji ve yamaç eğimi olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmada bölgedeki heyelanlar, aktivite durumlarına göre sınıflandırılarak her biri için doğrusal model elde edilmiştir. Jeoloji ve yamaç eğimi her bir modelde en önemli parametre olurken, eğim, yamaç yönelimi ve doğrultu gibi diğer bağımsız değişkenlerin heyelan aktivitesinde daha az önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. Sadece aktif heyelanlar için, ilave bağımsız değişkenler (bitki örtüsü, toprak kalınlığı, dik yönde eğrilik, yatay eğrilik, yamaçların iç bükeyliği) modele eklenmiş ve analiz sonuçlarında bitki örtüsü ve yamaçların iç bükey olmasının heyelanların oluşumunda jeoloji ve yamaç eğiminden çok daha önemli parametreler olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Zeze vd., (1999), Lizbon'un kuzey bölümünde, beş örnek alan için öncelikle detaylı arazi çalışmaları ile 1/2000 ölçeğinde bir envanter haritası hazırlamışlardır. Araştırmacılar heyelan envanterinde, 61.6 km²'lik bir alan içinde 574 heyelan tanımlamış ve bu heyelanların hazırlayıcı ve tetikleyici faktörlerle olan ilişkilerini irdelemişlerdir. Yamaçlarda gözlenen kütleli hareketlerin, hangi litolojik birimlerde gerçekleştiği oransal olarak ifade edilmiştir. Benzer şekilde, meydana gelen heyelanlarda insan faaliyetleri gibi (şev kazısı, dolgular, nehirlerdeki çevirme kanalları vs.) tetikleyici etkenlerin de toplam heyelanlar içerisindeki oranı belirlenmiştir.

Wang ve Sassa (2005), tarafından Japonya'nın Minamata bölgesinde heyelan duyarlılık yöntemlerini karşılaştırdıkları çalışmalarında, niceliksel ve niteliksel yöntemler kullanarak değerlendirmelerde bulunmuşlar ve yöntem olarak mantıksal regresyon analizini kullanmışlardır. Heyelan envanteri haritasını 1999 ve 2002 yıllarında çekilen hava fotoğraflarından yararlanarak oluşturmuşlardır. Çalışma alanında toplam 160 adet heyelan tanımlayarak, çalışma alanının litolojisini, topoğrafik özelliklerini, arazi kullanımını gibi veri setleri ile analiz yapılmıştır. Çalışmada; heyelan oluşumunu etkileyen faktörler ile heyelan duyarlılık haritaları arasındaki ilişkiler farklı yöntemlerle ifade edilerek elde edilen sonuçlar 4 duyarlılık sınıfına ayrılmıştır.

Thiery vd., (2007), tarafından Güney Fransa Alplerinde iki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada, karmaşık dağ yapıları için büyük ölçekte heyelan duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada son 10 yıl içerisinde heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin önemli bir araştırma konusu haline geldiğinin ve en çok

ilerlemenin orta ölçekli (1/50.000-1/25.000) heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında sağlandığı belirtilmiştir.

Çan vd., (2007), tarafından Batı Karadeniz Bölümünde üç farklı havzada (Agustu, Eğerci ve Kelemen Havzaları) oluşan akma ve kayma şeklinde heyelanlara dair değerlendirmeler yapılmıştır. Duyarlılık değerlendirmelerinde mantıksal regresyon analizi yönteminden yararlanmışlardır. Çalışmada haritalama ünitesi olarak kayma türü heyelanlar için yamaç birimlerini, akma türü heyelanlar için ise tek durum ünitelerini kullanmışlardır. Çok değişkenli istatistik analiz yönteminde, her iki duyarlılık türü (kayma, akma) için heyelan oluşma olasılığına karşılık gelen duyarlılık seviyelerini beş eşit aralıkta sınıflamışlardır.

Mazman ve Çan (2007), tarafından Kumluca havzasında (GD Bartın) yapılan çalışmada, yamaç birimleri yerine harita birimi olarak grid hücre birimlerini kullanılmışlardır. Araştırmacılar 340 km²'lik çalışma alanını 25x25m boyutunda çözünürlüğe sahip 544610 adet pikselle (grid hücre) tanımlarken, heyelanlı alanları ise 78298 adet pikselle tanımlamışlardır. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde mantıksal regresyon yöntemini kullanan araştırmacılar, veri seti olarak arazi kullanımı, jeoloji, yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, düzlemsel ve kesit yamaç eğrileri, nehir aşındırma indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi parametrelerini göz önünde bulundurmuşlardır. Duyarlılık değerlendirmelerini % 20 eşit olasılık aralıklarla bölerek çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı olmak üzere beş sınıflama yapmışlardır. Analiz sonucunda bölgenin % 27'sinin yüksek ve çok yüksek duyarlı sınıfında bulunduğunu belirtmişlerdir.

Nefeslioğlu vd., (2008), Kelkit Vadisi'nin bir bölümünde çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında mantıksal regresyon yöntemi kullanarak dört farklı veri seti oluşturmuştur. Veri setlerinde topoğrafik faktörler ile litolojik faktörleri birlikte kullanılmışlardır. Çalışmada heyelanları % 50 oranında ikiye ayırarak, analiz ve test verisi olarak kullanmışlardır. Yapılan duyarlılık çalışmasının yüksek oranda doğruluk gösterdiğini belirtmişlerdir.

Akgün ve Türk (2010), çalışmalarında, Ayvalık ilçesi (Balıkesir) ve yakın çevresini inceleme alanı olarak seçmişlerdir. Çalışma alanında, 45 adet heyelan haritalanarak envanter haritası oluşturulmuştur. Araştırmada parametre olarak yamaç eğimi, yamaç yönelimi, litoloji, ayrışma durumu, akarsu gücü indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, drenaj ağına uzaklık, yapısal unsurların yoğunluğu, arazi ve bitki örtüsü yoğunluğunu kullanmışlardır. Her bir parametrenin heyelan oluşumuna katkısı benzerlik oranı, mantıksal regresyon ve

analitik hiyerarşi yöntemleri ile incelenmiş ve bu parametrelerin ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Araştırmacılar, her bir yöntemle belirledikleri ağırlık değerlerini dikkate alarak heyelan duyarlılık haritalarını üretmişlerdir. Üretilen haritaların performans değerleri hesaplanarak birbiriyle karşılaştırılmış ve sonuçta inceleme alanı için heyelan duyarlılık değerlendirmesinde en başarılı yöntemin, analitik hiyerarşi yöntemi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Eker vd., (2012), Bartın ili, Ulus ilçesi civarında yapmış oldukları heyelan duyarlılık çalışmasında yapay sinir ağı (YSA) ve logistik regresyon (LR) yöntemlerini karşılaştırmıştır. Çalışmada Maden Tetkik ve Araştırma Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Heyelan Envanter Haritası temel alınarak analizlerinin tamamı aktif heyelanlara dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı 250x250 m'lik hücelere bölünerek, çekirdek (Kernel) yoğunluğu yöntemini uygulanmıştır. Araştırmacılar çalışmalarında, bağımlı değişken kalibrasyon ve bağımsız değişken doğrulama olarak iki veri seti oluşturmuşlardır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi LR ve YSA yöntemlerini kullanarak karşılaştırmışlardır. Çalışmada YSA yönteminin daha doğru sonuç verdiğini belirten araştırmacılar, YSA yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritasında, çalışma alanının % 27 çok yüksek ve % 25 yüksek duyarlı sınıfta çıktığını belirtmişlerdir.

Dağ ve Bulut (2012), tarafından yapılan heyelan duyarlılık çalışmasında, Rize ili Çayeli ilçesinde 2002 yılı Temmuz ayında sağanak yağış sonucunda meydana gelen 149 adet heyelan haritalanarak bu heyelanların meydana geldiği alanın heyelan duyarlılığı araştırılmıştır. Çalışmada inceleme alanına ait topoğrafik ve tematik haritalar kullanılarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanında parametre haritalarını üretmişlerdir. Parametre olarak, litoloji-ayırışma, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, arazi kullanımı, yükseklik, akarsuya yakınlık faktörleri değerlendirilmiştir. Araştırmacılar, üretilen haritaları mevcut heyelanlarla ilişkilendirerek her bir parametreye ait frekans oranı değerini belirlemişlerdir. Değerlendirmelerinde, tamamen ayrıışmış dasit ve piroklastitleri ile tamamen ayrıışmış andezit-bazalt ve piroklastitlerinin heyelan oluşumunda etkili olduğunu, eğim sınıflarından 0°-20° arasının, yamaç eğim yönü sınıflarından kuzey-kuzeydoğuya bakan yamaçların, topoğrafik yükseklik sınıflarından 0-200 m arasındaki yükseklik sınıflarının diğer değerlere göre heyelan oluşumunda etkili olduğunu söylemişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında, ürettikleri heyelan duyarlılık haritasında beş sınıf oluşturarak, mevcut heyelanlarla karşılaştırılmış ve mevcut heyelanların % 81'inin duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda bulunduğunu ifade etmişlerdir.

Mazman ve Çan (2013), Mersin ili kuzeyinde, yaklaşık 400 km²'lik bir alanda çalışma yapmış, mantıksal regresyon yöntemi kullanarak heyelan duyarlılık haritaları üretmiştir. Araştırmacılar daha sonra ürettikleri haritaların tahmin yeteneği ve doğruluğunu farklı yöntemler kullanarak test etmişlerdir. Çalışmada rastgele seçim yöntemi ile heyelan envanter haritasının % 80'i analiz ve % 20'si test verisi olacak şekilde kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, araştırmacılar başarı ve tahmin oranı eğrilerine göre analiz verisi heyelanlarının % 75.51-86.85'inin, test verisi heyelanlarının ise % 70-82.64'ünün yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda olduğunu ifade etmişlerdir.

Özşahin (2013), tarafından Hatay ili genelinde heyelan duyarlılık değerlendirmesi çalışması yapılmıştır. Çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri destekli Mora ve Vahrson (1994) tarafından geliştirilen heyelan duyarlılık modeli kullanılarak heyelana etkisi olduğu düşünülen sebep ve tetikleyici faktörlerin yer aldığı formülden yararlanılmıştır. Faktör haritalarının üretilmesinde, Harita Genel Müdürlüğü'nün (HGM) 1/25000 ölçekli topoğrafik haritaları altlık olarak kullanılmıştır. Ayrıca çeşitli ölçeklerde hazırlanmış jeoloji, toprak nemlilik indeksi ve diri fay haritaları ile 1970-2012 yılları arasındaki zaman dilimini kapsayan meteoroloji verilerinden yararlanılmıştır. Çalışma sırasında kullanılan faktörlere ait haritalar yöntemde belirtilen ağırlık değerlerine göre 50x50 m çözünürlüğündeki grid haritalara dönüştürülerek formül içeriği doğrultusunda birleştirilerek heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Çalışma sonucunda, Hatay ili genelinde Güney Amanos Dağları'nın heyelanlar açısından en yüksek duyarlı alanlar olduğu ifade edilmiştir.

Tekin vd., (2015), çalışmalarında Matlab ve CBS yazılımlarından yararlanılarak Karaman, Mersin, Adana, Osmaniye ve Hatay il sınırlarını kapsayan toplam 50641 km²'lik bir alanda, yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık analizleri yapmışlardır. Araştırma bölgesinde MTA tarafından hazırlanan, Türkiye Heyelan Envanteri veri tabanına göre 1451 adet heyelanın olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmada duyarlılık değerlendirme aşamasında heyelanları hazırlayıcı faktörler olarak litoloji grupları yanı sıra, 300 m mekânsal çözünürlüğe sahip sayısal yükseklik modeli, yamaç eğimi, kesit, düzlem ve teğetsel yamaç eğrilikleri, pürüzlülük indeksi, eğim-yamaç yönelimi oranı, yüzey rölyef oranı olmak üzere, toplam dokuz adet değişkenden faydalanılmıştır. Üretilen duyarlılık haritalarının performans değerlendirmeleri başarı-tahmin eğrileri kullanılarak yapılmış, analiz, test ve doğrulama veri setlerinde heyelanların % 84-86'sinin, orta - çok yüksek duyarlı alanlarda yer aldığı ve yüksek - çok yüksek duyarlı alanların ise çalışma alanının % 17'sine karşılık geldiği belirtilmiştir.

Kavzoglu vd., (2015), tarafından Trabzon ili Düzköy civarında bulunan heyelanlı alanlarda çalışma gerçekleştirilmiştir. Çalışmada mantıksal regresyon, ağırlıkların oranlanması ve karar ağacı yöntemleri kullanılarak üretilen duyarlılık haritaları karşılaştırılmıştır. Çalışmada WorldView-2 (Wv-2) uydu görüntüsü kullanılarak çalışma alanı RotFor (Rotation Forest) algoritmasıyla nesnel olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca analizlerde performansları iyi bilinen SVM (Support Vector Machine), RF (Random Forest) ve NN (Nearest Neighbour) sınıflama algoritmaları da kullanılmıştır. Analizlerde parametre olarak ise yamaç eğimi, litoloji, arazi kullanımı, drenaj yoğunluğu, topoğrafik nemlilik indeksi, zemin özellikleri ve normalize edilmiş bitki indeksleri kullanılmıştır. Yapılan analizleri, eğrinin altında kalan alan (AUC) ve Kappa indeksi ile test ederek tüm yöntemlerden elde ettikleri sonuçları karşılaştırmış ve sonuç olarak RotFor algoritmasının görüntü analizi yapmak için etkili ve doğru bir algoritma olduğunu belirtmişlerdir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Heyelanların özellikle insan yaşamı üzerindeki olumsuz etkilerinin önlenmesi ayrıca endüstriyel ve tarımsal alanlardaki zararlarının azaltılması yönüyle, heyelan duyarlılık çalışmalarının önemi giderek artmaktadır. Bu kapsamda çalışma alanı ile ilgili yapılan iş ve işlemler, arazi çalışmaları ve bilgisayar destekli büro çalışmaları olarak iki başlıkta çalışmanın bu bölümünde ana hatlarıyla özetlenmiştir. Duyarlılık analizi ile ilgili büro çalışmaları sonucu ele edilen sonuçlar, “Bulgular” kısmında detaylı olarak verilecektir.

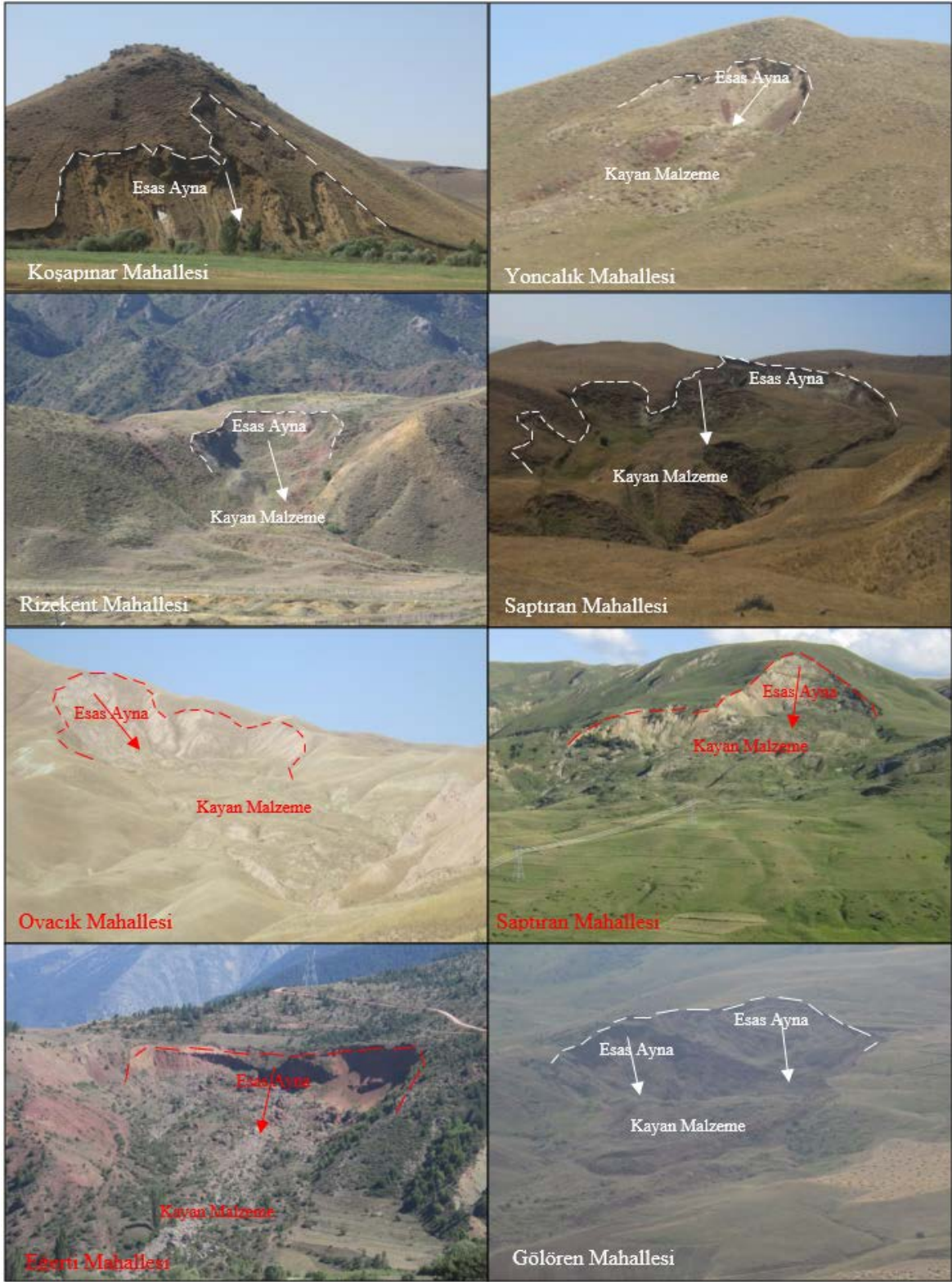
2.2. Arazi Çalışmaları

Heyelan analizlerinin gerçekleşmesinde kullanılan ana faktör bölgede daha önce gerçekleşmiş olan heyelanlardır. Çalışma alanı ve yakın çevresinde 2016 yılında Erzurum İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü bünyesinde yapılan çalışmalarda üretilen heyelan envanter haritası bu çalışmada kullanılmıştır. Çalışma alanında tespit edilen 334 adet heyelan bulunmaktadır.

Bu tez çalışması ile ilgili olarak çalışma alanı içerisinde daha önce tespiti yapılan 334 adet heyelanın sınır kontrolleri yapılarak heyelanların tip, uzunluk, genişlik, derinlik, koordinat, su içeriği gibi öznitelik bilgileri tespit edilerek heyelan envanteri güncellenmiştir. Analizlerde kullanılmak üzere bu heyelan envanterinin %20’si yani 68 adet heyelan duyarlılık haritasının kontrolünün yapılması için sınama verisi olarak ayrılmış ve analizlerde 266 adet heyelan model veri olarak kullanılmıştır. Arazi çalışmalarıyla sınır kontrolleri ve öznitelik bilgileri tespiti yapılan heyelan envanterinden bazılarına ait örnekler Tablo 2.1’de verilmiştir. Yine bazı arazi çalışmalarında tespiti yapılan heyelanların genel görünümüne Şekil 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. Heyelan envanter bilgilerine ait örnekler

Sıra	Heyelan Türü	Yamaç Şekli	Bitki Örtüsü	Su Durumu	Heyelan Aktivitesi	Heyelan Akt. Türü	İlçe	Mahalle	Pafta No	Litolojik Açıklama	Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Derinlik (m)	Yamaç Eğimi (Derece)	Bakı (Derece)	Alan (m ²)
1	Toprak Kayması	Düz	Yok	Yok	Duraklamış	Tekil	Aşkale	Karasu Mah.	I44b1	Ofiyolitler	2000	1100	250	35	200	1519924.55
2	Toprak Kayması	İç Bükey	Yok	Yok	Aktif Olmayan - Eski	İlerleyen	Aşkale	Pırnakaban Mah.	I45a1,	Kireçtaşı	922	240	90	35	200	182854.48
3	Toprak Yayılması	Düz	Seyrek	Nemli	Duraklamış	Tekil	Aşkale	Gümüşseren Mah.	I45a2	Marn-Çamurtaşı Ardalanmalı Sedimanter	470	150	15	34	75	55248.89
4	Toprak Kayması	Düz	Yok	Yok	Aktif Olmayan - Eski	İlerleyen	Aşkale	Topalçavuş Mah.	I45a1	Kireçtaşı	1071	585	80	30	180	365045.65
5	Toprak Kayması	Düz	Seyrek	Nemli	Duraklamış	Tekil	Aşkale	Gümüşseren Mah.	I45a2	Jips çamurtaşı kıltaşı ardalama	440	427	30	30	110	154774.63
6	En az iki heyelanın bir arada geliştiği heyelanlar	Düz	Orta	Nemli	Aktif Olmayan - Eski	Çoklu	Aşkale	Sarıbaba Mah.	I45a2	Camurtasi Marn kumtasi ardalanlı	1380	580	50	40	64	555572.55
7	Toprak Kayması	Dış Bükey	Yok	Yok	Aktif Olmayan - Eski	Çoklu	Aziziye	Eskipolat Mah.	H45c3	Killi Kireçtaşı	1500	750	20	50	160	1122909.58
8	Toprak Kayması	Düz	Seyrek	Yok	Aktif Olmayan - Eski	Çoklu	Aziziye	Karakale Mah.	H45c2	Sedimanter Seri	1200	770	40	35	160	718069.54
9	Toprak Yayılması	İç Bükey	Seyrek	Yok	Aktif Olmayan - Eski	Tekil	Aziziye	Üçköse Mah.	H45c2	Sedimanter Seri	480	110	5	40	180	34865.29
10	Moloz Akması	Düz	Seyrek	Yok	Aktif Olmayan - Eski	Tekil	Aziziye	Eşkınkaya Mah.	H46d1	Volkanik Kayalar	700	600	50	40	350	344530.88



Şekil 2.1. Çalışma alanı içinde gerçekleşen bazı heyelanların genel görünümü

2.3. Bilgisayar Destekli Büro Çalışmaları

Tez çalışması kapsamında, bölgedeki mevcut heyelanlardan yola çıkılarak, yeni oluşabilecek heyelanların daha önce oluşmuş heyelanlarla aynı koşullarda meydana gelebileceği ilkesine dayandırılarak frekans oranı yöntemiyle analizler yapılmış ve bölgenin heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

Saha çalışmaları sırasında sınır kontrolü ve öznitelik bilgileri tespiti yapılması planlanan heyelanların öncelikle büro ortamında yorumlaması yapılmış bunun için 1/25000 ölçekli raster harita ve uydu görüntüleri üzerine atılan heyelanlar saha çalışmalarından önce irdelenmiştir (Şekil 2.2). Saha çalışmalarıyla kontrol ve bilgi tespiti yapılan, 334 adet heyelandan oluşan heyelan envanter haritası oluşturulmuştur.



Şekil 2.2. Aziziye ilçesinde sayısallaştırılan heyelanların 2 ve 3 boyutlu gösterimi

Analizlerde Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımlarından ArcGIS 10.2 kullanılmıştır. Çalışmada Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından üretilmiş olan 1/25000 ölçekli sayısal topografik haritalar kullanılmıştır. Erzurum ili UTM (Universal Transverse Mercator)

koordinat sistemine göre meridyenlerin 6 derecede bir aralığının ifadesi olan zone (dilim) sınıflamasına göre 37 zon da bulunmakta olup, çalışmalarda 37 zon kullanılmıştır. Projeksiyon sistemi UTM olup, datum ise European 1950'dir.

Hesaplamalarda öncelikle Aşkale ve Aziziye ilçe sınırlarını içine alacak şekilde 32 adet 1/25000 ölçekli sayısal topoğrafya haritası CBS yazılımı ortamında yana yana eklenmiş ve bu paftaların pafta kenar çizgileri silinerek 25x25 m piksel boyutunda Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretilmiştir.

Çalışma alanı içerisinde kalan Yukarı Karasu havza sınırının çıkarılması için yine ArcGIS 10.2 yazılımında SYM haritasından bölgedeki akarsu havza sınırları oluşturulmuştur. Heyelan duyarlılık haritasının havza bazında tek parça halinde üretilmesi planlandığından sayısal yükseklik modeli Aşkale-Aziziye ilçeleri alan sınırı kadar kesilerek analize hazır hale getirilmiştir.

Duyarlılık analizleri bu sınıra göre yapılmış olup heyelanların oluşumunda önemli rol oynayan jeolojik, topoğrafik ve çevresel faktörler ArcGIS yazılımıyla sayısallaştırılmış ve parametre haritaları olan yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yamaç eğriselliği, litoloji, arazi kullanımı, faya yakınlık ve akarsuya yakınlık gibi parametre haritaları üretilmiştir. Daha sonra parametre haritaları sınıflandırılarak havza içerisinde gerçekleşmiş olan heyelan envanteri ile karşılaştırılmış, her bir parametre alt sınıflarının frekans oranları tespit edilerek, bölgenin duyarlılık analizi yapılmış ve sonuçta duyarlılık haritası üretilmiştir.

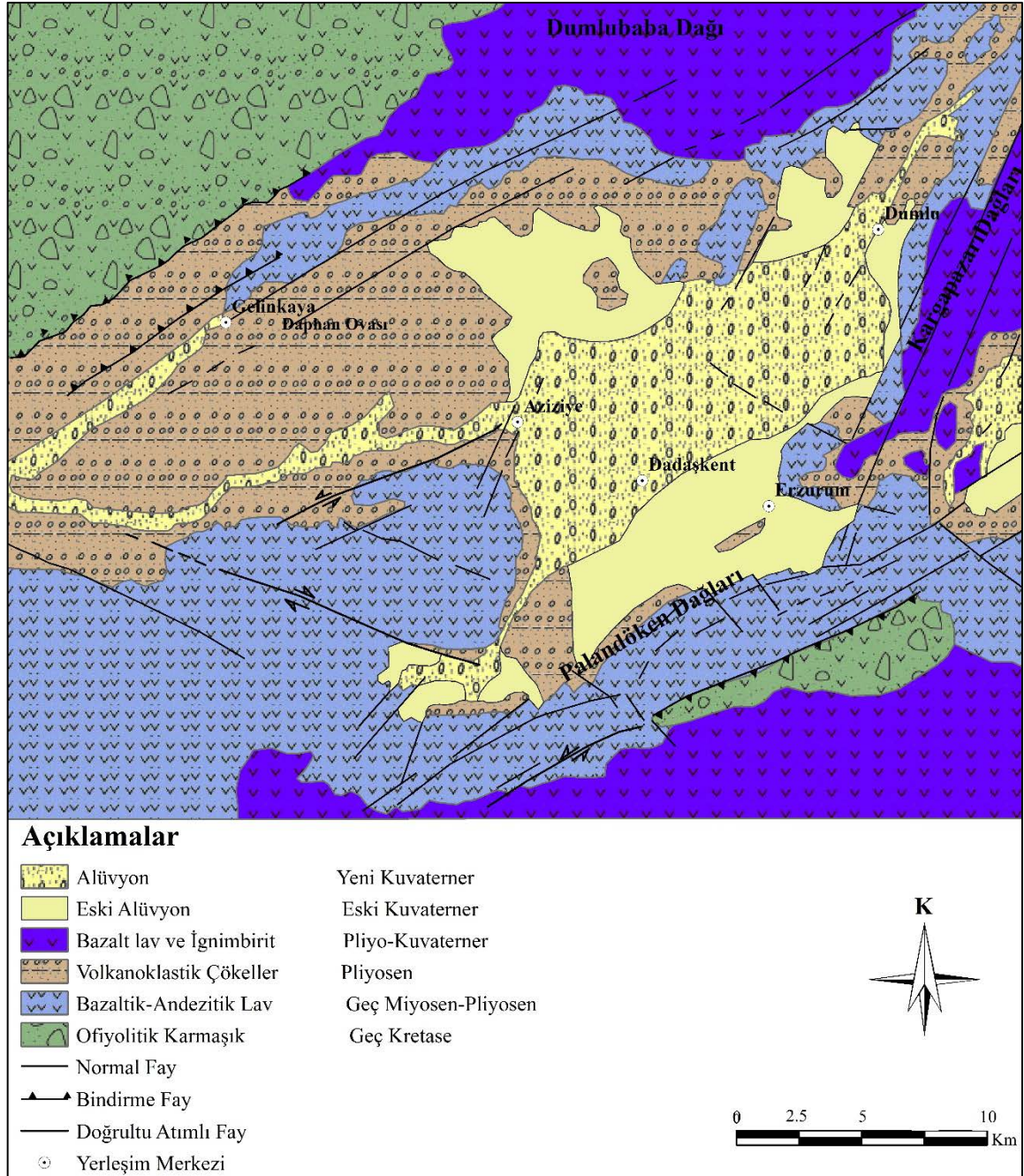
3. BULGULAR

3.1. Bölgesel Jeoloji

Erzurum ve yakın çevresinde 1948 ve 2000 yılları arasında Maden Tetkik Arama Enstitüsü (MTA) tarafından ayrıntılı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yılmaz (1988a), “Türkiye Jeoloji Haritaları” isimli çalışmasında bölgede en alttaki kayalar, Sakaltutan Grubuna ait beş farklı birimde ayırt edilmiştir. İnceleme alanını da içine alan bölgenin basitleştirilmiş genel jeoloji haritası Şekil 3.1’de verilmiştir.

Bölgede en altta yer alan kayalar amfibolit, şist, ve mermer araldanmasından oluşan Pre-Maastrichtiyen yaşlı Akdağ Metamorfikleri (Mza) olarak adlandırılmıştır (Erdoğan, 1972). Bu birimin üzerinde bindirme ile yer alan ofiyolitli birimler ile bu birimlerin örtüleri yer almaktadır. Genel olarak Triyas yaşlı ve şist, metabazit metaşeyl, metakumtaşı gibi metavolcano sedimanter diziden oluşan formasyona Karataştepe Metamorfikleri (Mzk) ismi verilmiştir. Bu birimi Geç Kretase yaşlı volkanit ve volkanitlerden türemiş kırıntılı kayalardan oluşan Bozyokuştepe Karışığı (Kb) takip eder. Ofiyolitli karmaşıklar genellikle diyabaz, gabro ve yer yer serpantin ile peridotitten oluşmaktadır. Bu formasyonu da Geç Senoniyen-Kampaniyen yaşlı, genellikle kırmızı renkli bol kırık ve çatlaklı pelajik kireçtaşlarından oluşan Üzümpınar Formasyonu (Kü) takip eder. Üzümpınar Formasyonu üzerine ise serpantin, gabro ve bu birimleri kesen diyabaz dayklarından oluşan Geç Kretase yaşlı Şahvelet Ofiyolitleri (Mzş) gelmektedir. Bu formasyonun üzerine ise uyumsuz olarak Maastrichtiyen-Eosen yaş arasında değişen yer yer bloklu birimlerin de bulunduğu genellikle kumtaşı, killtaşı, şeyl araldanmasından oluşan Aziziye Grubuna ait formasyonlar takip etmektedir. Meastrihtiyen ile Pliyosen yaş aralığındaki kayalar, birbirini düzenli izleyen transgresif ve regresif dizilerden oluşur ve daha yaşlı birimleri uyumsuzlukla örter. Aziziye Grubuna ait olan Yaylasırtı Gabrosu (Tya) Eosen yaşlı olarak kabul edilip bu gabrolar, gri-yeşilimsi, masif ve yer yer bol kırıklı olup Sungurlu (1971) tarafından ayırtlanmıştır. Yine Aziziye Grubuna ait olan Alibaba Volkanitleri (Tal) Eosen yaşlı olup, ağırlıklı olarak, gri, koyu gri, morumsu, çok eklemli, ince taneli ve yer yer katmanlı bir görünümdeki andezitlerden oluşmaktadır. Aziziye Grubuna ait birimlerin üzerine Geç Eosen-Erken Oligosen yaşlı çakıltaşı, kumtaşı ve silttaşı araldanmasından oluşan Ahlat Formasyonu (Tah) gelmektedir. Ahlat Formasyonu üzerine ise çeşitli araştırmacılar tarafından farklı isimler verilmiş olan (Erdoğan, (1966) Mollakulaçdere Formasyonu, Rathur, (1965); İlker, (1966);

Erdoğan, (1966, 1972) ve Havur, (1972) Çığılgan Formasyonu, Aziz, (1971) Ağcakoca Formasyonu, Soytürk, (1973) ile Erdoğan ve Soytürk, (1974)'ün Gümümalı Formasyonu) Oligosen yaşlı yer yer yeşilimsi, mavimsi, ince ve orta kalınlıkta katmanlı, çakıllı kumtaşı, marn, yapraklı şeyl, kireçtaşı ve üste doğru jipsli oluşukların yer aldığı Ağcakoca Formasyonu (Ta) gelmektedir.



Şekil 3.1. Erzurum ve çevresinin genel jeoloji haritası (Yılmaz, 1988).

Ağcakoca Formasyonu üzerine ise Doğu Anadolu'da geniş bir yayılım gösteren ve ağırlıklı olarak platform türü karbonatlarla temsil edilen ve araştırmacılar tarafından farklı isimler verilen (Demirtaşlı ve Pisoni, (1965) Adilcevaz Kalkeri, Rathur, (1965); İlker, (1966); Erdoğan, (1966) ve Koçyiğit, (1985) Haneşdüzü Formasyonu, Soytürk, (1973) Alibonca Formasyonu, İlker, (1966) ise Güzelbaba Formasyonu) Miyosen yaşlı alt tarafta yeşilimsi, sarımsı renkli, çoğunlukla çapraz, orta ve ince katmanlı çakıltaşı, kumtaşı ve kıltaşı ardalaması ile başlayan üste doğru gri beyazımsı, sarımsı renkli, oldukça kalın katmanlı, bol makro ya da mikrofosilli resifal karbonatlarla temsil edilen Haneşdüzü Formasyonu (Th) gelir. Genel anlamda Erzurum ve çevresi Orta (?) -Geç Miyosen sırasında karasal niteliğe bürünmüştür. Tortul örtünün Oligosen yaşlı istifinde, ince andezitik bazalt ara katkılar, Miyosen-Pliyosen istifinde ilkin dasit-andezit arası bileşimde volkanitler, sonra sıra ile andezitik bazalt ve bazaltik piroklastitler ve lavlar oluşmuştur. Haneşdüzü Formasyonu üzerine ise çıkış yeri Bingöldağı Kalderası olan, Geç Miyosen yaşlı gri, siyahımsı gri, genellikle orta-ince yer yer kalın katmanlı, bol oranda eklemli, bazı yerlerde yeşilimsi likenli akma yapıları volkanitlerden (andezitik bazalt lavları, iğnimbrit, tuf, aglomera ardalaması) oluşan Bingöldağı Volkanitleri (Tb) gelir. Bingöldağı Volkanitleri üzerine ise Pliyosen yaşlı alttaki birimleri açılı uyumsuz olarak örten açık gri, gri ince taneli çakıltaşı, kumtaşı ve marnlardan oluşan ve Arpat, (1965) tarafından adlandırılan Gelinkaya Formasyonu (Tg) örter. Bu formasyonun üzerine ise bazı araştırmacılar tarafından farklı isimlendirilen (Tokel, (1965) Çobandede Bazaltları, Akkuş, (1965) Kargapazarı Bazaltları) Pliyosen yaşlı koyu siyah ve kahverengi, yaygın olarak gaz boşluklu ve soğuma eklemli olan ağırlıklı olarak bazaltlardan oluşan Çobandede Volkanitleri (Tç) gelir. Tüm bu açıklanan formasyonlar üzerine ise uyumsuz olarak Kuvaterner yaşlı Alüvyonlar ve Yamaç Molozları gelmektedir. Bölge ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti Yılmaz, (1988)'den derlenerek verilmiştir (Şekil 3.2).

3.2. Çalışma Alanının Genel Jeolojisi

Tez çalışması kapsamında MTA tarafından hazırlanmış Tarhan, (1990, 1998) 1/100000 ölçekli Erzurum H45, I45 paftaları Jeoloji Haritaları ve Timur, (2000) tarafından Aşkale ve çevresindeki alanda yapılan stratigrafi çalışmasından faydalanılmıştır. Bu çalışmalar MTA tarafından CBS ortamında sayısal olarak hazırlanmış 1/25000 ölçekli genel jeoloji haritası ile ilişkilendirilerek çalışma alanının jeoloji haritası sayısal olarak üretilmiştir (Şekil 3.3).

SİSTEM	SERİ	KAT	GRUP	FORMASYON	SİMGE	KAYA TÜRÜ	ORTAM	AÇIKLAMALAR				
TERSIYER	KUVATERNER				Qal							
				PLIYOSEN	Çobandede Volkanitleri	Tç		Kara	Bazalt ve Piroklastikler			
						Gelinkaya	İncesu			Ti		Gösel Kumtaşı, marn Çakıltaş-kumtaşı Çakıltaş
					Işıklar		Ts			Tı		
					Bingöldağı Volkanitleri	Tb				Andezit ve piroklastikleri, ignimbirit		
				MIYOSEN	Alibaba-Burd	Haneşüzü	Tn		Resifal kireçtaşı			
						OLİGOSEN	Ağcakoca	Ta		Şeyl, kumtaşı, kiltası ardalanması		
				EÖSEN	Maastrihtiyen-Lütesiyen		Ahlat	Tah		Kırmızı çakıltaş, kumtaşı, çamurtaşı		
						Alibaba Volkanitleri		Tal		Andezit ve piroklastikleri		
							Kösehasan	Tyo		Çakıltaş, kumtaşı, Kiltası ve şeyl		
						Tto			Gabro			
				TRIYAS - JURA - KRETASE	ÜST KRETASE - PALEOSEN		Maastrichtiyen-Lütesiyen		Kiz		Kumtaşı, kiltası, şeyl ve yer yer bloklı	
									Şahvelet Ofiyolitleri	Mç		Serpantinit, peridotit, gabro, diyabaz
										Üzümpınar	Ko	
Bozyokuşdere Karışığı	Kb		Ofiyolitik karışık									
	Karataştepe Metamorfileri	Mk							Metavolcano-tortul dizi (yeşilşist fasiyesi)			
Akdağ Metamorfileri	Mm		Mermer ve şist (amfibol fasiyesi)									
Ölçeksiz												

Şekil 3.2. Erzurum ve çevresinin geliştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Yılmaz, 1988).

Çalışma alanında bulunan litostragrafik birimler yaşlıdan gence doğru şöyledir;

- 1- Hınıs Metaofiyoliti (Erken Paleozoyik)
- 2- Anadolu Volkanosedimanter Seri (Karbonifer-Geç Kretase)
- 3- Rizekent Formasyonu (Geç Jura)
- 4- Yeşirçöl Formasyonu (Erken Kretase)
- 5- Baskurtdere Formasyonu (Geç Kretase)
- 6- Kopdağı Melanjı (Geç Kretase)
- 7- Serçeme Formasyonu (Erken Paleosen)
- 8- Gölveren Formasyonu (Geç Paleosen-Erken Eosen)
- 9- Adilcevaz Formasyonu (Erken Miyosen)
- 10- Aşkale Formasyonu (Erken-Orta Miyosen)
- 11- Ziyarettepe Formasyonu (Geç Miyosen)
- 12- Solhan Formasyonu (Geç Miyosen)
- 13- Gelinkaya Formasyonu (Pliyosen)
- 14- Alüvyon, Traverten, Yamaç Molozu (Kuvaterner)

3.2.1. Hınıs Metaofiyoliti (Pzh)

Çalışma alanındaki en yaşlı birim Tarhan, (1989) tarafından adlandırılmış olan Hınıs Metaofiyolitleridir. Bu birim peridot, piroksenit, olivinli gabro, tabakalı gabro ve levha dayk karmaşığından oluşmaktadır. Düzenli bir ofiyolit istifinin görünümündeki birimler birbirleriyle ilksel ilişkilidir. Bu toplulukta ki kayalar Geç Kretasede metamorfizmalara uğramıştır. Birim Geç Maastrichtiyen öncesi ve Orta Miyosen aralığında gelişen K-G yönlü sıkışma evrelerine maruz kalarak yapısal anlamda naplı ve bindirmeli hale gelmiştir (Tarhan, 1990). Birime, ofiyolitler üzerine uyumsuz olarak gelen adayayı çökelleri ve bunların metamorfizmaya uğramış ürünlerinin, çökme ve ilksel yaşları ile birlikte stratigrafik dizilimleri dikkate alınarak Erken Paleozoyik (Karbonifer öncesi) yaşı verilmiştir (Tarhan, 1990). Bu birim genel olarak çalışma alanının batı kısmında Kükürtlü Mahallesi civarında yüzeylenmektedir.

3.2.2. Anadolu Ada Yay Volkanoklastik Sedimanter Serisi (PzMzan)

Bölgede çalışan araştırmacılar tarafından bu birime değişik isimler ve yaşlar verilmiştir. Erdoğan ve Soytürk, (1974) Sakaltutan Ofiyolitleri, Koçyiğit, (1985) Anadolu

Ofiyolitli Karışığı, Yılmaz vd., (1988a, 1988b) Sakaltutan Grubu, Tarhan, (1990) ise birime Anadolu Ada Yay ı Volkanoklastik Sedimanter Serisi ismini vermiştir. Bu birim çalışma alanında Aşkale ilçesinin batı kısmında özellikle Karasu Nehrinin güneyinde, Dereköy Mahallesi civarında gözlenmektedir.

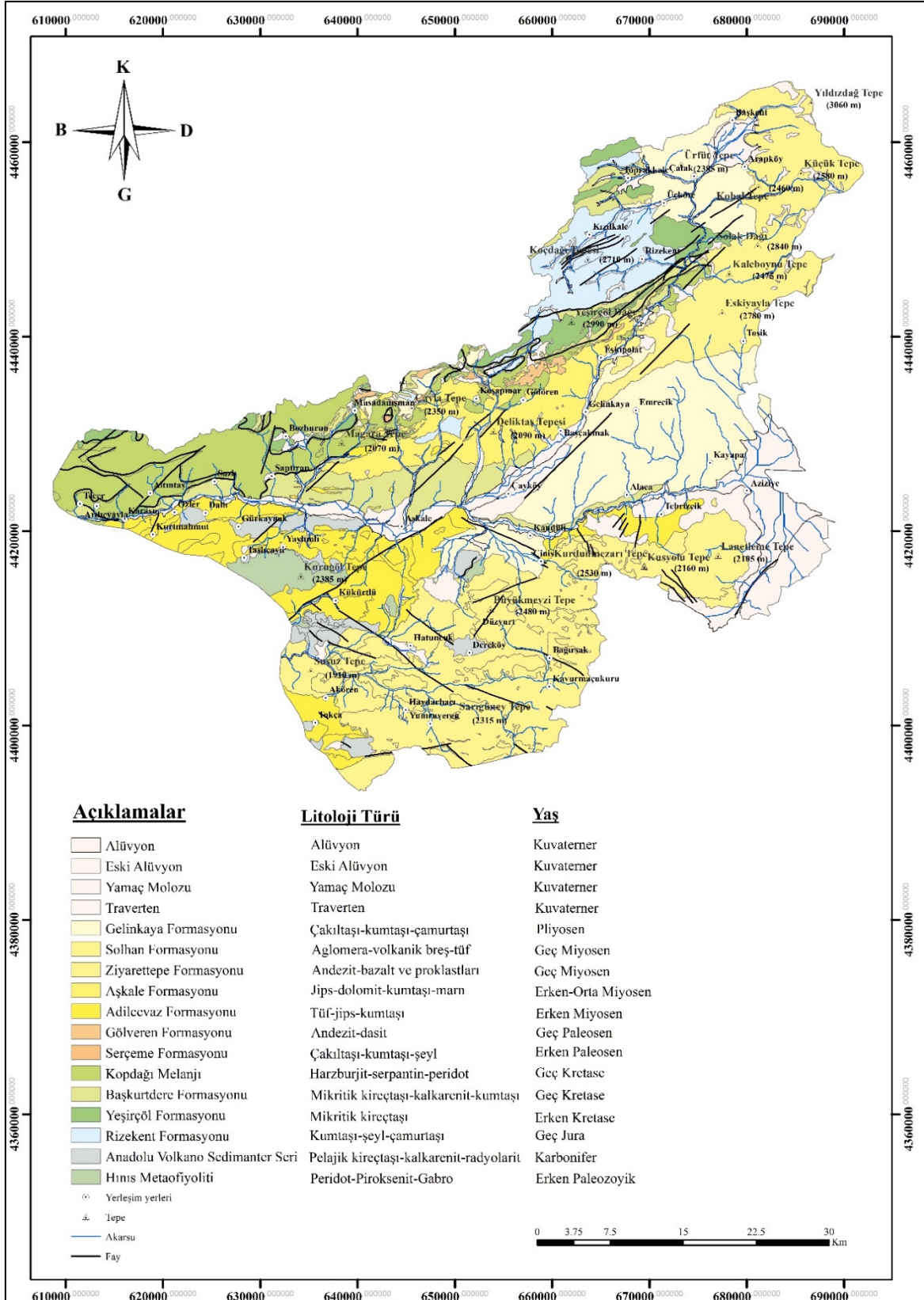
Gerek alışma alanında gerekse tüm Türkiyede yaygın olarak gözlenen bu seri ofiyolitli melanj veya ofiyolitli karışık olarak tanımlanmıştır. Bu seri genel olarak pelajik kireçtaşı, türbiditik kumtaşı, kalkarenit, killi-tüflü pelajik kireçtaşı, radyolarit, çörtlü kireçtaşı, volkanik kırıntılı kayalar (aglomera, tüfit, kristalli tf, volkanik breş), lav, yelpaze çökelleri ve platform türü karbonatlardan oluşmaktadır (Tarhan, 1998).

Tarhan, (1998) tarafından birimden alınan örneklerde yapılan testler sonucunda, Karboniferden Maastrichtiyene kadar değişik yaşlar bulunmuştur. Bu birimi Geç Maastrichtiyen yaşlı birimlerin açısal uyumsuz olarak örtmesi nedeniyle Tarhan, (1998) tarafından birime Karbonifer-Geç Kretase yaşı verilmiştir. Birimde gözlenen kayalar sürekli bir istif sunmakta olup, birbirleriyle yanall ve düşey geçişlidir.

3.2.3. Rizekent Formasyonu (Jr)

Bilgin, (1984) tarafından ilk kez bu adı alan formasyon, tip kesitini Rizekent Mahallesinde verir. Çalışma alanında genel olarak Rizekent, Kapıkulu, Susuzlar Mahalleleri ve Yeşiroldağı kuzeyinde görülmektedir. Birim orta kalın katmanlı yeşilimsi gri, kurşuni renkli kumtaşı, şeyl, akıltarı ardalanmalı kireçtaşı, lav araseviyeli merceklerden oluşur.

Bu birim Yeşiroldağı kuzeyinde Bykgney Formasyonu ve Yeşirçöl Formasyonu zerine, Susuzlar Mahallesi güneyinde Kopdağı Melanjı zerine ve Aşkale Formasyonu zerine bindirmeli olarak gelir. Bu birimin kalınlığı yaklaşık olarak 1500-2000 m arasında değişir. Birimin en altında gri renkli kumtaşları bulunmakta olup, üste doğru yeşilimsi gri renkli şeyl olarak devam eder. Bu formasyonda yaklaşık 4-5 m de bir killi-siltli ara seviyelere rastlanır. İçerisinde fosil bulunmayan birime Timur, (2000) tarafından Geç Jura yaşı verilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışma alanının genel jeoloji haritası

3.2.4. Yeşirçöl Formasyonu (Ky)

Timur, (1997) tarafından isimlendirilen formasyon krem-bej-açık gri renkli, bol çörtlü, mikritik kireçtaşları ile bunların ara seviyeleri olan yeşilimsi gri renkli kalkarenit ve marnlardan (şeyl) oluşmaktadır. Formasyon ismini tip kesit verdiği Yeşirçöl Dağından almıştır. Birim özellikle altlarda kalkarenit ile başlayıp üste doğru kireçtaşı ve marnlara geçer. Çalışma alanında genellikle yüksek alanların zirvesinde gözlenen biçimlenme Toprakkale Mahallesi çevresi, Yeşirçöl Dağı, Fidanlık ve Keçitaşı Tepe kuzeyinde bulunmaktadır. Yeşirçöl Formasyon içinde tespit edilen fosillerden dolayı Timur, (1997) tarafından birime Erken Kretase yaşı verilmiştir. Formasyonun derin deniz ortamı çökellerinden oluştuğu kabul edilmiştir.

3.2.5. Başkurdere Formasyonu (Kb)

Akdeniz vd., (1994) tarafından isimlendirilen formasyon, gri renkli mikritik kireçtaşı, kalkarenit ve kumtaşı, yeşil renkli marn ve koyu gri- kurşuni renkli şeyl ardalanmasından oluşmaktadır. İsmi tip kesit verdiği Başkurdere Mahallesinden almakta olan bu formasyon çalışma alanında KD-GB doğrultulu bir zon boyunca, Çiçekören Dere-Toprakkale Mahallesi arasında yüzeylenir. Birimin kalınlığı 700 m kadardır. Tabanda yeşilimsi orta-kalın katmanlı literanitlerle temsil edilir. Literanitler üzerinde ise koyu gri renkli yer yer marn ara seviyeli biyomikritler yer alır. Biyomikritler üzerine ise kireçtaşı ve karbonatlı kumtaşlarından oluşan kırıntılı bir istif gelir. Bu istifinde üzerinde çakıllı kumtaşları ile ardalanmalı biyomikritler gelir. Timur, (2000) tarafından birimde fosil incelemesi yapılmış ve Globotruncana, Calculites ve Eiffelitus gibi fosiller tespit edilmiştir. Aynı araştırmacı tarafından Formasyona Geç Kretase yaşı verilmiştir.

3.2.6. Kopdağı Melanjı (Kk)

Kuzey Anadolu Ofiyolit Kuşağının doğu kısmını oluşturan formasyon ismini tip kesit sunduğu Kop Dağı'ndan almaktadır. Formasyon kireçtaşı, radyolarit, volkanik kaya blokları içeren mafik ve ultramafik kayalardan oluşur. Bölgede KD-GB doğrultulu bir uzanımına sahip olan formasyon genellikle Mezra Mahallesi çevresi, Yeşirçöl Dağı güneyi ile Serçeme Vadisi arasında uzanır. Bu formasyon daha genç birimlerce örtülmesi (Serçeme

Formasyonu, Gölveren Volkanitleri, Aşkale Formasyonu, Ziyarettepe Volkanitleri) ayrıca bindirme düzlemlerinin altında kalması nedeniyle dar alanlarda yüzeylenir.

Kopdağı Melanjı harzburjit, serpantin, peridot, piroksenit (ultramafik) ve gabro türü (mafik) kayalarla bunları kesen diyabaz daykları ile yer yer gözlenen kireçtaşı, volkanik kaya ve radyolarit bloklarından oluşmaktadır. Formasyondaki egemen kaya türü peridotitler ve piroksenitlerdir. Bindirme düzlemleri boyunca serpantinleşme, breşleme ve silisleşme çok belirgin olup, özellikle peridotitler Kop Dağlarındaki kromit yataklarının ana kayasıdır. Serçeme Vadisi boyunca ve Gölveren Mahallesi kuzeyinde yoğun kromit zonları gözlenmektedir. Ayrıca işletilebilir boyutta manyezit damar ve mercikleri de bulunmaktadır. Kopdağı Melanjının yerleşim yaşını doğrudan verecek bir yaş verisi olmadığından birim içindeki blokların yaşı, alt-üst ilişkisi ve bölgesel deneştirmeye dayanarak formasyon Malm-Geç Kretase yaşlı olarak kabul edilmiştir (Timur, 2000).

3.2.7. Serçeme Formasyonu (KTs)

Timur, (1997) tarafından isimlendirilen formasyon tip kesitini Serçeme Çayı vadisinin kuzey yamaçlarında vermektedir. Formasyon çakıltası, kumtaşı, şeyl ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. İnceleme alanında Yeşirçöl Dağı güneyi ile Serçeme Çayı arasında, Mezra Mahallesi doğusu ile Koşapınar Mahallesi kuzeyinde yüzeylenmektedir.

Serçeme Formasyonunun tabanı Elmalı Mahallesi çevresinde gözlenir. Eğerti Mahallesi batısında ise kalın bir çakıltası seviyesi ile Kopdağı Melanjı üzerine uyumsuz olarak gelmiştir. Serçeme ve Gölveren Mahalleleri kuzeyinde, Gölveren Volkanitlerini oluşturan kayalar bu formasyonu kesmiş ve üzerine yayılmıştır. Formasyonun kalınlığı 850 m kadar olup yüzeylediği alanlarda aşırı derecede tektonik hareketlere maruz kalmasından dolayı birimlerde oldukça kırıklı ve düzensiz yapılar gözlenir. Serçeme Formasyonu içinde tespit edilen fosillerden dolayı formasyona Senoniyen-Erken Paleosen yaşı Timur, (1997) tarafından verilmiş ve formasyonun farklı çökel ortamlarında (Sahil, resifal, dış self, havza yamacı, derin deniz) olduğu kabul edilmiştir (Timur, 2000).

3.2.8. Gölveren Formasyonu (Tgö)

Genel olarak andezitik ve dasitik türde lav, tüf ve aglomeralardan oluşan birim ismini tip kesit verdiği Gölveren Mahallesinden almıştır. Formasyonun yaşı Timur, (2000)

tarafından yapılan araştırmalar sonucu Geç Paleosen-Erken Eosen olarak kabul edilmiştir. İnceleme alanında genel olarak Gölveren, Serçeme ve Eğerti Mahallleri civarında yüzeyleyen Gölveren Volkanitleri, Kopdağı Melanjını ve Serçeme Formasyonunu keserek bunları örter. Birimin kalınlığı yaklaşık 200 m kadardır.

Formasyon içinde gözlenen andezitler, bozumsu sarı, gri renkli aşırı derecede altere olmuş ve bol eklemlidir. Yine bu formasyon içinde gözlenen dasitler genel olarak Eğerti Mahallesi kuzeyinde yzeylemekte olup, kırmızı, beyaz-açık gri renkli ve bol eklemlidir.

3.2.9. Adilcevaz Formasyonu (Mia)

Birime ilk olarak Demirtaşlı ve Pisoni, (1965) tarafından Adilcevaz Kireçtaşı ismi verilmiştir. Daha sonraları Akay vd., (1989) ve Tarhan, (1989) Adilcevaz Formasyonu olarak isimlendirmişlerdir. Erzurum ve çevresinde geniş yayılım gösteren birimin tip kesitleri Karlıova-at ve Aşkale havzalarında görülmektedir (Tarhan, 1998).

Formasyon tf, yer yer jips-anhidrit-tuz, volkanit (lav, proklastik) arakatkılı resifal kireçtaşı, tüfit, kalkerenit, kumtaşı, çakıltaşı ve marnlardan oluşur. Birim içerisinde kalorisi yüksek kömür ara katkıları da görülmektedir.

Adilcevaz Formasyonu tabanını kızıl-şarabi renkli çakıltaşı, çamurtaşı, kumtaşı, kumlu-çakıllı-siltli çamurtaşı birimleri oluşturur. Bunun üzerinde sığ resifal kireçtaşı, tflkilli kireçtaşı ve kalkerenitler gelir. Bu birimi de alttaki birimlerle uyumlu olarak çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı birimi izler. Bunun üzerinde ise sil ve dayk konumunda dasit ve riyolitler bulunur. Sonrasında bazalt, andezitik bazalt, andezit, trakit, aglomera ve volkanik breşlerden oluşan birim takip eder. Bunları ise jips-anhidrit-tuz ve marnlardan oluşan birim takip etmekte olup, özellikle içerisinde acı ve tuzlu su kaynakları yaygındır. Adilcevaz Formasyonun en st kısmını ise sarımtırak kahve renkli kaba kırıntılı kayalar (akıltaşı, kumtaşı, silttaşı) oluşturur. Adilcevaz Formasyonunda Tarhan, (1990) tarafından yapılan fosil içeriğine göre, formasyona Erken Miyosen yaşı verilmiştir.

3.2.10. Aşkale Formasyonu (Ta)

Tez alışma alanının kuzey kısmında KD-GB doğrultulu bir zon boyunca uzanan formasyon sığ deniz, gl ve lagün kelleri ile temsil edilmektedir. Genel olarak Başçakmak Mahallesi kuzeyi, Eskipolat Mahallesi batısı ile Glren, Koşapınar ve Musadanışman

Mahalleleri civarında yüzeylemektedir. Formasyona ismi Akdeniz vd., (1994) tarafından verilmiştir. Formasyonun yaşı Timur, (1997) tarafından Erken -Orta Miyosen olarak belirlenmiş ve formasyon içinde bulunan birimler üç alt üyede (Gürleyintepe, Koşapınar, Meymansur) tanımlanmıştır.

Bunlardan Gürleyintepe Üyesi (Tag), ilk kez Timur, (1997) tarafından isimlendirilmiş olup, Aşkale Formasyonunun tabanı olarak belirlenmiştir. Birim gri renkli orta kalın katmanlı jips, dolomit ve kumtaşı ara seviyeli, marn araldanmasından oluşmaktadır. Koşapınar üyesi (Tak) ise Gürleyintepe Üyesi üzerinde bulunmakta olup, kireçtaşı ve jips ara seviyeli çakıtaşı, kumtaşı, kıltaşı araldanmasından oluşmaktadır. İlk kez Timur, (1997) tarafından üye bazında ayırtlanmıştır. Bu üye içinde yer alan fosillere göre birim zaman zaman akarsu çökelleri etkisi altında kalmış sahil, lagün, resif ve dış self çökelleri ile temsil edilmiştir. Formasyonun en üst kesimini ise Meymansur Üyesi (Tam) temsil etmektedir. Birim çakıtaşı ara seviyeli kumtaşı, kıltaşı, marn araldanmasından oluşmaktadır. İsmi tip kesit verdiği Meymansur (Başçakmak) Mahallesinden almıştır. Birimin kalınlığı 380 m kadardır. Bu üyeyi oluşturan litofasiyelerin istiflenmesi, birincil sedimanter yapılar, fosil içeriği ve geometrisi, birimin kırıntılı ve karbonat çökelinin birlikte olduğu göl ortamında çökeldiğini ortaya koymuştur.

3.2.11. Ziyarettepe Formasyonu (Tz)

Doğu Anadolu'da gerçekleşen volkanizmanın çalışma alanı içinde bulunan ürünleri Timur, (1997) tarafından Ziyarettepe Volkanitleri olarak isimlendirilmiştir. Formasyon gri siyah renkli andezit, piroksen andezit, bazalt ve bunların piroklastlarından (tüf, aglomera) oluşmaktadır. Tüfler boz renkli olup, birimin tabanında ve orta kesimlerinde aglomeralarla birlikte yaygın olarak gözlenir.

İnceleme alanında Serçeme ve Eğerti Mahalleleri arasındaki hattın güneydoğu kısmında yayılım gösterir. Formasyon Serçeme Çayı Vadisi boyunca domsal çıkışlarla Aşkale Formasyonunu kesmiştir. Ziyarettepe Volkanitleri üzerine açısız uyumsuzlukla Gelinkaya Formasyonu gelir.

Ziyarettepe Formasyonu Erken Miyosen yaşlı Aşkale Formasyonunu keserek örtmüş ve Pliyosen yaşlı Gelinkaya Formasyonu tarafından ise uyumsuz olarak örtülmüştür. Bu nedenle birimin yaşı Geç Miyosen olarak kabul edilmiştir (Timur, 2000).

3.2.12. Solhan Formasyonu (Mivs)

Formasyon ilk kez Şaroğlu ve Güner, (1981) tarafından Solhan Volkanitleri olarak isimlendirilmiş olup, Akay vd., (1989) ile Tarhan, (1989,1991) birime Solhan Formasyonu ismini vermiştir. Formasyon lav ara katkılı piroklastik kayalardan (aglomera, volkanik breş, lapilli, tüf, kül) oluşmaktadır. Formasyon içinde yer yer ince-orta katmanlı marn, tüfit, tüflü marn, gölsel kireçtaşı, kumtaşı ve çakıltası ara katkıları gözlenmektedir.

İnceleme alanının güney kısımlarında yüzeylemiş olan formasyon Hatuncuk, Haydarhacı ve Dereköy Mahalleleri civarında geniş yayılım göstermektedir. Doğu Anadolu'da yaygın bir yayılım gösteren bu formasyonun yaşı Tarhan, (1998) tarafından Geç Miyosen olarak belirlenmiştir. Tip kesitini Bingöldağı volkanının güneyindeki Varto ilçesi civarında vermiştir. Tamamen karasal ortamda oluşmuş lav ve piroklastik kayalardan oluşan formasyonun kalınlığı yer yer 100 ile 1000 m arasında değişmektedir.

3.2.13. Gelinkaya Formasyonu (Tg)

Formasyon ilk kez Arpat, (1965) tarafından isimlendirilmiş olup, boz-sarımsı gri renkli tüfit ara seviyeli çakıltası-kumtaşı-kiltası-marn ardalanmasından oluşmaktadır. Formasyon inceleme alanında Toprakkale Mahallesinden başlayarak Ovacık Mahallesiine doğru genişleyerek uzanır. Ayrıca ismini aldığı Gelinkaya Mahallesinden başlayarak güney yönünde Daphan Ovasına doğru yayılım gösterir.

Çalışma alanındaki Geç Kretase yaşlı Başkurdere Formasyonu ve Erken Kretase yaşlı Yeşirçöl Formasyonu Gelinkaya Formasyonu tarafından açısız uyumsuz olarak örtülür. Gelinkaya Formasyonu'nun kalınlığı 1000 m kadardır. Birimin tabanında bulunan çakıltaları değişik tane boyu dağılımına sahiptir. Çakıltalarını normal dereceli, çapraz tabakalı ve gevşek çimentolu kumtaşları izler. Kumtaşlarından sonra ise kiltaları gelir. Bunlar ise boz renkli çoğunlukla paralel laminalı ve karbonat oranının yoğun olduğu kesimlerde marna geçişlidir.

Formasyon içinde tespit edilen fosillerden dolayı formasyona Timur, (2000) tarafından Pliyosen yaşı verilmiştir. Bu formasyon içinde tanımlanan litofasiyelerin değişik şekilde bir araya gelmeleri ve sedimanter yapılarına bakılarak göl ve akarsu ortamında çökeldiği kabul edilmiştir.

3.2.14. Alüvyon, Traverten ve Yamaç Molozu

İnceleme alanında bulunan Kuvaterner yaşlı birimlerden; Alüvyonlar, akarsu ve dere yataklarında çeşitli kaya kırıntı ve parçalarını içeren, tutturulmamış blok, çakıl, kum, mil, kil ve çamurdan oluşur. Travertenler ise yine Kuvaterner yaşlı olup, fay ve bindirme fayları boyunca çıkan yeraltı suları boyunca çıkan su kaynakları tarafından oluşturulmuştur. Yeraltı su kaynakları fayların aktivitesine göre sık sık yer değiştirmektedir. Yine Kuvaterner yaşlı birimlerden olan Yamaç Molozları genellikle yüksek ve dik tepelik alanların eteklerinde tutturulmamış köşeli blok ve çakıl boyutundaki kaya türlerinden oluşur.

3.3. Heyelan Duyarlılık Haritasında Kullanılan Parametreler

Tez çalışmasının bu bölümünde heyelan oluşumunda etkisi olduğu düşünülen parametre haritalarıyla çalışma alanı içerisinde gerçekleşmiş olan heyelanların arasındaki ilişki frekans oranı yöntemiyle irdelenmiş ve sonuçta heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

Heyelan duyarlılık haritaları üretilirken öncelikle yamaçların duraylılığını etkileyen bir takım parametrelerin ve bunların heyelan oluşumunda ki ağırlık değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için heyelanların alansal dağılımları ve heyelana etkisi olduğu düşünülen parametrelerin ilişkisi belirlenmeye çalışılır (Dağ ve Bulut, 2012). Bu tür haritalarla potansiyel açıdan tehlikeli alanlar tespit edilerek, heyelanların etkisinin azaltılması ve heyelan olayı meydana gelmeden önce, önlemlerin alınması planlanabilir.

Heyelan duyarlılık araştırmalarında kullanılan parametreler, literatürde hazırlayıcı ve tetikleyici faktörler olarak ayrılmaktadır. Hazırlayıcı faktörler, jeolojik, topoğrafik ve çevresel olmak üzere üç başlıkta toplanmaktadır. Jeolojik faktörler, litoloji, zemin özelliği/ayırışma, yapısal çizgisellik, yeraltısuyu ve jeoteknik özellikler gibi parametrelerden oluşmaktadır. Jeolojik faktörlerden litoloji parametresi literatürde en çok kullanılan parametredir. Topoğrafik faktörler yükseklik, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yamaç eğriselliği, jeomormolojik özellikler, topoğrafik nemlilik endeksi (TWI), akarsu aşındırma gücü endeksi (SPI), sediman taşıma kapasite endeksi (LSI) ve akarsu ağı parametrelerden oluşmaktadır. Topoğrafik faktörlerden yamaç eğimi parametresi literatürde en fazla kullanılan parametredir. Çevresel faktörler arazi kullanımı/bitki örtüsü, yola uzaklık-yol yoğunluğu ve yerleşime uzaklık parametrelerinden oluşmaktadır. Bunlar içinde literatürde en çok kullanılan arazi kullanımı parametresidir. Tetikleyici faktörler ise yağış, sismik

aktivite ve antropojenik aktivite parametrelerinden oluşmakta olup, tetikleyici faktörlerde yaşanan veri sıkıntısı sebebiyle kullanımı genellikle tercih edilmemektedir (Çellek, 2013).

Tez çalışması kapsamında heyelan duyarlılık analizlerinde en çok kullanılan parametrelerden olan litoloji, yamaç eğimi, sayısal yükseklik modeli, yamaç eğim yönü, yamaç eğriselliği, faya yakınlık, akarsuya yakınlık ve arazi kullanımı kullanılmıştır.

3.3.1. Heyelan Envanteri

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde en önemli aşama, heyelan envanterinin ve parametrelere ilişkin veri tabanının oluşturulmasıdır. Üretilen haritaların güvenilir ve kullanılabilir olmasında, elde edilen verilerin miktarı ve kalitesi önemli bir rol oynamaktadır. Bu kısımlarda yapılan hatalar, analiz işlemleri sonucu oluşturulan duyarlılık haritasını da etkilemektedir (Van Westen, 1994).

Son yıllardaki teknolojik gelişmelerin artması, iletişimin yaygınlaşması uydu görüntülerinin netliği ve kullanımının artması ayrıca GIS ve CAD tabanlı yazılımların yaygınlaşması heyelan envanteri oluşturmada, önemli katkılar sağlamıştır.

Heyelan envanteri oluşturulurken kullanılan yöntem, çalışmanın amacına, ölçeğine ve veri kaynağına göre değişebilmektedir. Bölgesel bir alanda küçük ölçekli ($<1/200000$) oluşturulan heyelan envanterlerinde genellikle hava fotoğrafları yorumu veya literatür çalışmalarıyla elde edilen tarihsel kayıtlardan yararlanılmaktadır. Ölçeği genellikle $1/25000$ ile $1/200000$ arasında olan envanter çalışmaları orta ölçekli olarak kabul edilip, hava fotoğrafı yorumlarının sınırlı arazi kontrolleri ile doğrulanmasıyla oluşturulmaktadır. Büyük ölçekli envanter çalışmaları ise ($>1/25000$) hava fotoğraflarının yorumlanması ile birlikte daha kapsamlı bir arazi çalışması ile oluşturulan envanter haritalarıdır (Wieczorek, 1984; Brand, 1988). Bu tür çalışmalarda hava fotoğraflarının kullanılması ve yorumlanması konusu tartışmalıdır. Çünkü çalışmayı yapan kişinin tamamen öznel yorumlarına dayanmaktadır. Bu durum haritaların güvenilirliğinin belirlenmesini güçleştirmektedir (Glade, 1998; Cruden, 1997; Ibsen ve Brunnsden, 1996; Guzzetti vd., 1994).

Hansen (1984)' e göre heyelan envanter haritalarında, heyelanın yeri ve özellikleri ile birlikte tür ve tarihine yer verilmelidir. Literatürde birçok sınıflama sistemi mevcut olup en çok kullanılan sistem Varnes (1978) tarafından önerilen sınıflamadır. Veri tabanı oluşturulurken dikkat edilmesi gereken konulardan biri de ölçek ve koordinat sistemlerinin

aynı olması ve veri tabanındaki haritaların aynı özellikte farklı katmanlar şeklinde hazırlanmasıdır (Leroi, 1996).

Tez çalışması kapsamında, çalışma alanı ve yakın çevresinde 2016 yılında Erzurum İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü bünyesinde tarafımda gerçekleştirilen arazi ve büro çalışmalarıyla üretilen heyelan envanter haritası bu çalışmada kullanılmıştır. Çalışma alanında tespit edilen 334 adet heyelan bulunmaktadır.

Yukarı Karasu Havzasının Aziziye-Aşkale ilçelerinde kalan bölümünün alanı 2644.5 km² dir. Bu alan içinde gerçekleşen heyelanların kapladığı alan ise 91.6 km² olup çalışma alanının % 3.46'sını oluşturmaktadır.

İnceleme alanındaki heyelanların kayıt işlemleri, AFAD tarafından "Heyelan Kayıt Formu" olarak isimlendirilen ve literatürde yaygın olarak kullanılan Varnes (1978)'den WP/WLI (1994) önerileri dikkate alınarak tasarlanmış olan sınıflama sistemine göre yapılmıştır. Söz konusu sınıflama sistemine ait kayıt formu örneği Şekil 3.4'de verilmektedir.

Tez çalışması ile ilgili olarak çalışma alanı içerisinde daha önce tespiti yapılan 334 adet heyelanın tekrar sınır kontrolleri yapılarak heyelanların tip, uzunluk, genişlik, derinlik, koordinat, su içeriği gibi öznelik bilgileri tespit edilmiştir. Arazi çalışmaları neticesinde inceleme alanına ait heyelan envanter haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.5).

Heyelan envanter haritasında yer alan 334 adet heyelanın % 20'si olan 68 adet heyelan rastgele seçilerek sınaama verisi olarak ayrılmıştır. Çalışma alanındaki hücre boyutu 25 x 25 m olarak kullanılmış olup çalışma alanının toplam piksel sayısı 4231349'dur. Heyelanlı alanların toplam piksel sayısı ise 146635 olup, çalışma alanının % 3.46'sını oluşturmaktadır.

Arazi çalışmaları süresince envanter haritası oluşturulurken heyelanların uzunluk, genişlik ve derinliklerine ilişkin veriler kayıt formlarına işlenmiştir. Bu verilerden hareketle heyelanların boyutsal dağılımları grafiklerle sunulmuştur (Şekil 3.6).

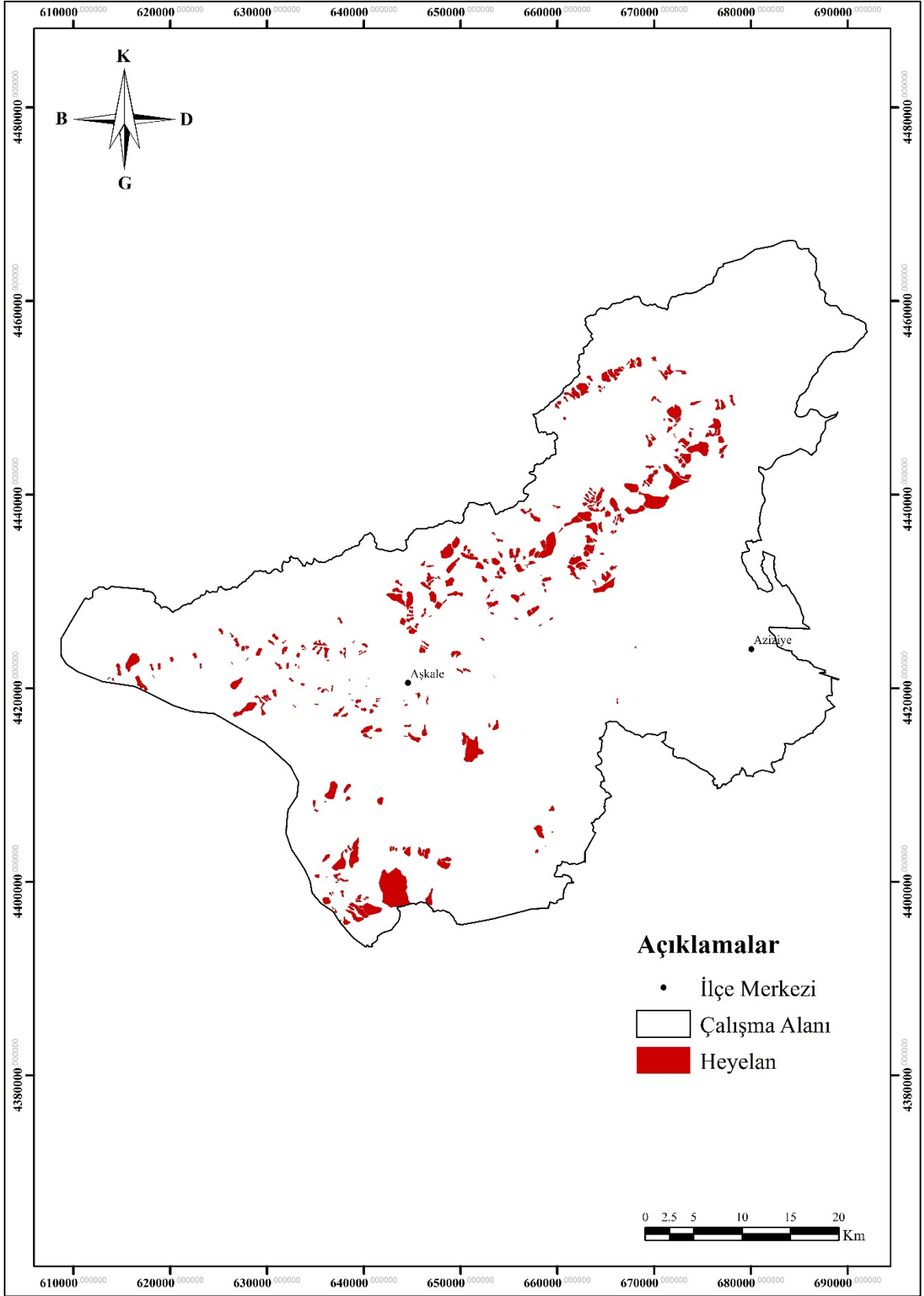
Heyelanların uzunlukları incelendiğinde genel olarak 200 ile 1000 metre arasında değişim gösterdikleri belirlenmiştir. Mevcut heyelanların % 20.65'i 400-600 m arasında uzunluk değerine sahiptir.

Heyelanlar genişliklerine göre değerlendirilecek olursa, mevcut heyelanların % 73'ünün 0-600 m arasında değişen genişlik değerine sahip oldukları söylenebilir. Bunlar içerisinde 200-400 m arasında genişliği olan heyelanlar mevcut heyelanların yaklaşık % 38'ine karşılık gelmektedir.

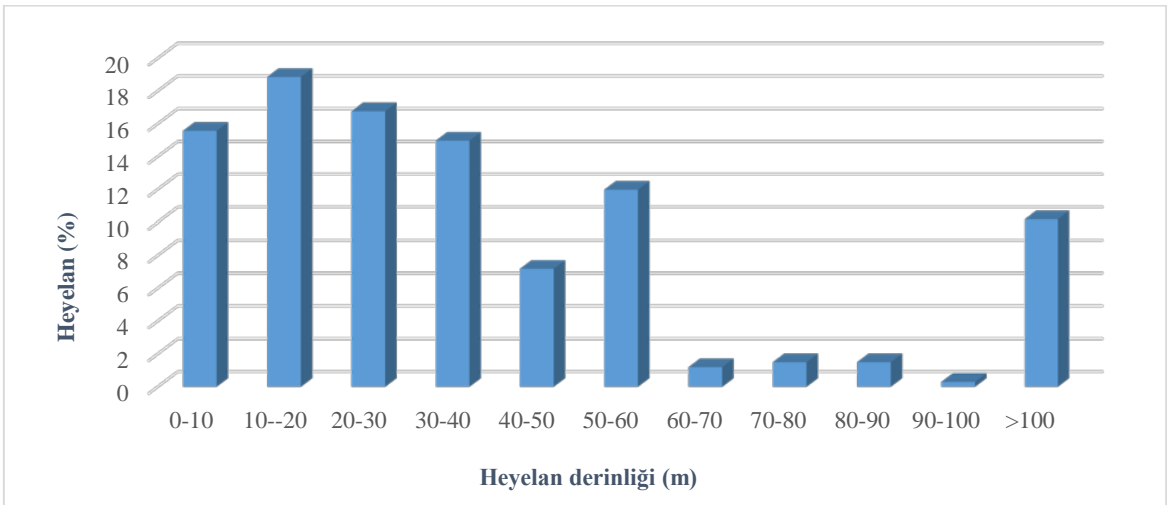
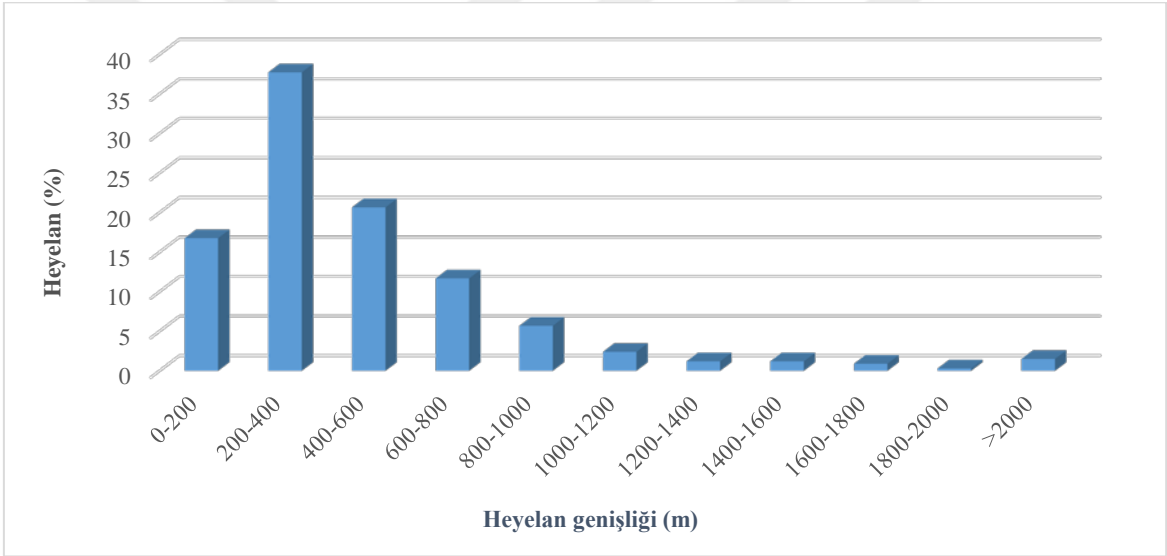
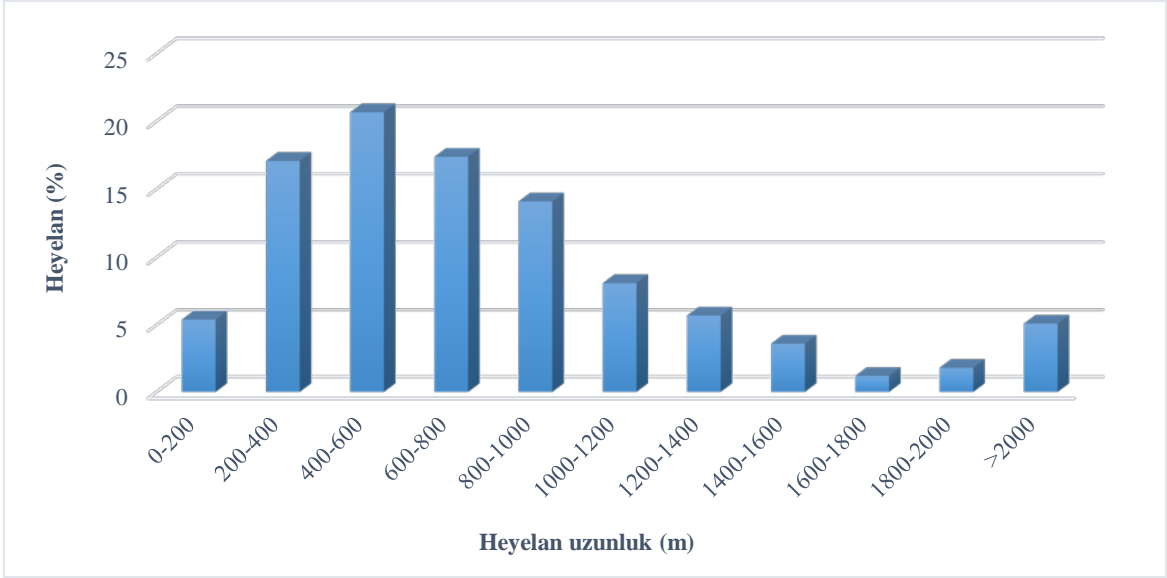
Yine Şekil 3.6’da heyelan derinlikleri incelenecek olursa, mevcut heyelanların % 66’sının 0-40 m arasında derinlik değerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Mevcut heyelanlardan 10-20 m arasında derinliğe sahip olanların, % 18.86’lık oranla birinci sırada yer aldığı anlaşılmaktadır.

HEYELAN KAYIT FORMU				
Kayıt Tarihi:				
Envanter No:				
Heyelan Yeri:				
Pafta No:				
Litolojik Tanımlama:				
Kaydı Alan:		Fotoğraf No:		
Heyelan Tarihi:		Bitki Örtüsü: .Çok Yoğun .Yoğun .Orta .Seyrek .Yok		
Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Derinlik (m)	Su Durumu: .Kuru .Nemli .Damlama .Akış .Yok	
Yamaç Eğimi (°):		Tetikleyici Etken: .Var .Yok		
Bakı (°):		.Deprem .Yağış .İnsan		
Yamaç Şekli: .İçbükey .Dışbükey .Düz		Tetikleyici Etken Bilgisi: .Kayıtlardan .Kişilerden		
Süresizlik Denetimli	Evet	Hayır	Heyelan Zarar Bilgisi: .Var	
Süresizlik Konumu		.Yok		
Heyelan Aktivitesi (Hareket): .Aktif .Duraklamış .Yeniden aktive olmuş .Aktif olmayan .Eski .Durağan .Kalıntı				
Heyelan Aktivitesi (Tür): .Karmaşık .Bileşik .İlerleyen .Tekil .Çoklu				
Heyelan Türü:				
Hareket Türü		Malzeme Türü		
		Kaya (1)	Toprak	
			İri Taneli (2)	İnce Taneli (3)
1.Düşme		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Toprak Düşmesi
2.Devrilme		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Devrilmesi
3.Kayma		a.Dönel	Kaya Kayması	Toprak Kayması
		b.Ötelenmeli	Kaya Kayması	Toprak Kayması
4.Yayıma		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Toprak Yayılması
5.Akma		Kaya Akması	Moloz Akması	Toprak Akması
		Derin Krip	Krip	
6.Karmaşık		En az iki veya daha fazla sayıda heyelanın bir arada geliştiği heyelanlar		
Heyelan Sınıfı:				
Açıklamalar:				

Şekil 3.4. Heyelan Kayıt Formu (Varnes, (1978) ve WP/WLI (1994)).



Şekil 3.5. Çalışma alanı heyelan envanter haritası



Şekil 3.6. Mevcut heyelanların boyutsal dağılımları

3.3.2. Litoloji

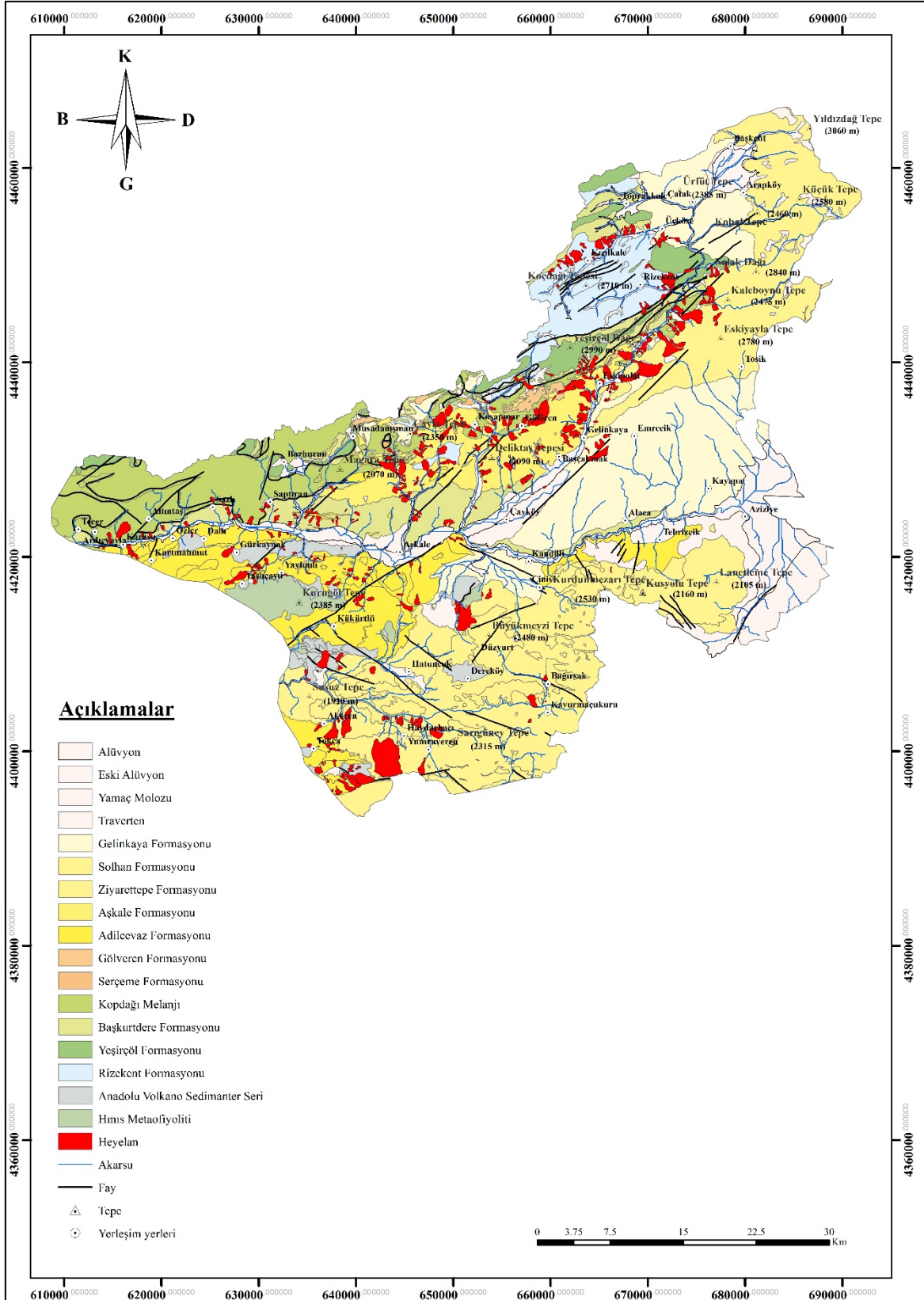
Heyelan oluşumundaki en önemli faktörlerden biri litolojidir. Farklı litolojik birimlerin su tutma kapasiteleri ve kayma gerilmeleri de farklı olduğundan bu birimlerin kaymaya karşı duyarlılığı da farklı olacaktır (Dağ, 2007). Çalışmalarda çoğunlukla hangi litolojik birimlerde heyelan meydana geldiğinin belirlenmesi amacıyla farklı sınıflandırmalar yapılmaktadır.

Litolojik özellikler genel anlamda iki türde değerlendirilir. Birincisi tamamen araştırmacının arazi gözlemlerine ve tecrübelerine dayanan nitel değerlendirmeler olup bazı araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (Higgins ve Rockaway, 1986; Choubey ve Litoria, 1990; Van Westen ve Bonilla, 1990; Pachauri ve Pant, 1992; Maharaj, 1993; Mejia-Navarro ve Wohl, 1994; Nagarajan vd., 2000; Saha vd., 2002; Tekin, 2014). İkincisi ise daha az hata oranına sahip olan nicel değerlendirme olup, bu değerlendirmede yamacı oluşturan malzemenin jeoteknik özellikleri saptanır veya istatistiksel değerlendirmeler yapılarak çalışma alanındaki heyelanların hangi litolojik birimler içerisinde geliştiği belirlenir. Nicel değerlendirmelerin esas alındığı bazı çalışmalar ise şunlardır (Carrara vd., 1991; Chang, 1992; Anbalagan, 1992; Juang vd., 1992; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Fernandez vd., 1999; Guzzetti vd., 1999; Luzi ve Pergalani, 1999; Uromeihy ve Mahdaviifar, 2000; Van Westen vd., 2003; Süzen ve Doyuran, 2004; Mazman, 2005; Dağ, 2007; Çellek, 2013).

Litolojik değerlendirmelerde dikkate alınması gereken bir diğer durumda ayrışma olup, farklı ayrışma derecelerinin farklı duyarlılığa neden olduğu araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Özellikle ayrışmış kayalarda kil oranının artması yamaçların duraylılığını oldukça etkilemektedir. Dağ vd., (2006) tarafından Rize (Çayeli) yöresinde yapılan benzer bir çalışmada da mevcut heyelanların % 87'sinin tamamen ayrışmış kayalar içerisinde gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Ayrıca zemini oluşturan malzemelerin tane boyu da yamaçların duraylılığında etkilidir. Tane boyu büyüdükçe, taneler arasındaki boşlukta büyümesi nedeniyle zeminin su tutma kapasitesi artmaktadır, dolayısıyla fazla su içeren zeminde kayma olasılığı da artmaktadır (Dağ, 2007).

Çalışma alanında Kuvaterner yaşlı birimlerle beraber, 14 farklı formasyon tespit edilmiştir. Çalışmada litoloji parametresi formasyon bazında sınıflandırılmış olup, toplamda 14 sınıf oluşturulmuştur (Şekil 3.7). Duyarlılık analizleri sonucu heyelan oluşumunun en sık görüldüğü formasyonun Aşkale Formasyonu (kireçtaşı ve jips ara seviyeli çakıltası, kumtaşı,



Şekil 3.7. Çalışma alanı litoloji haritası

kiltaş) olduğu anlaşılmaktadır. Litoloji sınıflarının ayrı ayrı heyelan yoğunlukları ve frekans değerleri hesaplanarak Tablo 3.1’de verilmiştir.

Çalışmada frekans değerleri ve heyelan yoğunluklarının yüzdesi hesaplanırken, öncelikle her bir parametre alt sınıfı için çalışma alanı parametre alt sınıf piksel sayısı toplam çalışma alanı piksel sayısına bölünmüş ve 100 ile çarpılarak % A değeri bulunmuştur. Sonra her bir heyelanlı alan parametre alt sınıf piksel sayısı, toplam heyelanlı alan piksel sayısına bölünmüş ve 100 ile çarpılarak % B değeri bulunmuştur. Bu değerlerden her bir sınıf için frekans oranı (%B / %A) değeri hesaplanarak belirlenmiştir. Son olarak her bir sınıf için hesaplanan %B / %A değeri, toplam %B / %A değerine bölünerek 100 ile çarpılmış ve heyelan yoğunluğu (% Fr) değeri elde edilmiştir (Ayalew ve Yamagishi, 2005; Dağ, 2007). Benzer işlemler duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılacak olan tüm parametreler için gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.1. Litoloji sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri

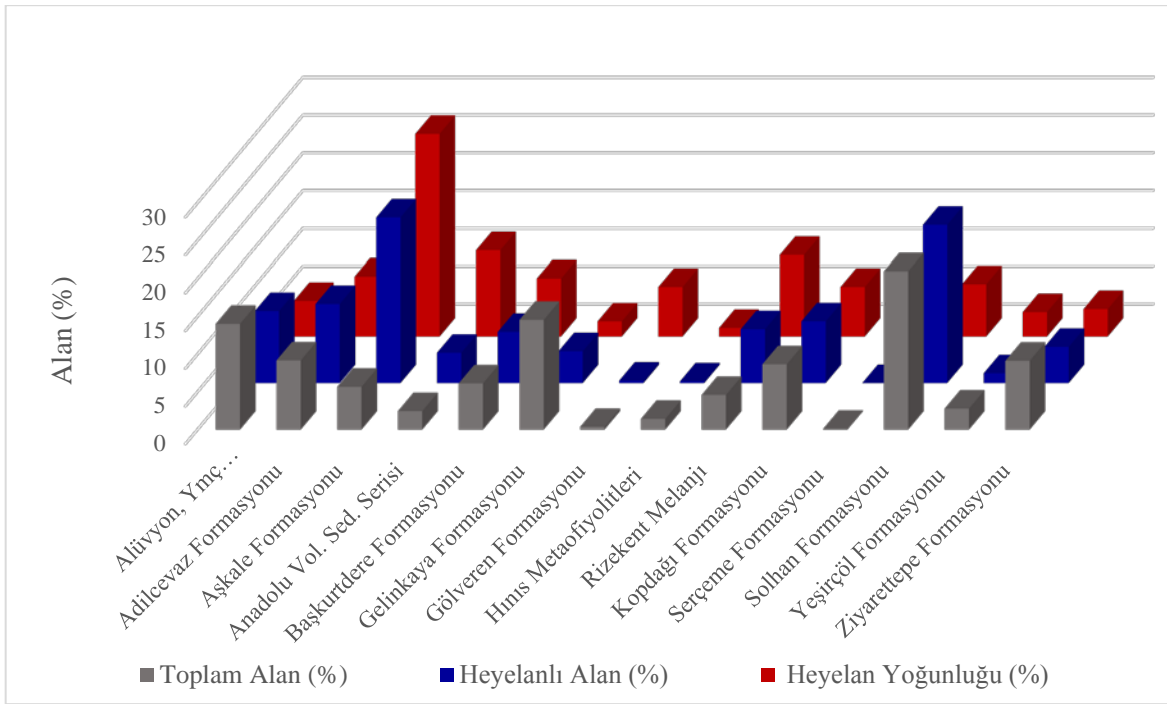
Formasyon Adı	Piksel Sayısı (A)	Alan (km ²)	% A	Heyelanlı Piksel Sayısı (B)	Heyelanlı Alan (km ²)	% B	Frekans Oranı (%B/%A)	Heyelan Yoğunluğu (% Fr)
Alüvyon	593235	370.77	14.02	14018	8.76	9.56	0.68	4.73
Adilcevaz	388195	242.62	9.17	15386	9.62	10.49	1.14	7.94
Aşkale	239922	149.95	5.67	32127	20.08	21.91	3.86	26.82
Anadolu Vol.Sed.Seri	103664	64.79	2.45	5908	3.69	4.03	1.64	11.41
Başkurtdere	259310	162.07	6.13	9960	6.23	6.79	1.11	7.69
Gelinkaya	615764	384.85	14.55	6207	3.88	4.23	0.29	2.02
Gölvören	15113	9.45	0.36	496	0.31	0.34	0.95	6.57
Hıms Metaofiyoliti	60037	37.52	1.42	349	0.22	0.24	0.17	1.16
Rizekent	194690	121.68	4.60	10486	6.55	7.15	1.55	10.79
Kopdağı Melanjı	366502	229.06	8.66	12020	7.51	8.20	0.95	6.57
Serçeme	3985	2.49	0.09	9	0.01	0.01	0.07	0.45
Solhan	887130	554.46	20.97	30697	19.19	20.93	1.00	6.93
Yeşirçöl	117655	73.53	2.78	1917	1.20	1.31	0.47	3.26
Ziyarettepe	386147	241.34	9.13	7055	4.41	4.81	0.53	3.66
Toplam (Σ)	4231349	2644.59	100	146635	91,65	100	14.41	100

Tablo 3.1 incelendiğinde çalışma alanı içinde en fazla yayılım gösteren formasyonlar dikkate alındığında, ilk sırada Solhan Formasyonu (% 20.97), ikinci sırada Gelinkaya Formasyonu (% 14.55) ve üçüncü sırada ise Alüvyonların (% 14.02) olduğu anlaşılmıştır.

Aşkale Formasyonu % 21.91 ile en fazla heyelanlı alana sahip sınıftır. Heyelan yoğunlukları dikkate alındığında Aşkale Formasyonu % 26.82 ile ilk sırada yer almaktadır. Bu durum Aşkale Formasyonunun heyelana olan duyarlılığını açıkça göstermektedir. Ayrıca Anadolu Volkanı Sedimanter Serisi Formasyonu çalışma alanında % 2.45’lik bir alanda yayılım göstermesine rağmen heyelan yoğunluğuna göre % 11.41 ile ikinci sırada olduğu

görülmektedir. Heyelan yoğunluğuna göre üçüncü sırada bulunan Rizekent Formasyonu % 10.79'luk yoğunluğa sahip olup, çalışma alanının % 4.60'ını oluşturmaktadır.

Litoloji parametresi için heyelan yoğunlukları ve frekans değerlerine ilişkin veriler yardımı ile histogram hazırlanmıştır. Histogramda formasyonların alansal dağılımları, heyelan alanlarındaki dağılımları ve heyelan yoğunlukları arasındaki ilişkiler birlikte gösterilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Litoloji sınıfları yüzde dağılım grafikleri

3.3.3. Yamaç Eğimi

Heyelan duyarlılık analizlerinde sıklıkla kullanılan parametrelerden biri de eğim açısidir (Lee vd., 2001). Çoğu araştırmada yamaç eğiminin heyelan oluşumu ile doğrudan ilişkili olduğu ortaya konulmuştur. Genel olarak yamaç eğiminin artmasıyla heyelan duyarlılığının da artacağı yönünde bir görüş ortaya konulmasına rağmen, düşük eğim değerlerinde de heyelan oluşumunun gerçekleştiği gözlenmiştir (Dağ, 2007).

Yamaç eğimi ile ilgili bir diğer hususta eğim değerleri sınıf aralıklarının çoğu araştırmada farklı alınmasıdır. Bunun sebebi, çalışma alanlarındaki eğim değerlerinin farklılıkları, heyelan yoğunluklarının farklı olması ve araştırmacıların farklı yorumlarından kaynaklandığı düşünülmektedir (Çellek, 2013).

Çalışma alanına ait eğim haritası ArcGIS 10.2 yazılımında SYM haritası altlık olarak kullanılarak üretilmiştir. Üretilen eğim haritasında çalışma alanındaki en düşük eğim değeri 3.46° olup en yüksek eğim değeri ise 52° 'dir. Çalışmada eğim haritası yeniden sınıflandırılarak 11 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3.9). Daha sonra sınıflandırılan eğim haritası üzerine mevcut heyelanlar atılarak parametre alt sınıflarındaki toplam alan, heyelanlı alan ve heyelan yoğunlukları hesaplanmıştır (Tablo 3.2).

Tablo 3.2 deki veriler incelendiğinde çalışma alanında ilk sırayı 0° - 5° arasındaki eğim değerine sahip yamaçların aldığı anlaşılmaktadır. Çalışma alanının % 81.11'lik kısmını 0° ile 20° arasındaki yamaçlar oluşturmaktadır.

Heyelanlı alanların çalışma alanındaki dağılımlarına bakıldığında heyelanların genel olarak % 78.28'lik oranla 5° - 15° arasındaki yamaçlarda olduğu anlaşılmaktadır. 10° - 15° arasındaki yamaçlar % 31.20'lik oranla en fazla heyelanlı alana sahip sınıftır.

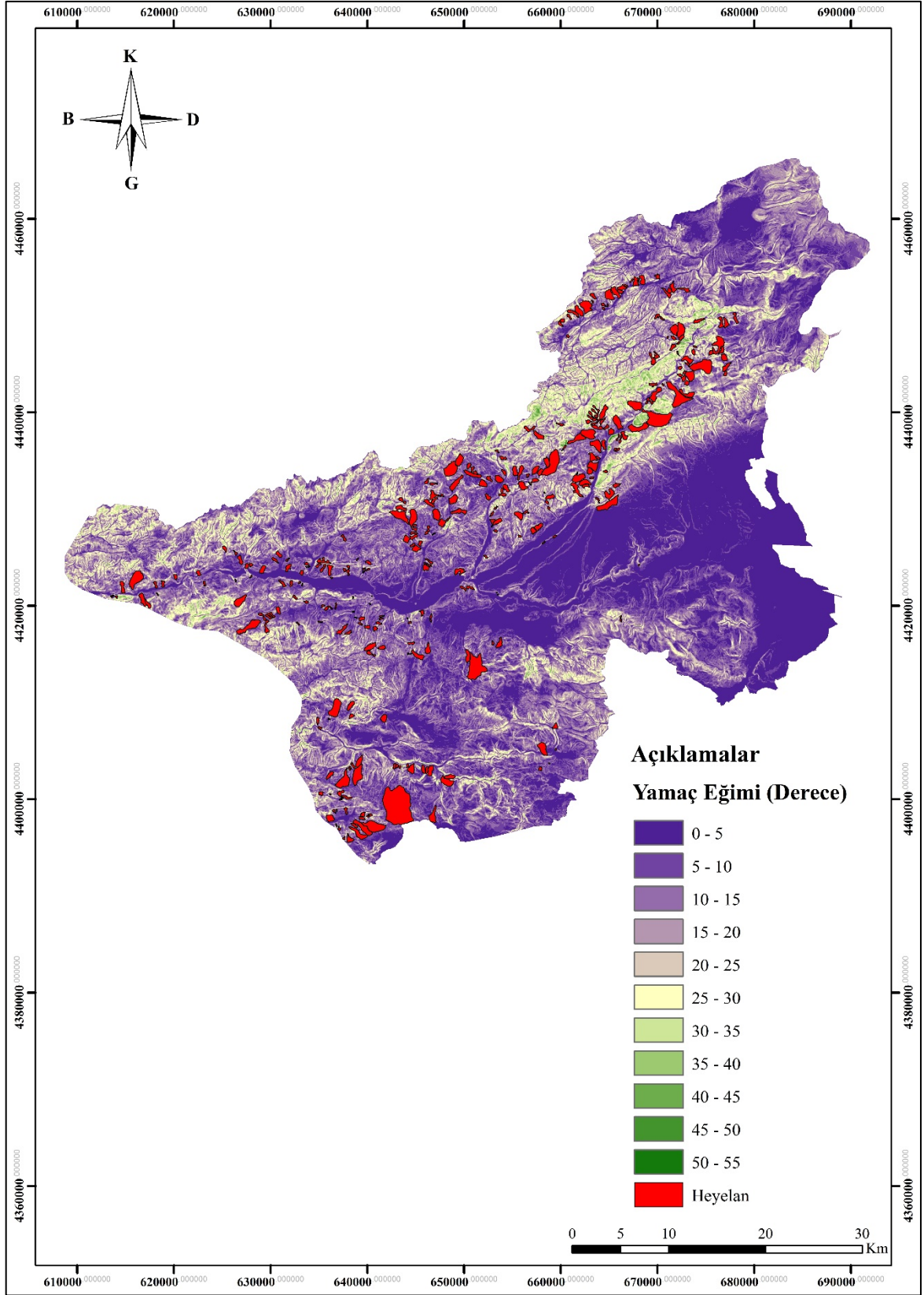
Heyelan yoğunlukları dikkate alındığında ise genel olarak heyelanların 35° - 50° aralığındaki yamaçlarda yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. 40° - 45° arasındaki eğimli yamaçlar heyelan yoğunluğuna göre % 18.63 ile ilk sırada bulunmaktadır.

Çalışma alanındaki heyelanların dağılımına bakıldığında 5° - 15° arasındaki yamaçlarda en fazla heyelanlı alana sahip sınıftır. Ancak 40° - 45° arasındaki eğimli yamaçlar çalışma alanının % 1.62'sini oluşturmasına rağmen, heyelan yoğunluğuna göre % 18.63 ile ilk sırada bulunmaktadır. Bu durum yüksek eğimli yamaçların heyelana karşı daha duyarlı olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Yamaç eğim parametresi için heyelan yoğunlukları ve frekans değerlerine ilişkin veriler yardımı ile histogram hazırlanmıştır. Histogramda formasyonların alansal dağılımları, heyelan alanlarındaki dağılımları ve heyelan yoğunlukları arasındaki ilişkiler birlikte gösterilmiştir (Şekil 3.10).

3.3.4. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

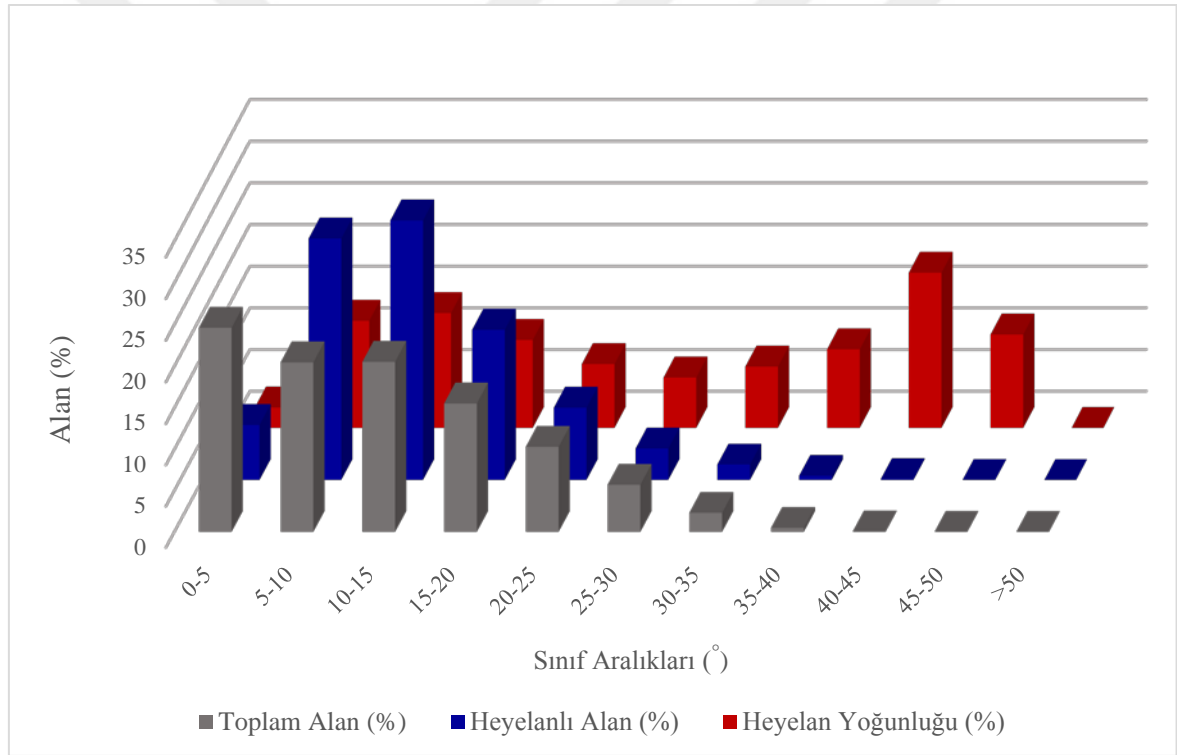
Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmalarda, deniz seviyesinden olan yüksekliği temel alan topoğrafik yükseklik parametresi sıkça kullanılmaktadır. Yükseklik parametresinin heyelan oluşumuna etkisi oldukça karışıktır.



Şekil 3.9. Çalışma alanı eğim haritası

Tablo 3.2. Eğim sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri

Eğim Sınıfları (°)	Piksel Sayısı (A)	Alan (km ²)	% A	Heyelanlı Piksel Sayısı (B)	Heyelanlı Alan (km ²)	% B	Frekans Oranı (%B/%A)	Heyelan Yoğunluğu (% Fr)
0-5	1041207	650.75	24.61	9753	6.10	6.65	0.27	2.45
5-10	865523	540.95	20.46	42560	26.60	29.02	1.42	12.86
10-15	868396	542.75	20.52	45747	28.59	31.20	1.52	13.78
15-20	656719	410.45	15.52	26500	16.56	18.07	1.16	10.56
20-25	436411	272.76	10.31	12789	7.99	8.72	0.85	7.67
25-30	241607	151.00	5.71	5588	3.49	3.81	0.67	6.05
30-35	97670	61.04	2.31	2747	1.72	1.87	0.81	7.36
35-40	20784	12.99	0.49	749	0.47	0.51	1.04	9.43
40-45	2584	1.62	0.06	184	0.12	0.13	2.05	18.63
45-50	420	0.26	0.01	18	0.01	0.01	1.24	11.21
> 50	28	0.02	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Toplam	4231349	2644.5	100	146635	91.64	100	11.03	100



Şekil 3.10. Eğim sınıflarına ait yüzde dağılım grafikleri

Çoğu araştırmacı topoğrafik olarak yüksek kesimlerin heyelana karşı daha duyarlı olduğunu savunurken, bazı araştırmalar düşük yüksekliklerdeki yamaçların da heyelana karşı oldukça duyarlı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Zolotroev (1976), topoğrafik olarak yüksek alanların daha fazla yağış aldığını ve yüksek rakımlı dağlık alanlardaki sismik ivmenin yatay bileşenin, vadi tabanlarına göre 1.2-1.5 kat daha yüksek oranda etki ettiğini belirterek, yüksek alanların heyelana karşı daha duyarlı olduğunu savunmuştur. Dağ (2007)

tarafından yapılan çalışmada çalışma alanındaki heyelanların literatürde orta yükseklik (150-400 m) olarak kabul edilen yamaçlarda yoğunlaştıkları tespit edilmiştir. Bu alanların heyelana karşı daha duyarlı olmasının sebebi olarak orta yükseklikteki alanlarda, yüksek alanlardan gelen yamaç malzemesinin varlığı ve ayrışma sonucu oluşan toprak örtüsünün yoğun olarak bulunması ile açıklanmıştır. Dai ve Lee (2002) tarafından yapılan çalışmada ise çalışma bölgesindeki heyelanların 200-500 m arasındaki yüksekliklerde yoğunlaştığını ve 500 m'den yüksek alanlarda yüksek dayanımlı kayalık alanların bulunması nedeniyle, heyelanların önemli ölçüde azaldığı belirtilmiştir.

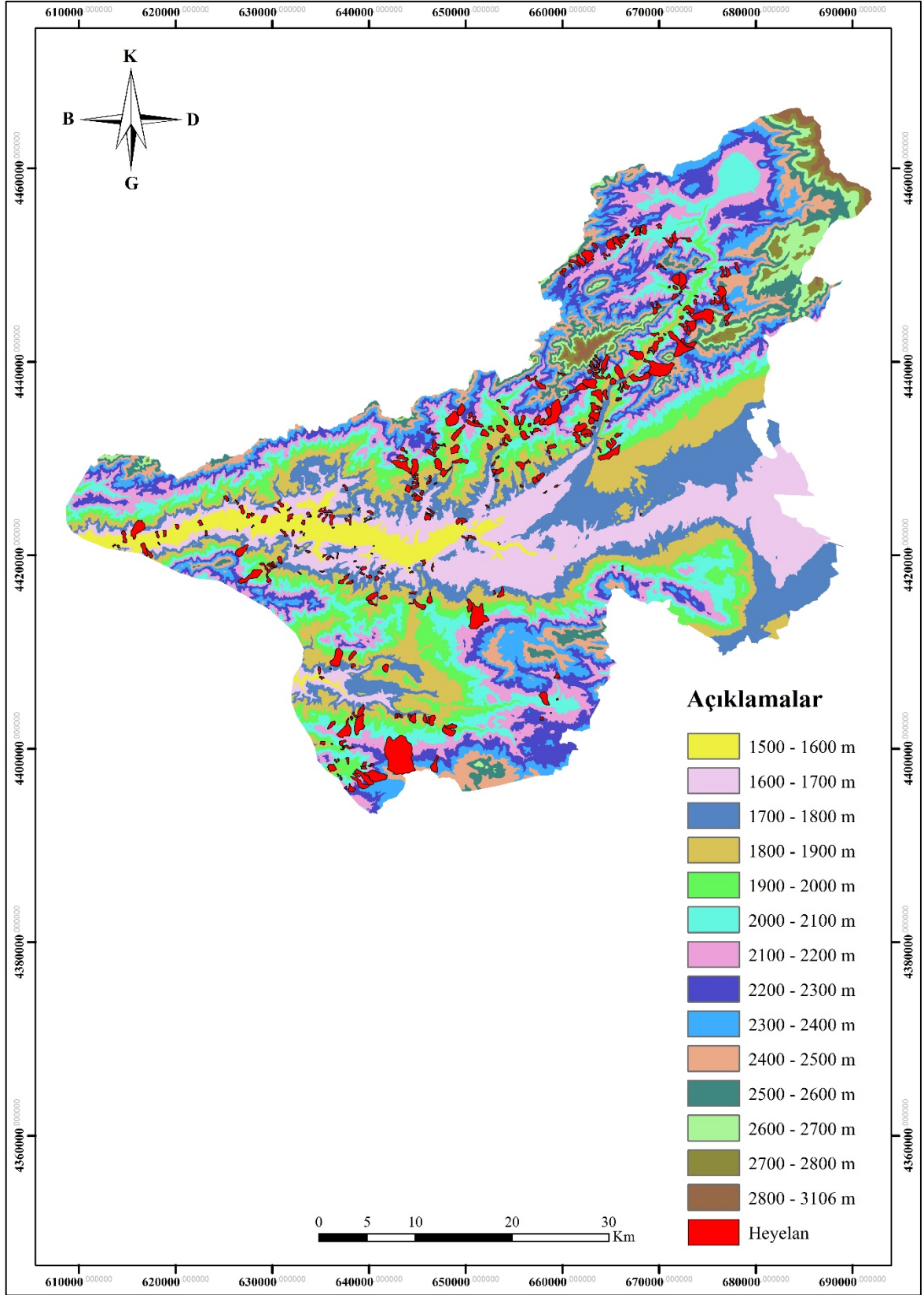
Çalışmada HGM (Harita Genel Müdürlüğü) tarafından hazırlanmış olan 1/25000 ölçekli sayısal topoğrafik haritaların kullanılmasıyla ArcGIS 10.2 yazılımında Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) haritası oluşturulmuştur. Üretilen SYM haritası diğer parametre haritaları için altlık niteliğinde olup, özellikle eğim, bakı ve eğrisellik haritaları SYM haritası kullanılarak hazırlanmıştır. Çalışma alanındaki en düşük kot değeri 1507 m olup en yüksek kot değeri ise 3112 metredir. Daha sonra SYM haritası 100 metrelik kot farkıyla yeniden sınıflandırılarak 14 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 3.11). Duyarlılık analizlerinde sınıflara ayrılmış olan SYM haritası üzerine model verisi için ayrılmış olan 266 adet heyelan atılarak her bir parametre alt grubundaki heyelanlı alan piksel değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3 deki veriler incelenecek olursa çalışma alanının yaklaşık % 70'i 1700 ile 2300 m arasındaki yüksekliklerden oluşmaktadır. Özellikle 1700-1900 m arasındaki yükseklikler toplam alanın % 29'unu oluşturarak çalışma alanı piksel sayısına göre ilk sırada yer almaktadır.

Heyelanlı alanların çalışma alanındaki dağılımlarına bakıldığında heyelanların genel olarak % 62'lik oranla 1900-2300 m arasında yayılım gösterdiği anlaşılmaktadır. 1900-2000 m arasındaki yükseklikler % 16.71'lik oranla en fazla heyelanlı alana sahip sınıftır.

Heyelan yoğunlukları dikkate alındığında ise ilk sırada % 14.49 ile 1900-2000 m arasındaki yükseklikler bulunmaktadır. Genel olarak heyelanlar % 62.85'lik oranla 1900-2400 m arasındaki yüksekliklerde yoğunlaşmaktadır.

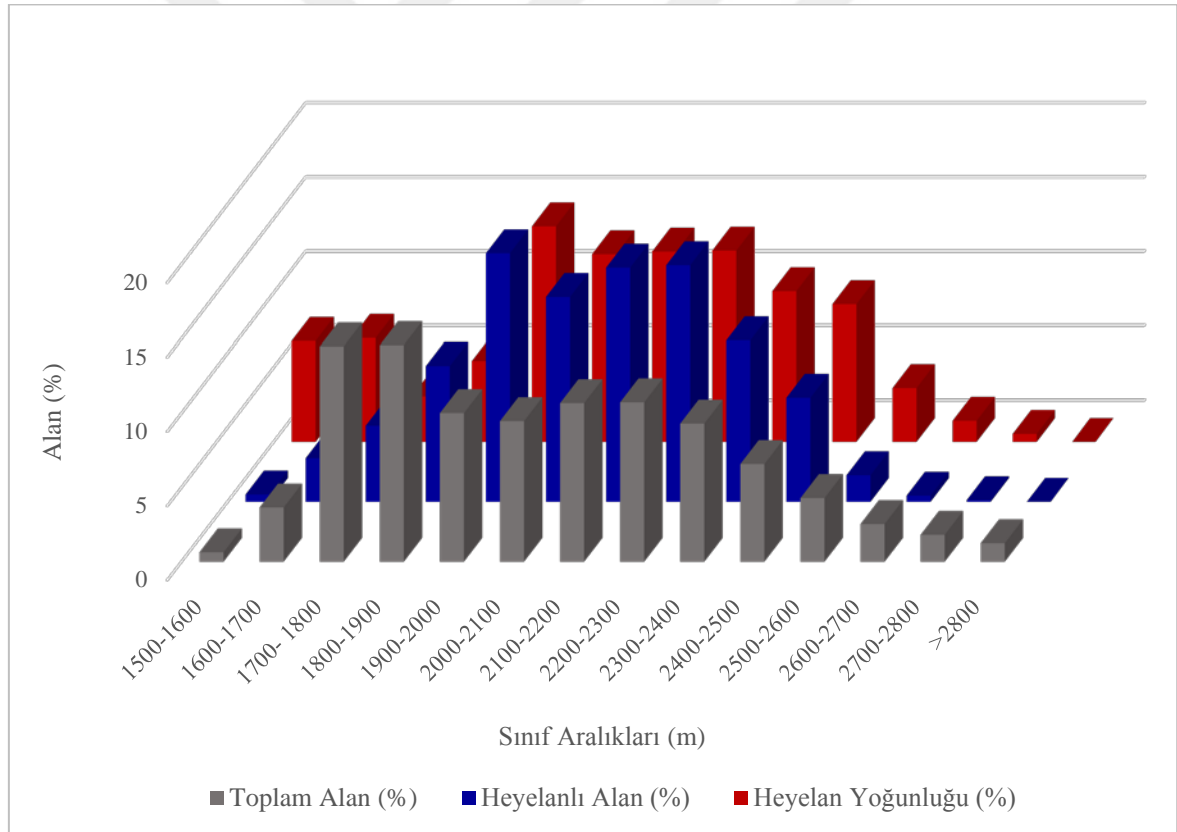
Yükseklik sınıflarının alansal dağılımları, heyelan alanlarındaki dağılımları ve heyelan yoğunlukları arasındaki ilişki, heyelan yoğunlukları ve frekans değerlerine ilişkin veriler kullanılarak hazırlanmış ve tekbir histogramda gösterilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.11. Çalışma alanı SYM haritası

Tablo 3.3. SYM sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri

SYM Sınıfları (m)	Piksel Sayısı (A)	Alan (km ²)	% A	Heyelanlı Piksel Sayısı (B)	Heyelanlı Alan (km ²)	% B	Frekans Oranı (%B/%A)	Heyelan Yoğunluğu (% Fr)
1500-1600	26767	16.73	0.63	725	0.45	0.49	0.78	6.78
1600-1700	154437	96.52	3.65	4309	2.69	2.94	0.81	6.99
1700-1800	612739	382.96	14.48	7519	4.70	5.13	0.35	3.07
1800-1900	616400	385.25	14.57	13398	8.37	9.14	0.63	5.44
1900-2000	423523	264.70	10.01	24500	15.31	16.71	1.67	14.49
2000-2100	400826	250.52	9.47	20182	12.61	13.76	1.45	12.61
2100-2200	452036	282.52	10.68	23078	14.42	15.74	1.47	12.79
2200-2300	454484	284.05	10.74	23317	14.57	15.90	1.48	12.85
2300-2400	393774	246.11	9.31	15914	9.95	10.85	1.17	10.12
2400-2500	278406	174.00	6.58	10282	6.43	7.01	1.07	9.25
2500-2600	181332	113.33	4.29	2631	1.64	1.79	0.42	3.63
2600-2700	107337	67.09	2.54	613	0.38	0.42	0.16	1.43
2700-2800	76638	47.90	1.81	167	0.10	0.11	0.06	0.55
>2800	52650	32.91	1.24	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Toplam (Σ)	4231349	2644.5	100	146635	91.64	100	11.52	100



Şekil 3.12. SYM sınıflarına ait yüzde dağılım grafikleri

3.3.5. Yamaç Eğim Yönü (Bakı)

Heyelan duyarlılığı açısından birçok araştırmada bakının önemli bir faktör olduğu belirtilmesine rağmen, heyelan ile bakı arasındaki ilişki konusunda tam bir fikir birliğine varılamamıştır. Ancak birçok araştırmacı yaptıkları istatistiksel değerlendirmede heyelanların belli yönelime sahip yamaçlarda yoğunlaştığını saptamışlardır (Dağ, 2007).

Pachauri ve Pant (1992) ile Ayalew ve Yamagishi (2005) heyelanların belli bir yönelimde yoğunlaşmasının nedenini yağışla ilişkilendirmiş ve bu durumun sahanın genel morfolojik eğiminin sonucu olduğunu ortaya koymuşlardır. Hakim eğim yönüne sahip yağışın daha yoğun olduğu yamaçlar, eğim, zemin türü, geçirimsizlik, bitki örtüsü vb. birçok faktör tarafından etkilenen süzülme kapasitesine de bağlı olarak su doygunluğuna daha çabuk ulaşabilmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Bu sayede yoğun yağış alan yamaçlar heyelan duyarlılığı açısından zayıf hale gelmektedir.

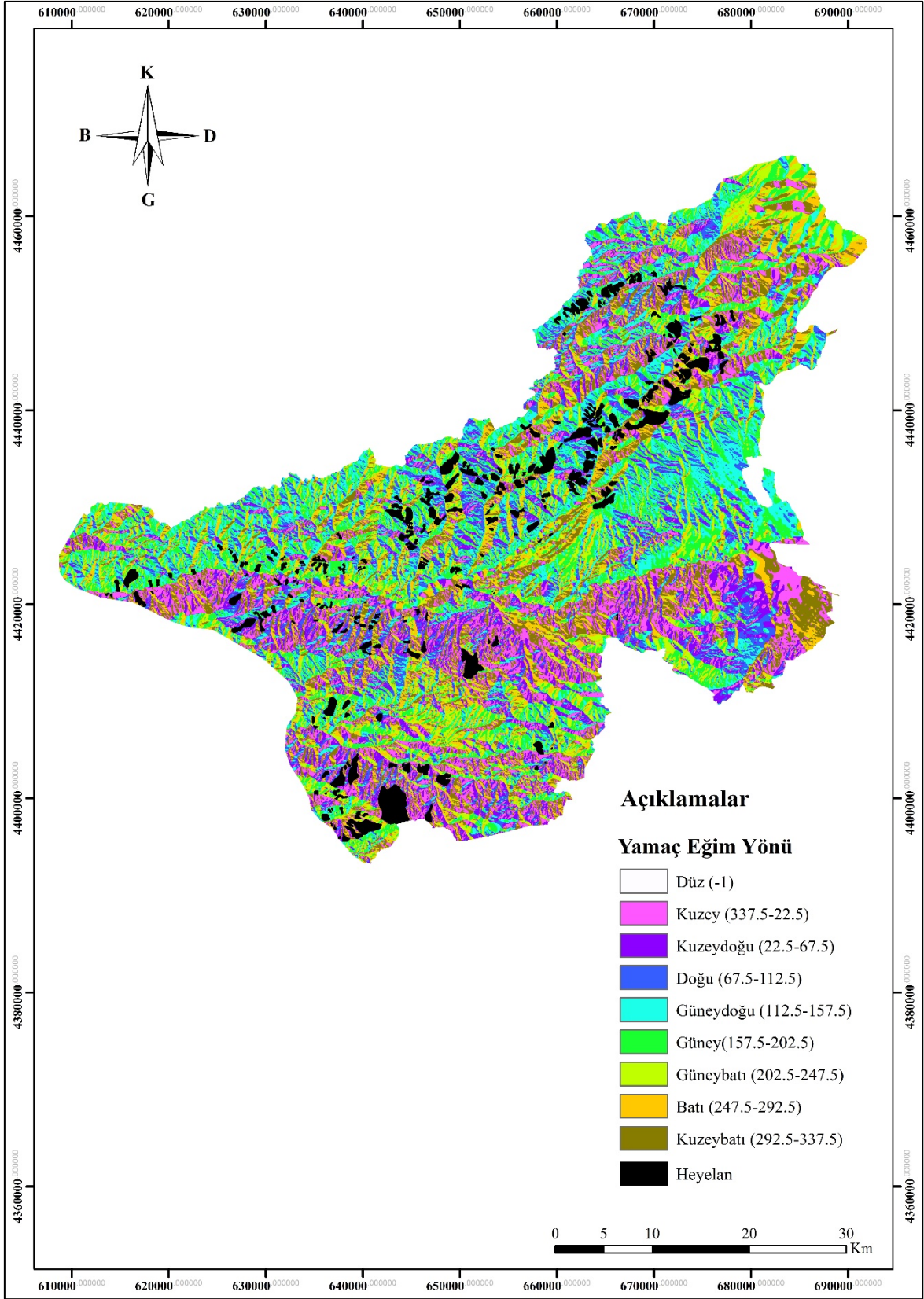
Tez çalışması kapsamında SYM haritası altlık olarak kullanılarak yamaç bakı haritası üretilmiştir. Bakı haritası ana ve ara yönler dikkate alınarak 45°'lik açılara bölünmüş ayrıca herhangi bir yöne bakmayan ve düz olan yamaçlar da 0 derece ile temsil edilerek toplamda 9 sınıf oluşturulmuştur (Şekil 3.13). Duyarlılık analizlerinde bakı haritası üzerine model verisi için ayrılmış olan 266 adet heyelan atılarak, her bir parametre alt sınıfının heyelanlı alan piksel sayıları (B), çalışma alanı piksel sayıları (A), frekans değerleri (%B/%A) ve alanları ile birlikte heyelan yoğunlukları (% Fr) hesaplanmıştır (Tablo 3.4).

Tablo 3.4'deki veriler incelendiğinde özellikle % 15.77'lik oranla güney bakılı yamaçlar çalışma alanı yüzde dağılımına göre ilk sırada bulunmaktadır. Çalışma alanında diğer yönler yaklaşık olarak eşit oranda dağılmıştır.

Heyelanlı alanların çalışma alanındaki dağılımlarına bakıldığında heyelanların tüm yönlerde yaklaşık eşit oranda dağıldı görülürken, özellikle kuzey bakılı yamaçlarda heyelanların % 16.42'lik oranla ilk sırada bulunduğu anlaşılmaktadır.

Heyelan yoğunlukları dikkate alındığında ise genel olarak heyelanların tüm yönlerde dağıldığı görülürken yine kuzey bakılı yamaçların % 15.08'lik oranla heyelan yoğunluğunda ilk sırada bulunduğu anlaşılmıştır.

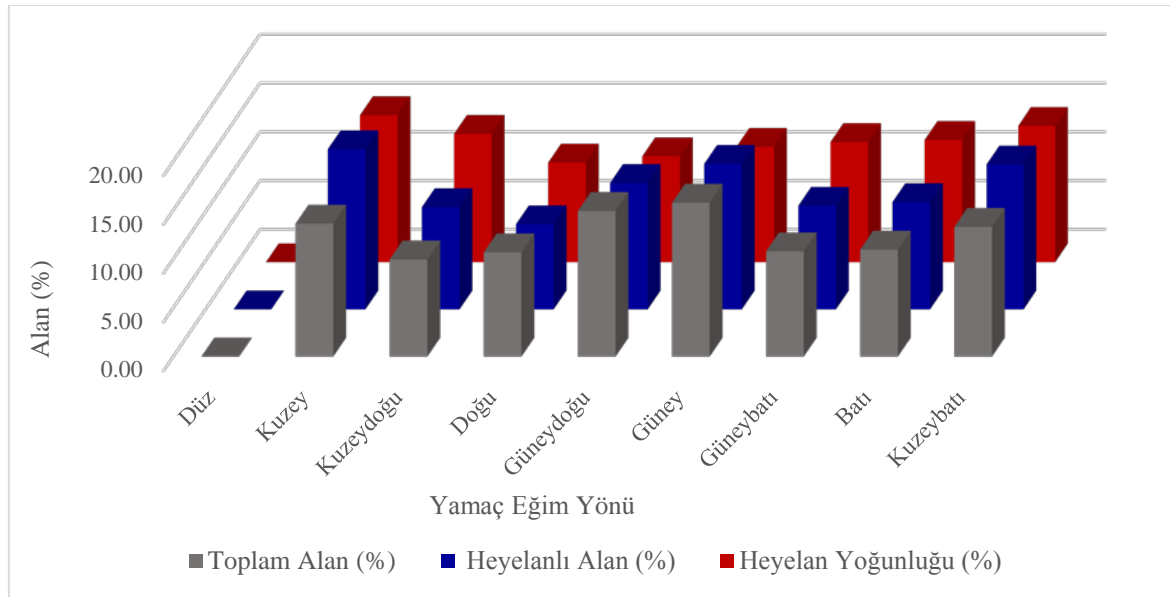
Yamaç eğim yönü parametresi için heyelan yoğunlukları ve frekans değerlerine ilişkin veriler yardımı ile histogram hazırlanmıştır. Histogramda formasyonların alansal dağılımları, heyelan alanlarındaki dağılımları ve heyelan yoğunlukları arasındaki ilişkiler birlikte gösterilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.13. Çalışma alanı yamaç eğim yönü (bakı) haritası

Tablo 3.4. Bakı sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri

Bakı Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	Alan (km ²)	% A	Heyelanlı Piksel Sayısı (B)	Heyelanlı Alan (km ²)	% B	Frekans Oranı (%B/%A)	Heyelan Yoğunluğu (% Fr)
Düz	31	0.02	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00
Kuzey	576392	360.25	13.62	24080	15.05	16.42	1.21	15.08
Kuzeydoğu	421335	263.33	9.96	15373	9.61	10.48	1.05	13.17
Doğu	452133	282.58	10.69	12800	8.00	8.73	0.82	10.22
Güneydoğu	631486	394.68	14.92	19011	11.88	12.96	0.87	10.86
Güney	667201	417.00	15.77	21876	13.67	14.92	0.95	11.83
Güneybatı	456280	285.18	10.78	15583	9.74	10.63	0.99	12.32
Batı	463967	289.98	10.96	16125	10.08	11.00	1.00	12.54
Kuzeybatı	562524	351.58	13.29	21787	13.62	14.86	1.12	13.98
Toplam	4231349	2644.5	100	146635	91.64	100	8.00	100



Şekil 3.14. Bakı sınıfları yüzde dağılım grafikleri

3.3.6. Yamaç Eğriselliği

Yamaçların sahip olduğu farklı topoğrafik şekillerin iç ve dış gerilimlerinde farklı olmakta buda duraysızlıklara neden olabilmektedir. Genel bir kanı olarak, dış bükey yamaçların iç bükey yamaçlara oranla daha duyarlı olduğu kabul edilmektedir (Van Westen ve Bonilla, (1990); Carrara vd., (1991); Juang vd., (1992); Guliande vd., (1993); Guzzetti vd., (1999)). Ancak farklı araştırmalarda bu durumun tersi yönünde veriler ortaya konulmuştur (Jakob, 2000).

Genel olarak eğrisellik haritaları ile yamaçların şekilleri ortaya konmaya çalışılır. Eğrisellik haritaları, SYM'nin ikinci türevi olarak elde edilir ve eğimdeki göreceli değişime

bağlı olarak ifade edilir (Erener ve Düzgün, 2010). Pozitif eğrisellik, bir hücrede yüzeyin yukarıya doğru dışbükey olduğunu, negatif eğrisellik ise yüzeyin o hücrede yukarı doğru içbükey, sıfır değeri ise yüzeyin düz olduğunu temsil eder (Akıncı vd., 2010).

Yamaçların şeklinin heyelan oluşumu sonrası değişmesi nedeniyle bu parametre ile ilgili istatistiki veri toplanması güçtür (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). İç bükey yamaçlardaki yüzey sularının yamaçları oyma oranları dış bükey yamaçlara göre daha fazla olduğundan bu alanlar heyelana karşı daha duyarlı kabul edilir. İç bükey yamaçlarda yüzey suları malzeme içinde toplanıp, yamacın suya doygunluğunu artırırken dış bükey yamaçlarda drenaja bağlı olarak yamaç doygunluğu artar (Çellek, 2013).

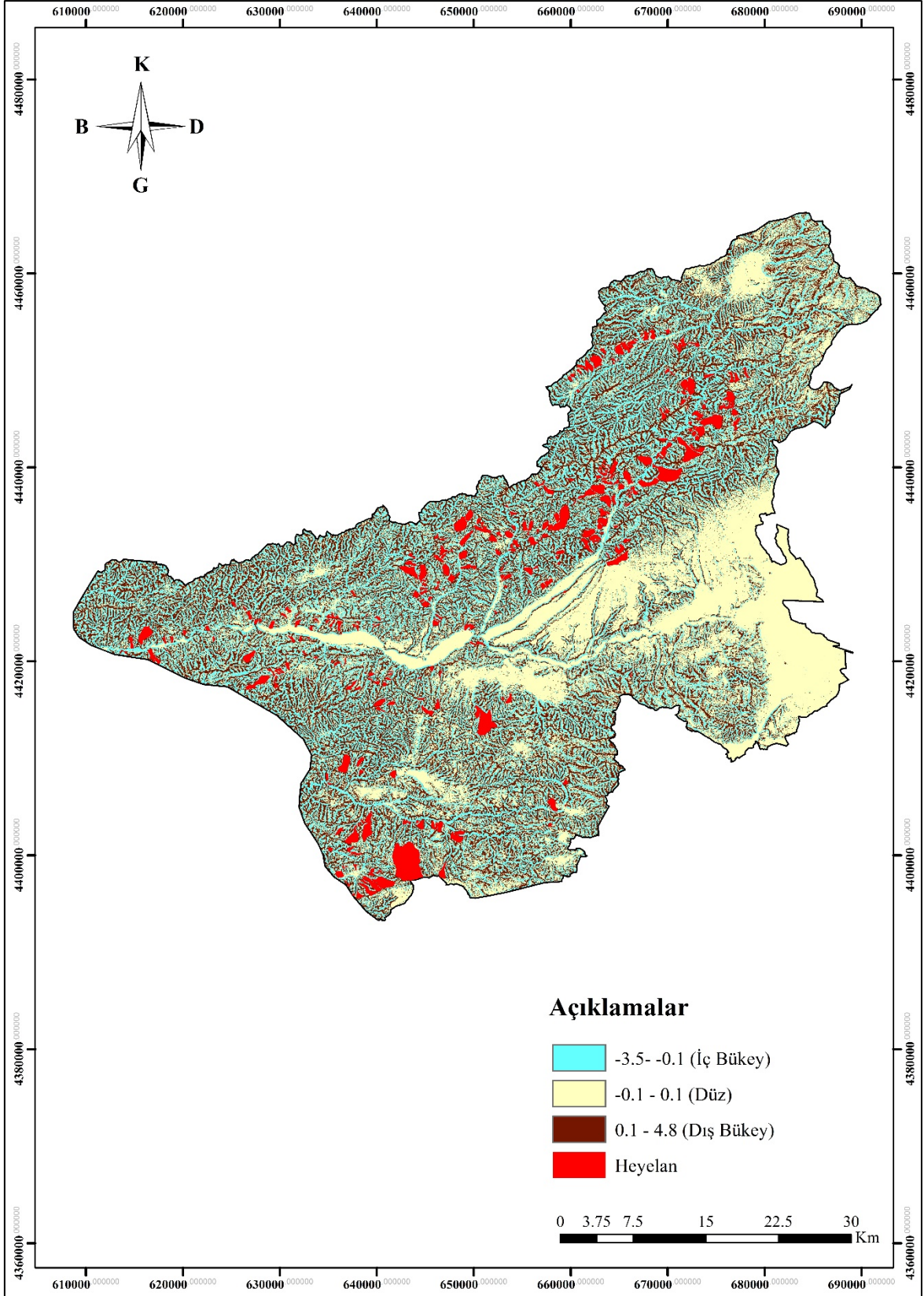
Çalışmada SYM haritası altlık olarak kullanılarak yamaç eğriselliği haritası üretilmiştir. Oluşturulan haritada dış bükey alanlar pozitif değer, iç bükey alanlar ise negatif değerle ve düz alanlar ise sıfır değeri ile temsil edilmiştir. Eğrisellik haritası iç bükey, düz ve dış bükey alanlar olarak toplamda 3 sınıfa ayrılmış olup, sınıflamada en küçük değer -3.5, en yüksek değer ise 4.79'dur (Şekil 3.15). Duyarlılık analizlerinde eğrisellik haritası üzerine model verisi için ayrılmış olan 266 adet heyelan atılarak, her bir parametre alt sınıfının heyelanlı alan piksel sayıları (B), çalışma alanı piksel sayıları (A), frekans değerleri (%B/%A) ve alanları ile birlikte heyelan yoğunlukları (% Fr) hesaplanmıştır (Tablo 3.5).

Tablo 3.5'deki veriler incelendiğinde, eğriselliğe göre çalışma alandaki alansal dağılımda ilk sırayı % 36.77'lik oranla (-0.1)-(0.1) sınıfındaki düz şekilli yamaçların aldığı görülmektedir. Sonraki sınıflar % 31.25 ve % 31.98'lik oranlarla yaklaşık eşit dağılmıştır.

Heyelanlı alanların eğrisellik sınıfları arasındaki % dağılımları incelendiği zaman, en yoğun aralık % 41.96'lık oranla iç bükey şekilli yamaçlarda görülmektedir. Dış bükey şekilli yamaçların heyelanlı alan oranı ise % 31.78'dir. Düz şekilli yamaçlar ise heyelanlı piksellerin % 26.26'sına sahiptir.

Eğrisellik sınıflarında heyelan yoğunluğu (%) oranlarına bakıldığında ise yine ilk sırayı % 44.02'lik oranla (-3.5)-(-0.1) sınıfındaki iç bükey yamaçların aldığı görülmektedir. Dış bükey şekilli yamaçlar ise % 32.57'lik orana sahiptir. Düz şekle sahip yamaçlar ise heyelan yoğunluğunda % 23.41'lik bir orana sahiptir.

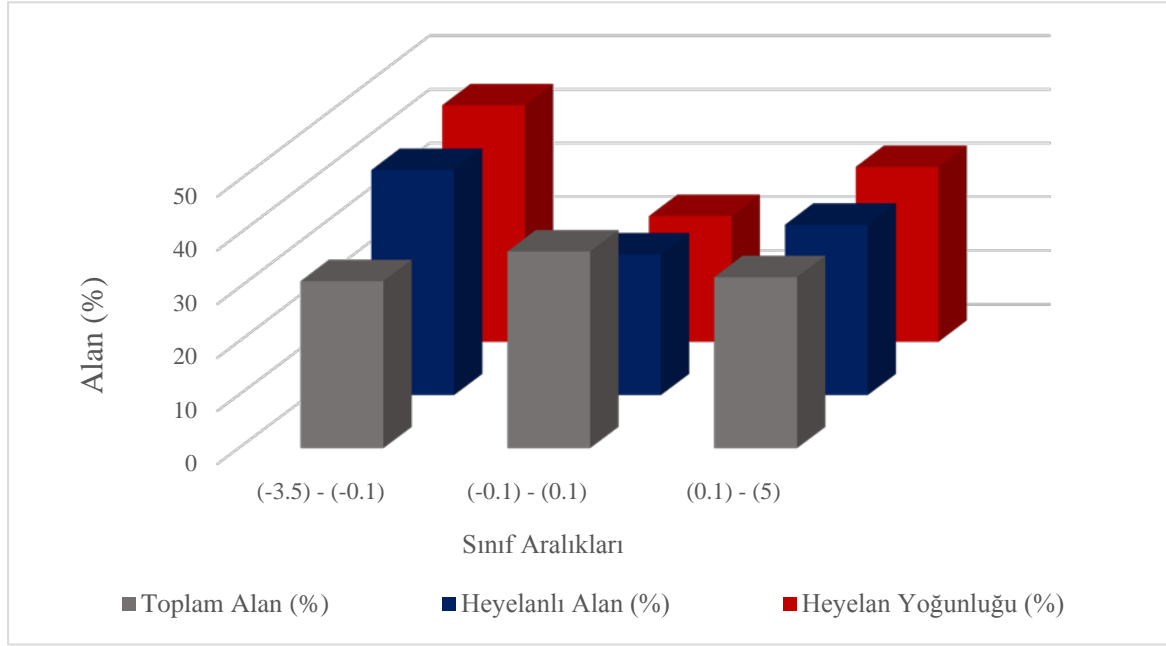
Eğrisellik parametresi için heyelan yoğunlukları ve frekans değerlerine ilişkin veriler yardımı ile histogramlar hazırlanmıştır. Eğrisellik sınıflarının alansal dağılımları, heyelan alanlarındaki dağılımları ve heyelan yoğunlukları arasındaki ilişki tek bir histogramda gösterilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.15. Çalışma alanı yamaç eğrisellik haritası

Tablo 3.5. Eğrisellik sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri

Eğrisellik Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	Alan (km ²)	% A	Heyelanlı Piksel Sayısı (B)	Heyelanlı Alan (km ²)	% B	Frekans Oranı (%B/%A)	Heyelan Yoğunluğu (% Fr)
(-3.5)-(-0.1)	1322245	826.40	31.25	61530	38.45	41.96	1.34	44.02
(-0.1)-(0.1)	1555710	972.32	36.77	38502	24.06	26.26	0.71	23.41
(0.1) – (5)	1353394	845.87	31.98	46603	29.12	31.78	0.99	32.57
Toplam	4231349	2644.5	100	146635	91.64	100	3.05	100



Şekil 3.16. Eğrisellik sınıfları yüzde dağılım grafikleri

3.3.7. Ana Faya Yakınlık

Yapısal unsurlara yakın olan alanlarda, zemin yapısı tektonik etkiler nedeniyle deforme olarak zayıf hale gelmektedir. Bu nedenle faylara yakın olan alanlarda heyelan oluşumunun daha fazla olacağı düşünülmektedir. Faylara yakın olan alanların heyelan duyarlılığının yüksek, faylardan uzaklaştıkça heyelan duyarlılığının düşük hale geldiği genel anlamda kabul edilmektedir. Bu nedenle çoğu araştırmacı faylara yakınlık parametresini kullanmıştır (Choubey ve Litoria, 1990; Van Westen ve Bonilla, 1990; Anbalagan, 1992; Pachauri ve Pant, 1992; Maharaj, 1993; Mejia ve Wohl, 1994; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Binaghi vd., 1998; Pistochi vd., 2002; Süzen vd., 2004; Duman vd., 2005; Yılmaz, 2010).

Aktif olmayan faylarında heyelan oluşumunda etkisi olabileceğini ortaya koyan Luzi ve Pergalani (1999), duyarlılık için 0, 50, 150, 300, 500 ve 500 metreden büyük uzaklıkları

temel olarak, faylara yakın olan kayaçlardaki parçalanma ve deformasyonların nedeninin faylardan kaynaklanabileceğini ileri sürmüşlerdir. Çoğu araştırmacı faya yakınlık parametresinde yapılan sınıflamalarda, fayların etki alanının daha geniş olabileceği gerçeği ile hareket edip sınıf aralıklarını daha geniş tutmuşlardır.

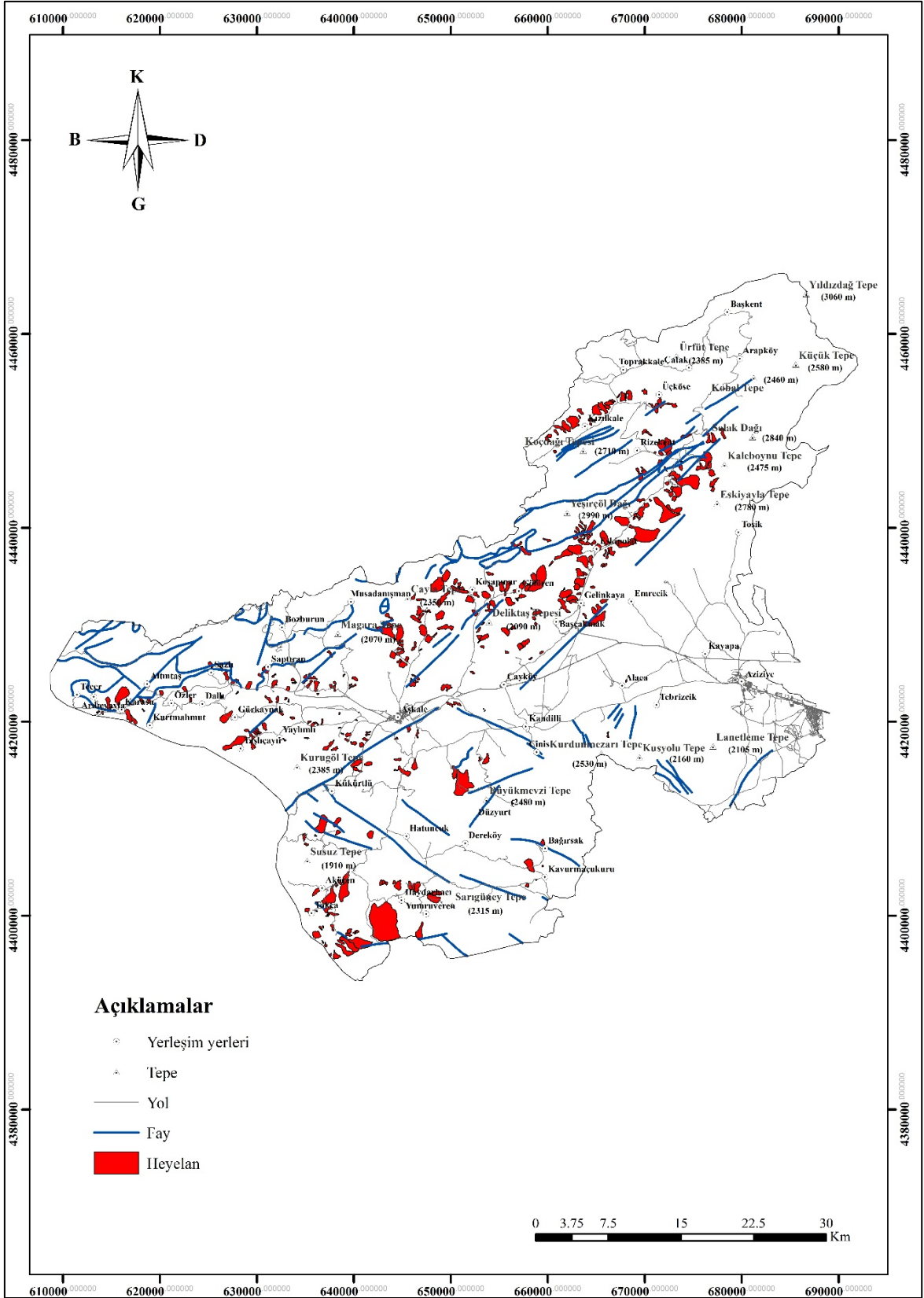
Çalışma alanında, iki farklı jeolojik evrede KKB-GGD yönlü sıkışma kuvvetlerine maruz kalarak Alpin orojenezi ve neotektonik dönemlerde gerçekleşmiş naplı ve bindirmeli yapılar oluşmuştur. Çalışma alanı içindeki tabaka ve fayların çoğunluğu KD-GB doğrultulu olup, yine aynı doğrultulu antiklinal ve senklinaller bulunmaktadır. Çalışma alanında bulunan Gelinkaya Formasyonu dışında diğer formasyonlar çeşitli zamanlarda deformasyonlara maruz kalarak kıvrımlanmalar geçirmiştir. Dolayısıyla çalışma alanında çok sayıda aktif ve pasif fay bulunmaktadır. Heyelan envanter haritası incelendiğinde çoğu bölgede heyelanların belli bir hat boyunca gelişerek çizgisellik sunması, heyelan oluşumundaki temel kaynaklardan birinin de faylar olabileceği kanısını doğurmuştur. Bu nedenle faya yakınlık parametresi analizde özellikle kullanılmıştır.

Tez çalışması kapsamında kullanılan sayısal fay haritası, MTA Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış olan 1/100000 ölçekli topoğrafik haritalar üzerinden sayısallaştırılarak üretilmiştir (Şekil 3.17).

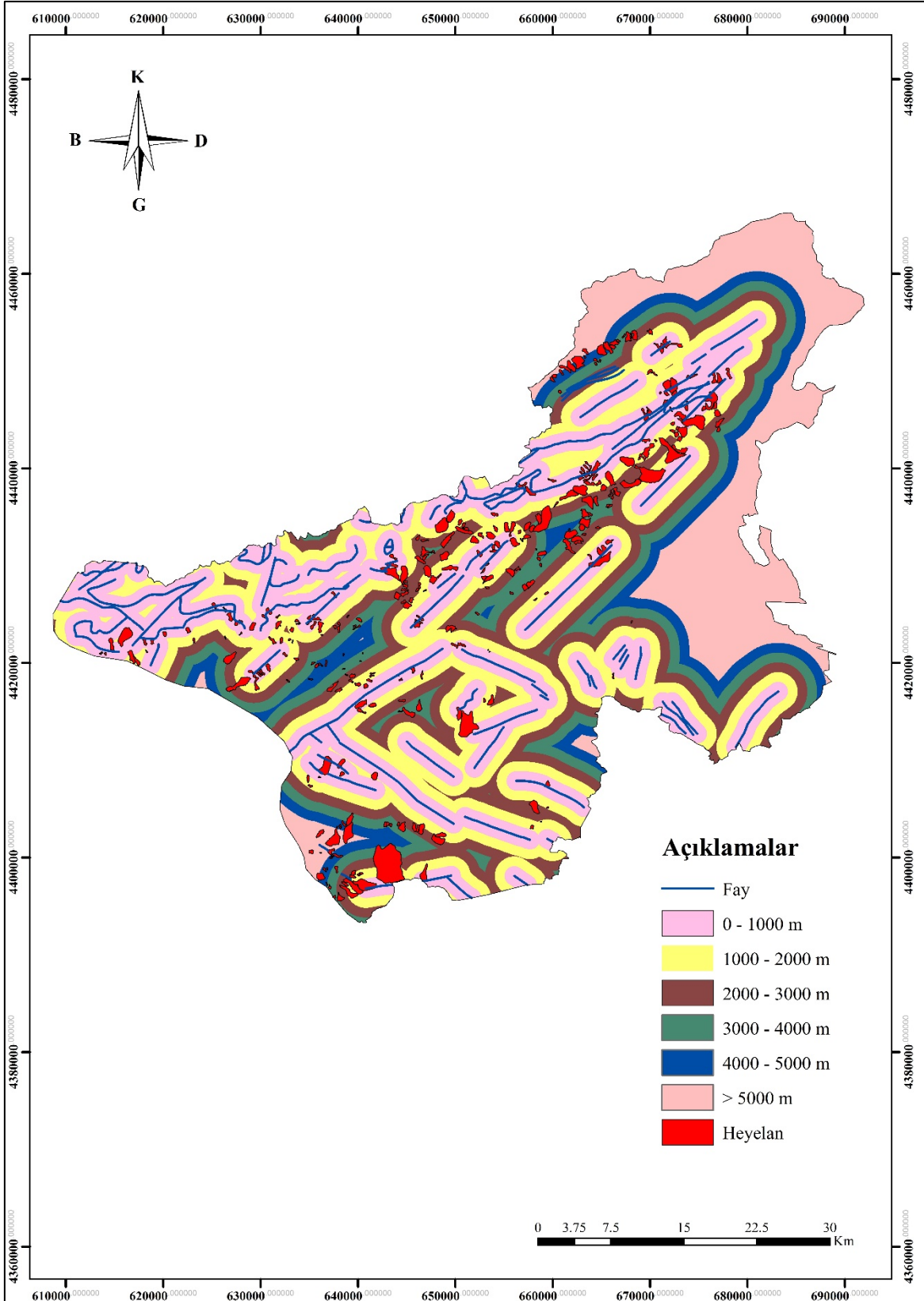
Duyarlılık analizinde fayların heyelana olan etki alanı düşünülerek faylara 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 ve 5000 m'den büyük olmak üzere altı adet tampon bölge atılmış ve fayların heyelanlarla ilişkileri irdelenmiştir (Şekil 3.18). Daha sonra analizlerde sınıflanmış fay haritası üzerine model verisi için ayrılmış olan 266 adet heyelan atılarak, her bir parametre alt sınıfının heyelanlı alan piksel sayıları (B), çalışma alanı piksel sayıları (A), frekans değerleri ($\%B/\%A$) ve alanları ile birlikte heyelan yoğunlukları ($\% Fr$) hesaplanmıştır (Tablo 3.6).

Tablo 3.6'daki veriler incelendiğinde, faya yakınlıkta çalışma alanında alansal dağılımda ilk sırada $\% 31.42$ 'lik oranla ile 0-1000 m sınıfı bulunmaktadır. Sonra $\% 23.60$ 'lık oranla 1000-2000 m sınıfı gelmekte olup kalan sınıflar ise çalışma alanının $\% 45$ ' ini oluşturmaktadır.

Heyelanlı alanların faya yakınlık sınıflarındaki $\%$ dağılımları incelenecek olursa, yine ilk sırada $\% 34.37$ 'lik oranla 0-1000 metre sınıfının, ikinci sırada ise $\% 29.70$ 'lik oranla 1000-2000 m arasındaki sınıfın aldığı görülmektedir. Heyelanların $\% 64$ 'lük kısmı bu iki sınıfta bulunmaktadır.



Şekil 3.17. Çalışma alanı fay haritası



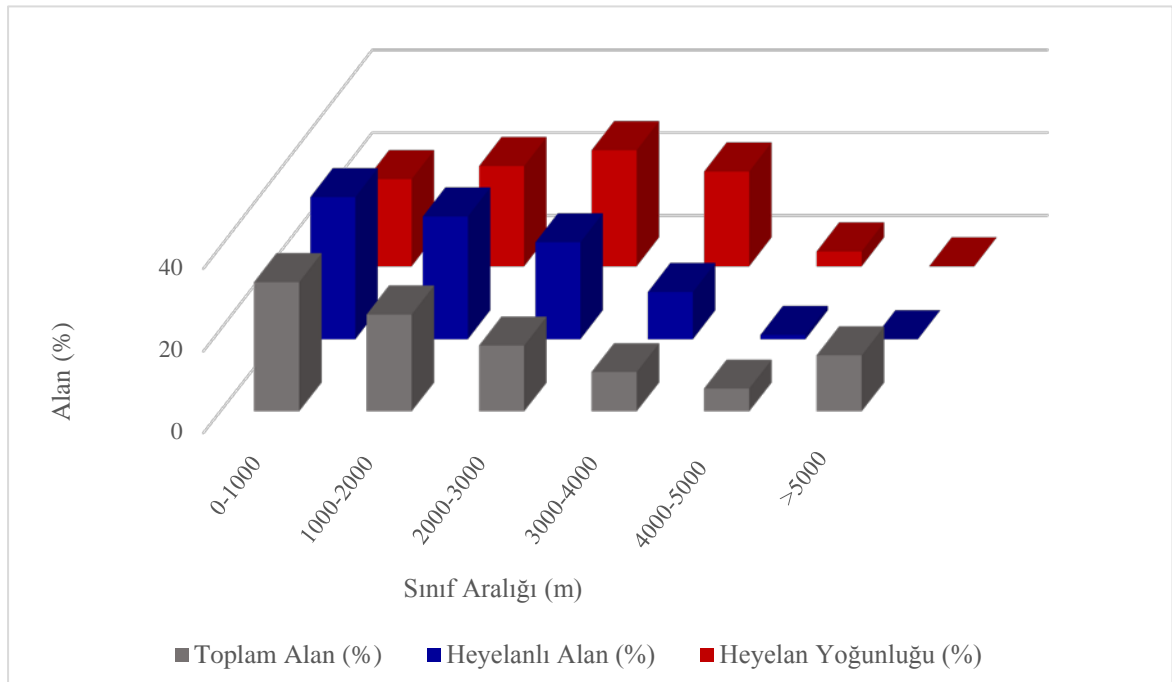
Şekil 3.18. Ana faya yakınlık haritası

Faya yakınlık sınıflarında heyelan yoğunluğu (%) oranlarına bakıldığında ise, ilk sırayı % 28.09'luk oranla 2000-3000 m sınıfının aldığı görülmektedir. Genel olarak 4000 metreye kadar heyelan yoğunluğunun yaklaşık eşit dağıldığı söylenebilir. 5000 metreden uzak alanların ise heyelan yoğunluğu % 0 çıkmıştır. Bu sonuçlar ışığında faylara yaklaştıkça heyelan duyarlılığının da artacağı söylenebilir.

Faya yakınlık parametresi için heyelan yoğunluk ve frekans değerlerine ilişkin veriler yardımı ile histogramlar hazırlanmıştır. Faya yakınlık sınıflarının alansal dağılımları, heyelan alanlarındaki dağılımları ve heyelan yoğunlukları arasındaki ilişki tek bir histogramda gösterilmiştir (Şekil 3.19).

Tablo 3.6. Ana Faya yakınlık sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri

Ana Faya Yakınlık (m)	Piksel Sayısı (A)	Alan (km ²)	% A	Heyelanlı Piksel Sayısı (B)	Heyelanlı Alan (km ²)	% B	Frekans Oranı (%B/%A)	Heyelan Yoğunluğu (% Fr)
0-1000	1329355	830.85	31.42	50395	31.4969	34.37	1.09	21.09
1000-2000	998584	624.12	23.60	43548	27.2175	29.70	1.26	24.26
2000-3000	680857	425.54	16.09	34381	21.4881	23.45	1.46	28.09
3000-4000	406962	254.35	9.62	16777	10.4856	11.44	1.19	22.94
4000-5000	235919	147.45	5.58	1534	0.9588	1.05	0.19	3.62
>5000	579672	362.30	13.70	0	0.0000	0.00	0.00	0.00
Toplam	4231349	2644.5	100	146635	91.6469	100	5.19	100



Şekil 3.19. Ana faya yakınlık sınıfları yüzde dağılım grafikleri

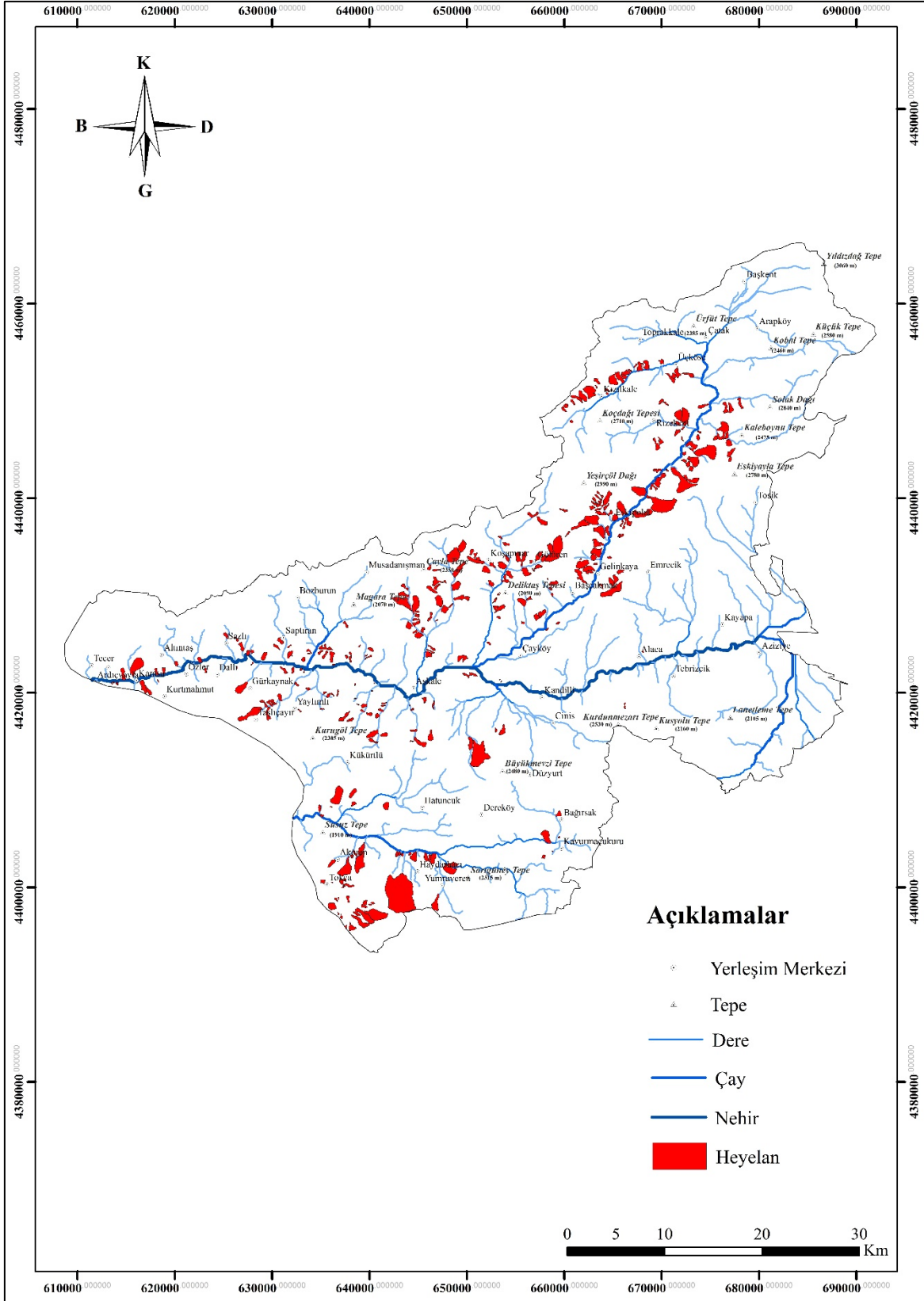
3.3.8. Akarsuya Yakınlık

Yamaçların drenaj ağına yakınlığı duraylılık açısından önemli bir faktördür. Çünkü akarsular, yamaç topuğunu erozyona uğratarak ya da yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesinin altındaki kesimini suya doygun hale getirerek, yamaçların duraylılığını bozmaktadır. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik birçok çalışmada araştırmacılar saha gözlemlerinden yararlanarak akarsu yataklarına yakınlığı, heyelan değerlendirmelerinde bir parametre olarak kullanmışlardır (Dağ, 2007).

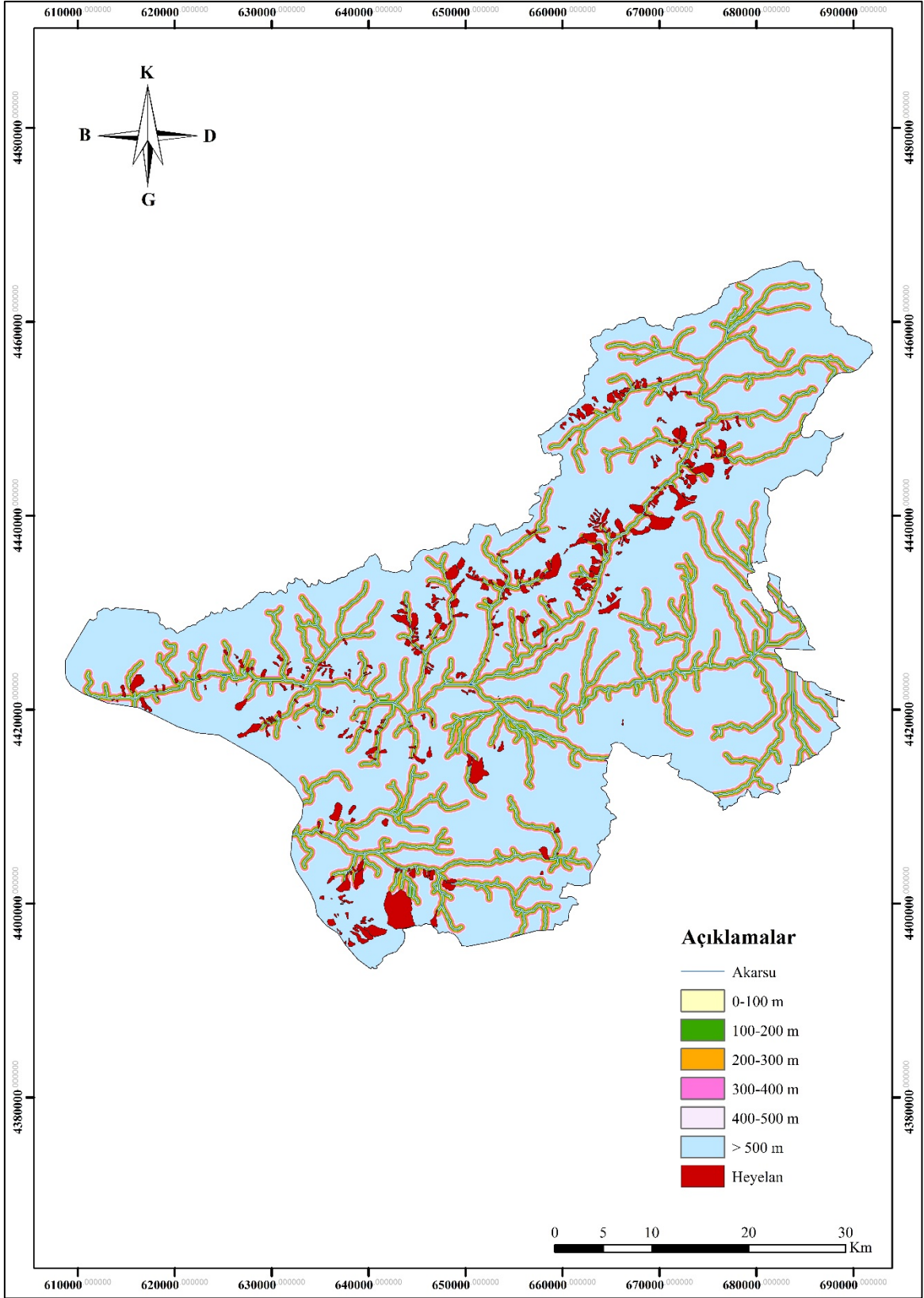
Heyelan duyarlılık analizlerinde, drenaj ağına yakınlık ve drenaj yoğunluğu şeklinde iki farklı yöntemle duyarlılık değerlendirmeleri yapılmaktadır. Drenaj yoğunluğu hesaplaması; akarsuyun toplam uzunluğunun, drenaj havzasına oranı ile hesaplanmaktadır. Drenaj ağına yakınlıkta ise; akarsularla heyelanlar arasındaki uzaklıkların hesaplanması yapılmaktadır. Akarsuya yakınlığın heyelan oluşumu üzerindeki etkisini bulmak için yapılan çalışmalarda hangi uzaklığın kullanılacağı konusunda henüz fikir birliği sağlanamamıştır. Liu vd., (2004) tarafından yapılan çalışmada drenaja 50 m'lik tampon oluşturularak bu tamponlar dışındaki alanları hesaplamalara katmamışlardır. Sonuçta heyelanların büyük çoğunluğunun akarsulara yakın alanlarda meydana geldiğini belirtmişlerdir. Temesgen vd., (2001), tarafından yapılan çalışmada ise heyelanların akarsulara olan mesafeleri hesaplanarak toplamda 3000 metrelik bir zonda altı sınıf oluşturularak değerlendirmeler yapılmış ve heyelanların % 80'lik kısmının 500 metrelik tampon bölge içinde kaldığını belirtmişlerdir.

Çalışmada Yukarı Karasu Havzasındaki yoğun drenaj ağı varlığına bağlı olarak, akarsulara yakınlık parametresi duyarlılık analizinde kullanılmıştır. Akarsu haritası oluşturulurken Harita Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış olan 1/25000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalar altlık olarak kullanılmış ve ArcGIS 10.2 yazılımında akarsu ağları oluşturulmuştur (Şekil 3.20).

Duyarlılık analizlerinde akarsuların heyelana olan etki alanları düşünülerek akarsulara 100, 200, 300, 400, 500 ve 500 m'den büyük olmak üzere altı adet tampon bölge atılmış ve akarsuların heyelanlarla ilişkileri irdelenmiştir (Şekil 3.21). Daha sonra sınıflanmış akarsu haritası üzerine model verisi için ayrılmış olan 266 adet heyelan atılarak, her bir parametre alt sınıfının heyelanlı alan piksel sayıları (B), çalışma alanı piksel sayıları (A), frekans değerleri (%B/%A) ve alanları ile birlikte heyelan yoğunlukları (% Fr) hesaplanmıştır (Tablo 3.7).



Şekil 3.20. Çalışma alanı akarsu ağı haritası



Şekil 3.21. Akarsuya yakınlık haritası

Tablo 3.7. Akarsuya yakınlık sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri

Akarsuya Yakınlık (m)	Piksel Sayısı (A)	Alan (km ²)	% A	Heyelanlı Piksel Sayısı (B)	Heyelanlı Alan (km ²)	% B	Frekans Oranı (%B/%A)	Heyelan Yoğunluğu (% Fr)
0-100	339305	212.07	8.02	7693	4.8081	5.25	0.65	11.05
100-200	322774	201.73	7.63	10492	6.5575	7.16	0.94	15.85
200-300	303330	189.58	7.17	11036	6.8975	7.53	1.05	17.74
300-400	288026	180.02	6.81	10922	6.8263	7.45	1.09	18.49
400-500	280312	175.20	6.62	11310	7.0688	7.71	1.16	19.67
>500	2697602	1686.00	63.75	95182	59.4888	64.91	1.02	17.20
Toplam	4231349	2644.5	100	146635	91.64	100	5.92	100

Tablo 3.7'deki veriler incelenecek olursa, akarsuya yakınlık sınıflarında alansal dağılımda ilk sırada % 63.75'lik oranla > 500 m sınıfı bulunmaktadır. Geriye kalan sınıflar ise çalışma alanının % 34.25'lik kısmını oluşturmaktadır.

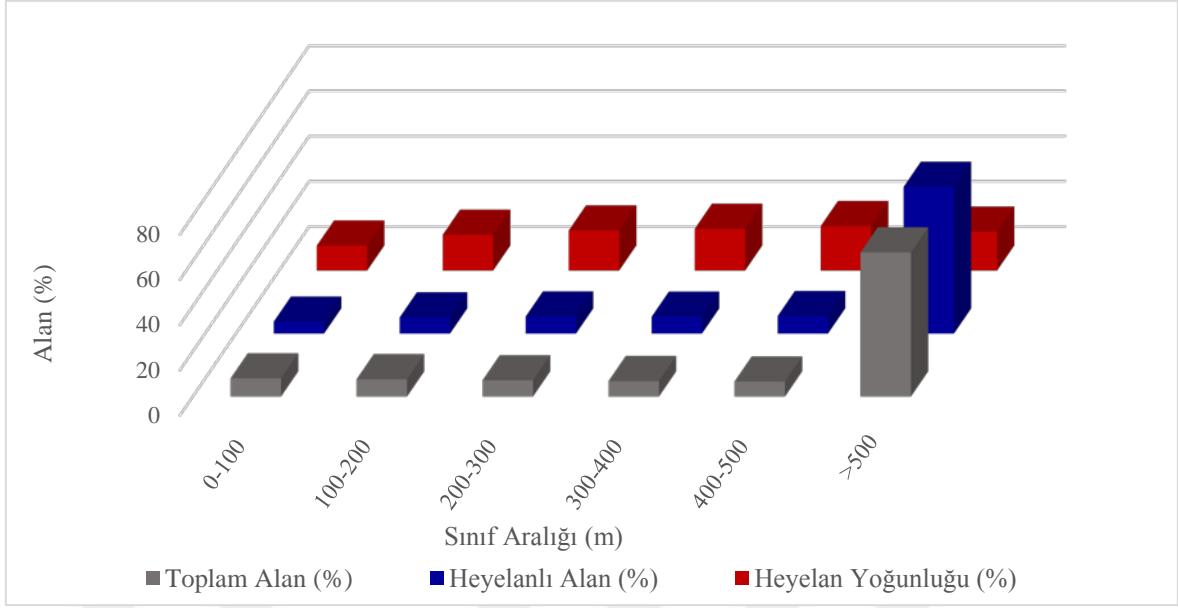
Heyelanlı alanların akarsuya yakınlık sınıflarındaki % dağılımları incelenecek olursa, yine ilk sırada % 64.91'lik oranla > 500 metre sınıfının yer aldığı görülmektedir. Geriye kalan 500 metrenin altındaki sınıflar heyelanlı alanların %35.09'unu oluşturmaktadır.

Akarsuya yakınlık sınıflarında heyelan yoğunluğu (%) oranlarına bakıldığında ise, ilk sırayı % 10.67'lik oranla 400-500 m sınıfının aldığı görülmektedir. Sonra sırasıyla % 18.49'lük oranla 300-400 m sınıfı ikinci ve % 17.74'lük oranla 200-300 m sınıfı üçüncü olarak bulunmaktadır. Heyelan yoğunluklarına göre, çalışma alanının % 34.25'lik bölümü 500 m'nin altındaki sınıflarda olduğu halde, bu sınıfların heyelan yoğunluğunun % 82.80 çıkması; akarsuya yaklaştıkça heyelan duyarlılığının da arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

Akarsuya yakınlık parametresi için heyelan yoğunluk ve frekans değerlerine ilişkin veriler yardımı ile histogramlar hazırlanmıştır. Akarsuya yakınlık sınıflarının alansal dağılımları, heyelan alanlarındaki dağılımları ve heyelan yoğunlukları arasındaki ilişki tek bir histogramda gösterilmiştir (Şekil 3.22).

3.3.9. Arazi Kullanımı

Literatürde arazi kullanımı veya arazi örtüsü adıyla kullanılan bu parametrede tam bir fikir birliği yakalanamamıştır. Arazi örtüsü; bitki örtüsü, su ile örtülü alanlar, boş toprak gibi sınıflardan oluşurken, arazi kullanımında bitki örtüsü değerlendirmeye alınmaz. Aslında bu iki parametre benzer özellikleri (yerleşim alanları, tarım alanları, ormanlık alanlar, yoğun ve seyrek bitki örtüsü içeren alanlar vb.) değerlendirmektedir (Dağ, 2007).

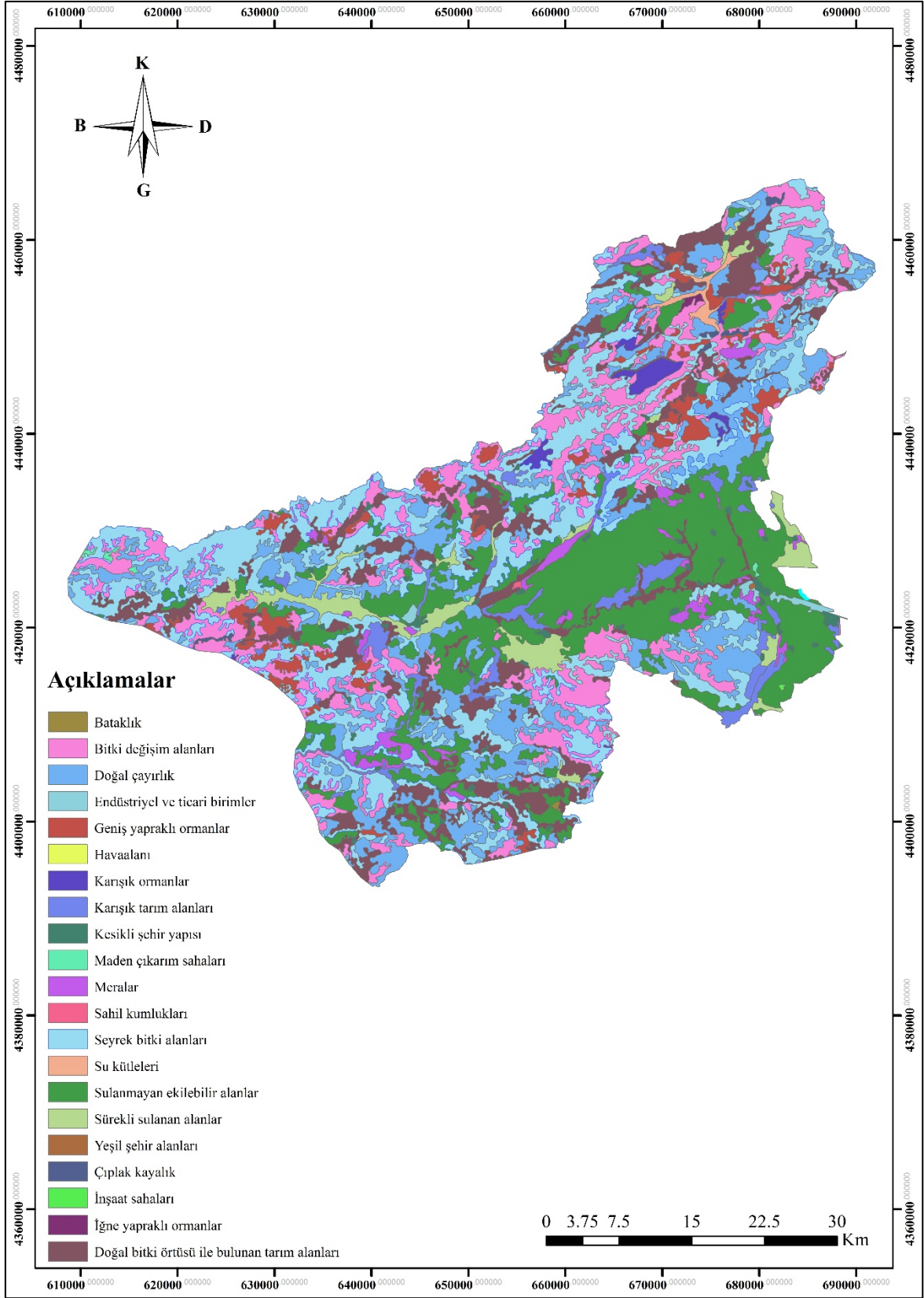


Şekil 3.22. Akarsuya yakınlık sınıfları yüzde dağılım grafikleri

Genel anlamda bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda heyelan gerçekleşme olasılığı zayıflarken, özellikle ağaçlık alanların yamaç duraylılığını olumlu etkilediği kabul edilmiştir. Yağışın zemine sızarak, zemini suya doymun hale getirmesinde bitkinin kök ve yaprakları tarafından önleyici bir etki yaptığı ve yamaç duraylılığına olumlu katkılar sağladığı kabul edilmektedir. Ayrıca bitki köklerinin zemini güçlendirerek, makaslama dayanımını artırdığı yönünde temel bir görüş bulunmaktadır. Ancak sığ ve zayıf köklere sahip (ladın, kayın) ağaçlık alanlarda heyelan gerçekleşme olasılığı, derin ve kuvvetli köklere sahip (meşe, çam, kestane, göknar) ağaçlara oranla daha fazladır (Akçalı, 2011). Bununla birlikte bitki kök ve gövdelerinin yamaç duraylılığını azalttığı yönünde görüşlerde bulunmaktadır. Özellikle kök ve gövdelerin zemin yüzeyinin geçirgenliğini artırması ve yüzey sularının zemine geçişini kolaylaştırması nedeniyle yamaç duraylılığını azalttığı yönünde görüşler bulunmaktadır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Çalışmada kullanılmış olan arazi kullanımı haritası, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından sayısal olarak üretilmiş olan arazi kullanımı haritasının, çalışma sınırına göre kesilmesi sonucunda üretilmiştir (Şekil 3.23). Arazi kullanımı haritasında sınıflama yapılırken heyelan duyarlılığı açısından benzer veya yakın özellik gösteren birimler birleştirilerek genel olarak dört sınıfta birleştirilmiştir (Tablo 3.8).

Birleştirme işlemleri sonucu arazi kullanımı haritasında aynı sınıfta bulunan birimlere aynı puanlar verilerek vektör formattaki arazi kullanımı haritası raster formata dönüştürülmüştür (Şekil 3.24).



Şekil 3.23. Çalışma alanı arazi kullanımı haritası

Tablo 3.8. Arazi kullanımı sınıflaması

Sınıf	Birim
Şehir Yapısı ve Endüstriyel Alanlar	Su Kütleleri, Kesikli Şehir Yapısı, İnşaat Sahaları, Yeşil Şehir Yapısı, Endüstriyel Ticari Alanlar, Maden Çıkarım Sahaları, Sahil Kumlukları
Karışık Tarım Alanları	Karışık Tarım Alanı, Sürekli Sulanan Tarım Alanı, Sulanmayan Ekilebilir Alanlar, Karışık Orman, İğne Yapraklı Orman, Geniş Yapraklı Orman
Mera ve Çayırılık Alanlar	Bataklık, Bitki Değişim Alanı, Seyrek Bitki Alanları, Doğal Çayırılık, Meralar
Çıplak Kayalık	Kayalık Alanlar

Daha sonra sınıflanmış arazi kullanımı haritası üzerine, model verisi için ayrılmış olan 266 adet heyelan atılarak, her bir parametre alt sınıfının heyelanlı alan piksel sayıları (B), çalışma alanı piksel sayıları (A), frekans değerleri (%B/%A) ve alanları ile birlikte heyelan yoğunlukları (% Fr) hesaplanmıştır (Tablo 3.9).

Tablo 3.9. Arazi kullanımı sınıflarının heyelan yoğunluk ve frekans değerleri

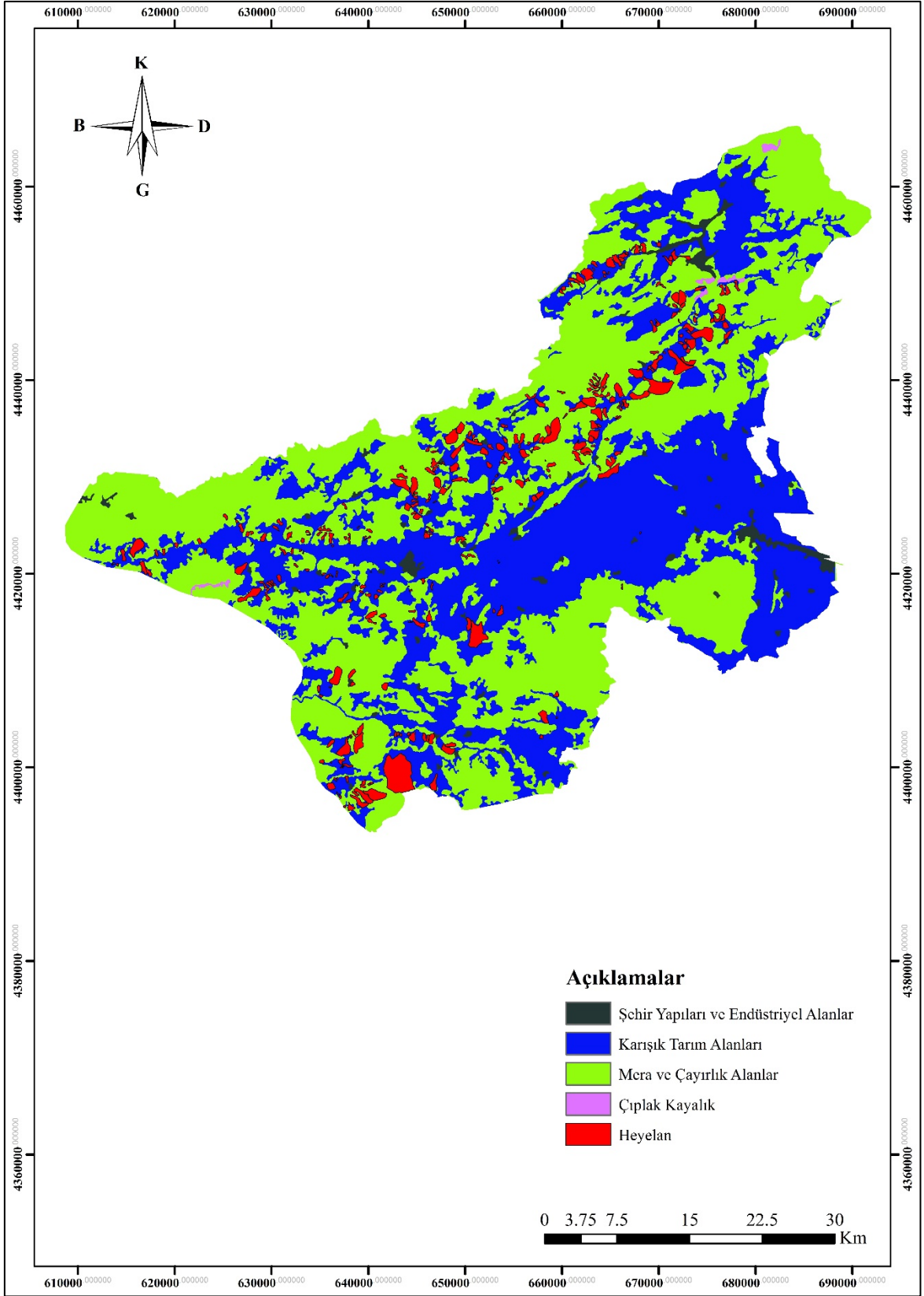
Arazi Örtüsü Sınıf	Piksel Sayısı (A)	Alan (km ²)	% A	Heyelanlı Piksel Sayısı (B)	Heyelanlı Alan (km ²)	% B	Frekans Oranı (%B/%A)	Heyelan Yoğunluğu (% Fr)
Şehir Yap. ve End. Al.	75382	47.11	1.78	541	0.3381	0.37	0.21	9.22
Karışık Tarım Alanı	1821702	1138.56	43.05	66279	41.4244	45.20	1.05	46.72
Mera ve Çayırılık Alan	2325896	1453.69	54.97	79815	49.8844	54.43	0.99	44.06
Çıplak Kayalık	8369	5.23	0.20	0	0.0000	0.00	0.00	0.00
Toplam	4231349	2644.5	100	146635	91.64	100	2.25	100

Tablo 3.9'daki veriler incelenecek olursa, arazi kullanımı sınıflarında alansal dağılımda ilk sırada % 54.97'lik oranla mera ve çayırılık alanlar bulunmaktadır. Sonrasında ise % 43.05'lik oranla karışık tarım arazileri gelmektedir.

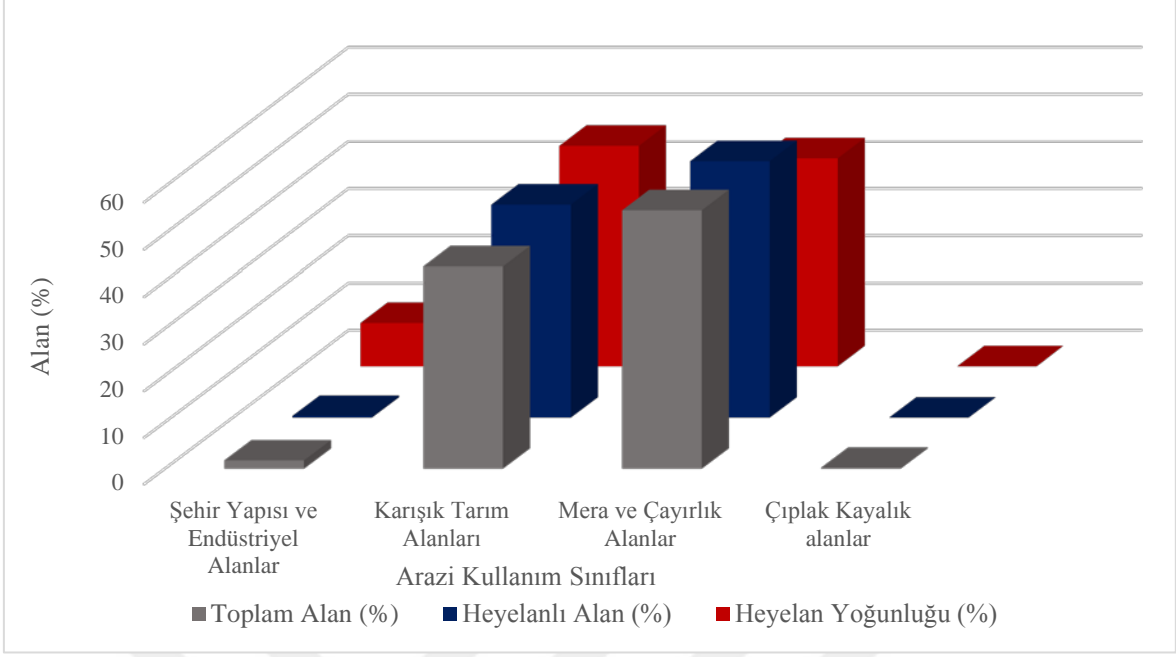
Heyelanlı alanların arazi kullanımı sınıflarındaki % dağılımları incelenecek olursa, yine ilk sırada % 54.43' lük oranla mera ve çayırılık alanlar bulunmaktadır. Yine ikinci sırada % 45.20'lik oranla karışık tarım alanları sınıfı bulunmaktadır.

Arazi kullanımı sınıflarında heyelan yoğunluğu (%) oranlarına bakıldığında ise, ilk sırayı % 46.72.67'lik oranla karışık tarım alanları sınıfının aldığı görülmektedir. Sonra % 44.06'lik oranla mera ve çayırılık alanlar sınıfı bulunmaktadır.

Arazi kullanımı parametresi için heyelan yoğunluk ve frekans değerlerine ilişkin veriler yardımı ile histogramlar hazırlanmıştır. Arazi kullanımı sınıflarının alansal dağılımları, heyelan alanlarındaki dağılımları ve heyelan yoğunlukları arasındaki ilişki tekbir histogramda gösterilmiştir (Şekil 3.25).



Şekil 3.24. Yeniden sınıflandırılmış arazi kullanım haritası



Şekil 3.25. Arazi kullanımı sınıfları yüzde dağılım grafikleri

3.4. Frekans Oranı Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritası Üretimi

Bu çalışmada inceleme alanının heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde frekans oranı yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemin temel prensibi “gelecekte oluşacak heyelanlar, geçmişte oluşmuş olan heyelanlarla aynı koşullar altında oluşacaktır” varsayımına dayanmaktadır. Bu yöntemin göreceli olarak uygulanması daha kolay olmasından dolayı, heyelan duyarlılık çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Luzi vd., 2000; Donati ve Turruni, 2002; Lee ve choi, 2003; Zezere vd., 2004; Vijith ve Madhu, 2007; Akgün vd., 2008; Pradhan ve Lee, 2009; Kumtepe vd., 2011; Altural, 2012; Demir, 2015; Baştuğ, 2018).

Heyelan duyarlılık haritasının hazırlanmasında kullanılan frekans oranı yöntemi, parametre sınıflarının yoğunluk analizlerine dayandırılır (Lee ve Talib, 2005). CBS ortamına atılan heyelanla ilişkisi olduğu düşünülen parametreler, heyelan envanteri ile ilişkilendirilerek yoğunluk analizleri yapılır (Erener, 2010). Bu yöntemle göre frekans oranı (FR) değeri 3.1 nolu eşitlik sayesinde belirlenmektedir.

$$FR = \left(\frac{HPix}{\sum Hp} \right) / \left(\frac{Pix}{\sum A} \right) = B/A \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

$HPix$; Parametre alt sınıfındaki heyelanlı alan piksel sayısı

$\sum Hp$; Heyelanlı alandaki toplam piksel sayısı

Pix ; Parametre alt sınıfındaki piksel sayısı

$\sum A$; Çalışma alanı toplam piksel sayısı

Heyelan duyarlılık hesaplamalarında; her bir parametre alt sınıfına ait heyelanlı alan piksel sayısı (B), çalışma alanına ait alt sınıf piksel sayısı (A), alt sınıflara ait frekans değerleri (%B / %A) ve alt sınıfların kapladığı alanlar ile birlikte heyelan yoğunlukları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Heyelan yoğunluğu, alt sınıf frekans değerlerinin toplam frekans değeri içindeki yüzde yoğunluğu olarak ifade edilebilmektedir. Parametre alt sınıfına ait heyelan yoğunluğu hesaplamasında, alt sınıf frekans değerlerinin, toplam frekans değerine oranının 100 ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Parametre alt sınıflarının kapladığı alanlar ise, metre cinsinden oluşturulmuş olan sahip olduğu piksel sayıları ile piksel boyu olan 25 m'nin çarpılıp, kilometrekareye çevrilmesiyle hesaplanmıştır.

Heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında kullanılan tüm veriler ArcGIS ortamında hazırlanmıştır. Öncelikle çalışma alanımız olan Aziziye ve Aşkale sınırları içinde kalan Yukarı Karasu havzasının sınırlarının oluşturulması amacıyla ArcGIS ortamında 71 adet sayısal münhane haritası birleştirilmiş ve son oluşan münhane haritasından havza hesapları yapılmıştır. Yukarı Karasu havza sınırı ilçe sınırlarına göre kesilerek (CLİP), 32 adet pafta sınırları içinde kalan çalışma alanı oluşturulmuştur. Oluşturulan çalışma alanının piksel (hücre) boyutu 25x25 m olup toplamda 4231349 adet pikselden oluşmaktadır.

Analizlerde kullanılan heyelan envanter haritası 2016 yılında AFAD bünyesinde tarafımızdan hazırlanmış olan "Erzurum Heyelan Envanteri" çalışmasından alınmış olup yapılan büro ve arazi çalışmalarıyla söz konusu heyelanların sınır kontrolleri yapılarak, öznetelik bilgileri tespit edilmiştir. Çalışma alanında içerisinde toplamda 334 adet heyelan bulunmakta olup, duyarlılık analizlerinde heyelanlı alanlara 1 ve heyelan olmayan alanlara ise 0 değeri atanmıştır. Hesaplamalarda heyelanlı alanların kapladığı piksel sayısı 146635 adet olarak belirlenmiştir. Heyelan envanterinin % 20'lik kısmı yapılan analizin performansının test edilmesi amacıyla analizlerde kullanılmamış ve sınama verisi olarak ayrılmıştır.

Çalışmada frekans oranı yöntemi kullanılmış olup, duyarlılık haritaları üretilmesinde, heyelanı etkileyen bütün parametrelerin alt sınıfları için hesaplanan frekans oranları dikkate

almaktadır (Erener ve Lacesse, 2007). Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan sekiz parametre (Litoloji, Eğim, SYM, Bakı, Eğrisellik, Arazi Kullanımı, Akarsuya Yakınlık ve Faya Yakınlık), frekans oranı hesaplanması için alt sınıflara ayrılmıştır. Heyelan ile heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametreler arasındaki ilişki, FR değerinin 1'den büyük veya küçük olması ile tanımlanabilmektedir. FR değeri 1'den büyük olursa, heyelan ile tetikleyici parametre alt sınıfı arasındaki ilişki yüksek, 1'den küçük olursa, ilişkinin daha az olacağı şeklinde bir yorumlama yapılmaktadır (Lee ve Talib, 2005).

Duyarlılık hesaplamalarında kullanılan parametrelere ait frekans oranlarının nasıl hesaplandığı önceki bölümlerde detaylı olarak verilmiş olup, tüm parametrelerin frekans ve heyelan yoğunluk değerleri aşağıda toplu olarak verilmektedir (Tablo 3.10).

Tablo 3.10. Parametre alt sınıflarına ait heyelan yoğunluk ve frekans oranları ve değerleri

Parametre	Alt Sınıf	Çalışma Alanı Pksel sayısı (A)	% A	Heyelanlı Alan Pksel Sayısı (B)	% B	Frekans %B / %A	Heyelan Yoğunluk (% Fr)	NFR
Litoloji	Altiv.Yam.Mol.,Tra	593235	14.02	14018	9.56	0.68	4.73	18
	Adilcevaz F.	388195	9.17	15386	10.49	1.14	7.94	30
	Aşkale F	239922	5.67	32127	21.91	3.86	26.82	100
	Anadolu Vol.Sed.S.	103664	2.45	5908	4.03	1.64	11.41	43
	Başkurtdere F	259310	6.13	9960	6.79	1.11	7.69	29
	Gelinkaya F.	615764	14.55	6207	4.23	0.29	2.02	8
	Gölveren F.	15113	0.36	496	0.34	0.95	6.57	25
	Hınıs Metaofiyolit	60037	1.42	349	0.24	0.17	1.16	4
	Rizekent F.	194690	4.60	10486	7.15	1.55	10.79	40
	Kopdağı Melanjı F.	366502	8.66	12020	8.20	0.95	6.57	25
	Serçeme F.	3985	0.09	9	0.01	0.07	0.45	2
	Solhan F.	887130	20.97	30697	20.93	1.00	6.93	26
	Yeşirçöl F.	117655	2.78	1917	1.31	0.47	3.26	12
	Ziyarettepe F.	386147	9.13	7055	4.81	0.53	3.66	14
Toplam	4231349	100	146635	100	14.41	100	373	
Yamaç Eğimi (°)	0-5	1041207	24.61	9753	6.65	0.27	2.45	13
	5-10	865523	20.46	42560	29.02	1.42	12.86	69
	10-15	868396	20.52	45747	31.20	1.52	13.78	74
	15-20	656719	15.52	26500	18.07	1.16	10.56	57
	20-25	436411	10.31	12789	8.72	0.85	7.67	41
	25-30	241607	5.71	5588	3.81	0.67	6.05	33
	30-35	97670	2.31	2747	1.87	0.81	7.36	40
	35-40	20784	0.49	749	0.51	1.04	9.43	51
	40-45	2584	0.06	184	0.13	2.05	18.63	100
	45-50	420	0.01	18	0.01	1.24	11.21	60
	> 50	28	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0
Toplam	4231349	100	146635	100	11.03	100	538	
SYM (m)	1500-1600	26767	0.63	725	0.49	0.78	6.78	47
	1600-1700	154437	3.65	4309	2.94	0.81	6.99	48
	1700-1800	612739	14.48	7519	5.13	0.35	3.07	21
	1800-1900	616400	14.57	13398	9.14	0.63	5.44	38
	1900-2000	423523	10.01	24500	16.71	1.67	14.49	100
	2000-2100	400826	9.47	20182	13.76	1.45	12.61	87

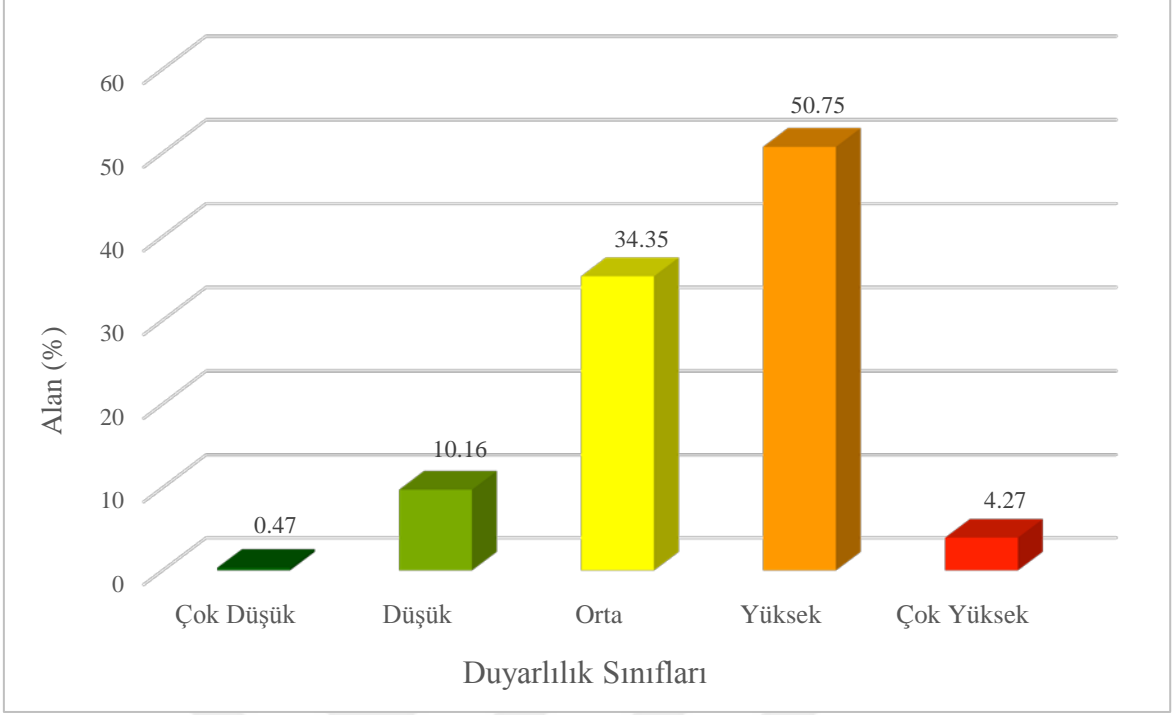
Tablo 3.10 (devamı)

Parametre	Alt Sınıf	Çalışma Alanı Pksel sayısı (A)	% A	Heyelanlı Alan Pksel Sayısı (B)	% B	Frekans %B / %A	Heyelan Yoğunluk (% Fr)	NFR
SYM (m)	2100-2200	452036	10.68	23078	15.74	1.47	12.79	88
	2200-2300	454484	10.74	23317	15.90	1.48	12.85	89
	2300-2400	393774	9.31	15914	10.85	1.17	10.12	70
	2400-2500	278406	6.58	10282	7.01	1.07	9.25	64
	2500-2600	181332	4.29	2631	1.79	0.42	3.63	25
	2600-2700	107337	2.54	613	0.42	0.16	1.43	10
	2700-2800	76638	1.81	167	0.11	0.06	0.55	4
	>2800	52650	1.24	0	0.00	0.00	0.00	0
Toplam	4231349	100	146635	100	11.52	100	690	
Yamaç Eğim Yönü (Bakı)	Düz	31	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0
	Kuzey	576392	13.62	24080	16.42	1.21	15.08	100
	Kuzeydoğu	421335	9.96	15373	10.48	1.05	13.17	87
	Doğu	452133	10.69	12800	8.73	0.82	10.22	68
	Güneydoğu	631486	14.92	19011	12.96	0.87	10.86	72
	Güney	667201	15.77	21876	14.92	0.95	11.83	78
	Güneybatı	456280	10.78	15583	10.63	0.99	12.32	81
	Batı	463967	10.96	16125	11.00	1.00	12.54	83
	Kuzeybatı	562524	13.29	21787	14.86	1.12	13.98	92
Toplam	4231349	100	146635	100	8.00	100	661	
Yamaç Eğrisellik	-3.5 - (-0.1)	1322245	31.25	61530	41.96	1.34	44.02	100
	-0.1 - 0.1	1555710	36.77	38502	26.26	0.71	23.41	53
	0.1 - 5	1353394	31.98	46603	31.78	0.99	32.57	74
	Toplam	4231349	100	146635	100	3.05	100	228
Faya Yakınlık (m)	0-1000	1329355	31.42	50395	34.37	1.09	21.09	75
	1000-2000	998584	23.60	43548	29.70	1.26	24.26	86
	2000-3000	680857	16.09	34381	23.45	1.46	28.09	100
	3000-4000	406962	9.62	16777	11.44	1.19	22.94	81
	4000-5000	235919	5.58	1534	1.05	0.19	3.62	13
	> 5000	579672	13.70	0	0.00	0.00	0.00	0
Toplam	4231349	100	146635	100	5.19	100	355	
Akarsuya Yakınlık (m)	0-100	339305	8.02	7693	5.25	0.65	11.05	56
	100-200	322774	7.63	10492	7.16	0.94	15.85	81
	200-300	303330	7.17	11036	7.53	1.05	17.74	91
	300-400	288026	6.81	10922	7.45	1.09	18.49	94
	400-500	280312	6.62	11310	7.71	1.16	19.67	100
	> 500	2697602	63.75	95182	64.91	1.02	17.20	88
Toplam	4231349	100	146635	100	5.92	100	510	
Arazi Kullanımı	Şeh. Yap. ve En.	75382	1.78	541	0.37	0.21	9.22	20
	Karışık Tarım Alanı	1821702	43.05	66279	45.20	1.05	46.72	100
	Mera ve Çayırılık A.	2325896	54.97	79815	54.43	0.99	44.06	94
	Çıplak Kayalık	8369	0.20	0	0.00	0.00	0.00	0
Toplam	4231349	100	146635	100	2.25	100	214	

Heyelan duyarlılık analizlerinde, her bir parametre alt sınıfına denk gelen çalışma alanı piksel sayısı ve heyelanlı alan piksel sayıları tespit edilerek parametre sınıflarına ait frekans değerleri hesaplanmıştır. Her bir parametre alt sınıfına ait FR değerleri hesaplandıktan sonra en yüksek frekans değeri 100 olacak şekilde frekans değerleri normalleştirilmiş ve NFR (Normalleştirilmiş frekans) değerleri elde edilmiştir. Hesaplanan NFR değerleri duyarlılık haritası oluşturulurken parametrelere haritalarının RASTER CALCULATOR aracıyla

toplanmasında kullanılmaktadır. Hesaplanan NFR değerleri parametre sınıflarına RECLASSIFY aracı kullanılarak atanmıştır. Bu sayede frekans oranı değerlerinin duyarlılık haritasında kullanılabilmesi sağlanmıştır. Daha sonra NFR atanmış parametre haritaları RASTER CALCULATOR aracıyla üst üste çakıştırılarak toplanmış ve sonuçta heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir (Şekil 3.26).

Heyelan duyarlılık haritalarında sınıflandırmalar yapılırken, eşit aralıklı, geometrik aralıklı, standart sapmalı ve doğal kesme yöntemleri kullanılmaktadır. Duyarlılık analizleri sonucunda NFR değerleri atanarak üretilmiş olan heyelan duyarlılık haritasında en düşük değer 206 en yüksek değer ise 774 çıkmıştır. Duyarlılık haritasında eşit aralıklı sınıflama uygulanarak çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı olmak üzere beş sınıf oluşturulmuştur. Oluşturulan duyarlılık haritasında, çok düşük ve düşük duyarlı alanlar çalışma alanının % 10.63'ünü oluşturmaktadır. Çalışma alanının % 34.35'i orta duyarlı, % 55.02'lik kısmı ise yüksek ve çok yüksek duyarlı alan olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Duyarlılık haritası yüzde dağılım seviyeleri

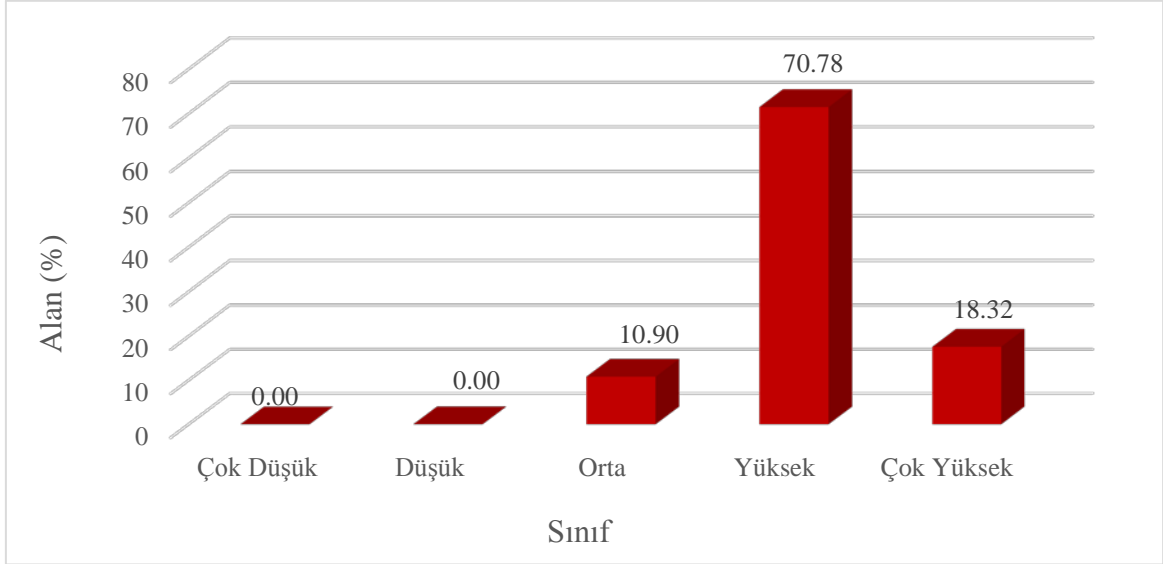
3.5. Duyarlılık Haritasının Performansının Değerlendirilmesi

Literatürde performans değerlendirilmesi ile ilgili farklı yöntemler kullanılmaktadır. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performansının değerlendirilmesi ve sayısal olarak ortaya koyulmasının gerekliliği özellikle vurgulanmaktadır.

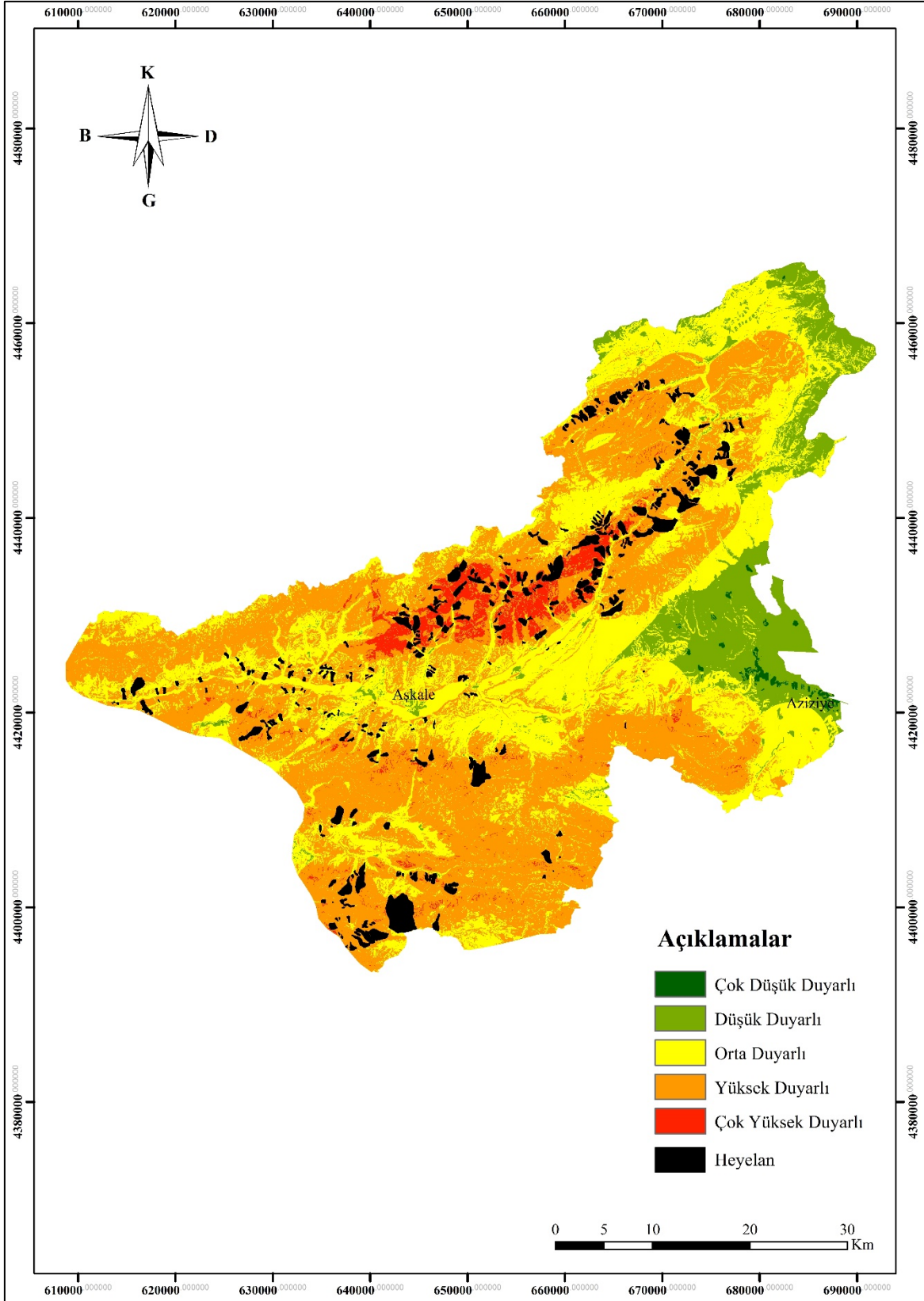
Heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının değerlendirilmesi için en doğru ve güvenilir yaklaşım; gelecekte oluşacak olan heyelanların, oluşturulan duyarlılık haritalarında duyarlı sınıflarda yer alarak karşılaştırılmasının yapılmasıdır. Ancak, bu yaklaşımın uygulanabilir olmaması nedeniyle üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının belirlenmesinde, geçmişte meydana gelen heyelanlar dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada da, oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunun karşılaştırılmasında, arazi çalışmaları sırasında tespit edilen heyelanların, heyelan duyarlılık sınıflarındaki dağılımı temel alınmıştır. Heyelanlı piksellerin, sonuç heyelan duyarlılık haritalarında, “yüksek, çok yüksek” heyelan duyarlılığı sınıfında gruplandırılması ilkesine dayanarak, haritaların performansı değerlendirilmiştir.

Bunun için 334 adet heyelandan oluşan heyelan envanter haritasından % 20 oranında sınama verisi olarak ayrılmış olan 68 adet heyelan, duyarlılık haritası üzerine atılmış ve duyarlılık haritasında hangi sınıflara düştüğü araştırılmıştır. Performans analizi için yapılan

işlemler sonucunda, sına ma heyelanların % 89.1'lik kısmının yüksek ve çok yüksek sınıfta çıktığı belirlenmiştir (Şekil 3.28). Heyelan duyarlılık haritasının performans analizinin görsel açıdan daha iyi ifade edilebilmesi için 334 adet heyelanın tamamı performans haritasında gösterilmiştir (Şekil 3.29).



Şekil 3.28. Performans analizi yüzde dağılım grafiği



Şekil 3.29. Heyelan duyarlılık performans haritası

4. TARTIŞMA (İRDELEME)

Heyelan envanter haritası oluşturulmasıyla ilgili çalışmalar son yıllarda oldukça fazla ilerleme kaydetmiştir. Özellikle ülke bazında 2007 yılında MTA tarafından uydu görüntülerden oluşturulan heyelan envanter çalışması, 2014 yılından sonra AFAD tarafından tüm ülkede arazi kontrollerinin yapılıp, öznitelik ve sınır kontrollerinin tespit edilmesiyle ve MTA tarafından tespit edilemeyen lokal heyelanların da envantere alınmasıyla kayda değer ölçüde bir heyelan envanteri oluşturulmuştur. Ancak heyelan envanter çalışmalarının, birçok araştırmacının arazi gözlemlerine ve yorumuna dayandırılarak yapılmasından dolayı genel anlamda bazı tutarsızlıklara rastlanabilmektedir.

Tez çalışması kapsamında bu tür tutarsızlıkların giderilmesi amacıyla AFAD tarafından hazırlanmış olan heyelan envanter haritasının uydu görüntüleri, Harita Genel Müdürlüğüne hazırlanan 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar ve arazi çalışmalarıyla kontrolleri yapılmıştır. Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli oluşturulurken benzer çalışmalarda piksel boyu olarak çokça kullanılmış olan 25x25 m'lik grid ağları temel olarak alınmıştır.

Çalışma alanında tespiti yapılan heyelanların boyutları genel olarak haritada gösterilebilir boyutta olmasından dolayı poligon (kapalı alan) olarak çizilmiştir. Çalışma alanındaki bitki örtüsü seyrek ve mera, çayır gibi arazilerden oluştuğu için heyelanların tespitinde arazi çalışmaları ile beraber uydu görüntülerinden de faydalanılmıştır.

Heyelan duyarlılık haritası üretiminde kullanılan yöntem frekans oranı yöntemi olup bu yöntemin göreceli olarak uygulanması daha kolay olmasından dolayı, heyelan duyarlılık çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Duyarlılık haritası üretiminde literatürde yaygın olarak kullanılan jeolojik, topoğrafik ve çevresel parametreler duyarlılık analizlerinde kullanılmıştır. Sayısal yükseklik modeli ve bunun ikinci türevi olan eğim, bakı ve eğriselliğin yanı sıra litoloji, faya yakınlık, arazi kullanımı ve akarsuya yakınlık olmak üzere sekiz parametre analizlerde kullanılmıştır. Parametre haritalarının sınıflamaları eşit aralıklı sınıflandırma sistemine göre yapılmıştır.

Litoloji parametresi, duyarlılık çalışmalarında hazırlayıcı faktör olarak en çok kullanılan parametrelerdendir. Çünkü litolojik yapının özellikleri, yamaçlardaki duraysızlığı doğrudan etkilemektedir. Farklı litolojik birimlerin farklı kayma direncine sahip olmaları, ayrıca haritalanabilir ve sayısal olarak ifade edilebilmeleri, çoğu bölgenin litolojik yapısının

belirlenmiş olması gibi nedenlerden dolayı duyarlılık haritalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Tez çalışması kapsamında yapılan analizlerde heyelana karşı en duyarlı birim Aşkale Formasyonu çıkmıştır. Bu formasyonda sedimanter kökenli kayaçların yanı sıra, özellikle jips ve kil gibi su ile etkileşime geçince şişen ve yapısal olarak değişime uğrayan birimlerin de bulunması Aşkale Formasyonunun heyelana karşı yüksek hassasiyetli olduğu sonucunu doğurmuştur.

Heyelan envanter haritası incelendiğinde çoğu bölgede heyelanların belli bir hat boyunca gelişerek çizgisellik sunması, heyelan oluşumundaki temel kaynaklardan birinin fayların olabileceği kanısını doğurmuştur. Bu nedenle faya yakınlık parametresi analizde özellikle kullanılmıştır. Faya yakınlıkta 1000'er metrelik beş sınıf ve 5000 m'den büyük olmak üzere toplamda altı sınıf oluşturulmuştur. Çalışma alanının % 55'lik kısmı 0-2000 m arasında yer almaktadır. Heyelanlı alanların kapladığı piksel sayısına bakıldığında ise yine % 64'lük oranla 0-2000 metre arasında bulunduğu tespit edilmiştir. Faya yakınlık parametresinde yapılan analizler sonucu tespit edilen heyelan yoğunluklarına bakıldığında ise, heyelanların % 45.35'lik oranla 0-2000 metre arasında yoğunlaştığı görülmektedir. 5000 metreden uzak alanların ise heyelan yoğunluğu % 0 çıkmıştır. Bu durumda faylara yaklaştıkça heyelan duyarlılığının da arttığı söylenebilir.

Akarsuya yakınlık parametresi, çalışma alanındaki yoğun drenaj ağlarına bağlı olarak ve akarsuların heyelana olan etkisi de düşünülerek, duyarlılık analizlerinde özellikle kullanılmıştır. Akarsuya yakınlık parametresinde, 100'er metrelik beş sınıf ve 500 m'den büyük olmak üzere toplamda altı sınıf oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki piksellerin % 63.75'lik bölümü 500 metreden büyük alanlarda bulunmaktadır. Çalışma alanının % 34.25'lik bölümü de 500 metreye kadar olan sınıflar içinde kalmaktadır. Çalışma alanının % 34.25'lik bölümü 500 m'nin altındaki sınıflarda olduğu halde, bu aralıkta heyelan yoğunluğunun % 82.80 çıkması; akarsuya yaklaştıkça heyelan duyarlılığının da arttığı sonucuna ulaşılmasını sağlamıştır.

Yükseklik parametresine göre, çalışma alanının yaklaşık % 50'lik kısmı 1900 m ile 2400 metre arası yükseltilerden oluşmaktadır. Heyelanlı alanların sınıflar arasındaki % dağılımları incelendiği zaman, en yoğun sınıf % 16.71 ile 1900-2000 m arasında çıkmıştır, genel olarak heyelanlı alanlar % 73 oranla 1900-2400 m arasında yoğunlaşmaktadır. Yüksekliğe göre heyelan yoğunluğu (%) oranlarına bakıldığında ise heyelanların en yoğun bulunduğu sınıf % 14.49'luk oranla 1900-2000 m arasında çıkmıştır. Genel olarak heyelanların % 63 oranla 1900-2400 metre arasında yoğunlaştığı anlaşılmıştır. Dolayısıyla

çalışma alanında yükseklik parametresine göre en duyarlı alanlar, 1900-2400 metre arasında bulunduğu söylenebilir.

Eğim parametresinde heyelanların kapladığı alanların % dağılımlarına bakıldığında 0° ile 20° arasındaki eğimli yamaçların çalışma alanının % 81.11'ini oluşturduğu görülmektedir. Eğim parametresi sınıflarında heyelan yoğunluk oranlarına bakıldığında ise, heyelan yoğunluğunun en yüksek çıktığı sınıf % 18.63'lük oranla 40° - 45° sınıfıdır. Bu sınıf çalışma alanının % 0.06'lık kısmını oluşturduğu halde, heyelan yoğunluğu bakımından ilk sırada bulunmaktadır. Bu durum yüksek eğimli yamaçların heyelana karşı daha duyarlı olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır.

Bakı parametresinde sınıfların yüzde dağılımlarına bakıldığında genel olarak orantısız bir dağılım göze çarpmaktadır. Bu sonuçlar altında bakı parametresinin heyelan oluşumunda etkisinin düşük olduğu kanaatine varılmıştır.

Eğrisellik parametresinde çalışma alandaki alansal dağılımda ilk sırayı % 36.77'lik oranla -0.1-0.1 sınıfındaki düz yamaçların aldığı görülmektedir. Sonraki sınıflar % 31.25 ve % 31.98'lik oranlarla yaklaşık eşit dağılmıştır. Heyelanlı alanların alansal dağılımında ise iç bükey yamaçlar % 41.96'lık oranla ilk sırada bulunurken, dışbükey yamaçlar ise % 31.78'lik oranla ikinci sıradadır. Eğrisellik parametresinde heyelan yoğunluğuna bakılacak olursa yine iç bükey yamaçlar % 44.02'lik oranla ilk sıradadır. Dış bükey yamaçlar % 32.57'lik orana sahiptir. Dolayısıyla eğrisellik parametresinde iç bükey şekilli yamaçların heyelana karşı daha duyarlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Çalışmada, çevresel parametrelerden arazi kullanımı parametresi kullanılmış olup, çalışma alanının çoğunluğu mera ve çayırılık alanlar ile karışık tarım alanlarından oluşmaktadır. Yapılan analizler sonucu heyelan yoğunluğu en yüksek çıkan alanlar % 46.72'lik oranla karışık tarım alanlarıdır. Çalışma alanında bitki örtüsünün zayıf ve seyrek oluşu heyelan oluşumunda olumsuz etkilere neden olmaktadır.

Tez kapsamında üretilen heyelan duyarlılık haritasında yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlar % 55.02 çıkmış olup, performans verisi olarak ayrılan sınıma heyelanlarının analizlere dahil edilmesi sonucu heyelanlı alan piksel sayısının % 89.1 oranında, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda çıktığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar tarafından yapılan değerlendirmelerde bu tür doğrulamalarda % 75'lik bir oranın kullanılabilir olduğu kabul edilirken, üretilen duyarlılık haritasının performans değerlendirmesinin % **89.1** çıkması bu haritanın kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmasını sağlamıştır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, heyelanların insan yaşamına direkt ve dolaylı etkisinin azaltılması, heyelanlar sonucunda oluşabilecek zararların çok düşük seviyelere indirilmesi ile potansiyel yerleşim alanları seçimi, olası sanayi ve mühendislik yapı alanlarının tasarımında kullanılmak üzere heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Çalışma alanı olarak yukarı Karasu Havzasının Erzurum ili Aşkale ve Aziziye ilçe sınırları arasında kalan yaklaşık 2644 km²'lik bir bölümü olan su toplama havzası seçilmiştir. Duyarlılık haritasının üretiminde HGM tarafından hazırlanmış 1/25000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalar altlık olarak kullanılmış olup Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli ArcGIS 10.2 yazılımından yararlanılmıştır. Tez çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Analizlerde kullanılmış olan heyelan envanteri; AFAD tarafından hazırlanmış 334 adet heyelan içeren envanter haritasının, yeniden arazi ve büro çalışmalarıyla gözden geçirilmesi sonucu üretilmiştir. Bu aşamada saha çalışmalarıyla mevcut heyelanların sınır kontrolleri yapılmış ve öznelik bilgileri oluşturularak envanter haritası sayısal olarak hazırlanmıştır. Çalışma alanındaki mevcut heyelanların toplam alanı 91.6 km² dir. Yapılan arazi çalışmaları ve gözlemler sonucunda, bölgede gerçekleşen heyelanların büyük çoğunluğunun dairesel kayma ve daha az oranda da toprak akması şeklinde geliştiği belirlenmiştir.

2. Tez kapsamında MTA tarafından hazırlanmış olan raster formattaki jeoloji paftaları altlık olarak kullanılarak çalışma alanının 1/25000 ölçekli sayısal formattaki jeoloji haritası hazırlanmıştır. Çalışma alanı içerisinde Kuvaterner yaşlı birimlerle birlikte 14 farklı formasyon belirlenmiştir.

3. Çalışma alanında heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen, bölge özelliklerini yansıtacak nitelikte parametreler seçilmiştir. Bu durum dikkate alınarak heyelanların oluşumunda etkili olduğu düşünülen litoloji, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü (bakı), topoğrafik yükseklik, yamaç eğriselliği, ana faylara yakınlık, akarsuya yakınlık ve arazi kullanımı parametreleri duyarlılık haritası üretiminde kullanılmış ve mevcut heyelanlarla olan ilişkileri ortaya konulmuştur.

4. Yapılan değerlendirmelerde, parametre alt sınıflarının çalışma alanı içerisindeki dağılım oranları dikkate alındığında; Solhan Formasyonu % 20.97, 0-5° eğim değerine sahip alanlar % 24.61, güney yönlü yamaçlar % 15.77, 1800-1900 m arası yükseklik sınıfı %14.57,

-0.1–0.1 eğrisellik aralığı % 36.77, 0-1000 m arası faya yakınlık sınıfı % 31.42, > 500 m mesafedeki akarsuya yakınlık sınıfı % 63.75 ile mera ve çayırılık alanlar olarak sınıflandırılan arazi kullanımı sınıfı % 54.97'lik dağılım oranı ile en fazla dağılıma sahip parametre alt sınıfları olarak belirlenmiştir.

5. Benzer şekilde daha önce meydana gelmiş heyelanların çalışma alanı içerisindeki dağılımları dikkate alındığında ise; Aşkale Formasyonu % 21.91, 10-15° eğim değerine sahip yamaçlar % 31.20, kuzeye bakan yamaçlar % 16.42, 1900-2000 m arası topoğrafik yükseklikler % 16.71, -3.5–(-0.1) eğrisellik aralığı % 41.96, 0-1000 m arası faya yakınlık sınıfı % 34.37, > 500 m mesafedeki akarsuya yakınlık sınıfı % 64.91 ile mera ve çayırılık alanlar olarak sınıflandırılan arazi kullanımı sınıfının % 54.43'lük oranla mevcut heyelanların en fazla dağılım gösterdikleri parametre alt sınıfları oldukları tespit edilmiştir.

6. Her iki durumdan yararlanarak çalışma alanındaki parametre alt sınıflarının heyelan yoğunlukları belirlenmiştir. Bu duruma göre; Aşkale Formasyonu % 26.82, 40-45° arasındaki yamaçlar % 18.63, kuzeye bakan yamaçlar % 15.08, 1900-2000 m arasındaki yükseklikler % 14.49, -3.5–(-0.1) yamaç eğriselliği sınıfı % 44.02, 2000-3000 m arası faya yakınlık sınıfı % 28.09, 400-500 m arası akarsuya yakınlık sınıfı % 19.67, karışık tarım alanlarından oluşan arazi kullanım sınıfı % 46.72'lik oranla heyelan yoğunlukları açısından diğer parametre alt sınıflarına oranla daha fazla heyelan yoğunluğuna sahip alanlar olarak belirlenmiştir.

7. Frekans oranı yöntemi ile değişkenlerin ayrı ayrı heyelanla olan ilişkileri değerlendirilmiş olmaktadır. Bu nedenle ikili bir değerlendirme söz konusudur. Bu çalışmada çok değişkenli istatistiksel analiz gerçekleştirilmediği için oluşturulan duyarlılık haritasında parametrelerden hangisinin daha etkili olduğundan ziyade, her bir parametrenin kendi içerisinde heyelan açısından önemi ön plana çıkmaktadır.

Litoloji parametresinde Aşkale Formasyonu 3.86 değeri ile en yüksek frekans oranı değerine sahiptir. Bu formasyonda jips ve kil gibi su ile etkileşime geçince şişen ve yapısal olarak değişime uğrayan birimlerin bulunması Aşkale Formasyonu'nun heyelana karşı hassasiyet duymasında etkilidir. Eğim değerlerinden 40-45° arasındaki yamaçlar çalışma alanında çok fazla alansal bir yayılıma sahip olmamakla birlikte (% 0.06) bu yamaçlara ait frekans oranı değeri 2.05 olup ilgili eğim değerlerinin heyelan oluşumu açısından çalışma alanı için önemli olduğunu göstermektedir. Benzer şekilde diğer parametrelerde frekans oranı değerlerinin 1 ve üzerinde olduğu parametre alt sınıflarının çalışma alanı için heyelan

oluşumunda potansiyel olarak duyarlı alanlar olarak değerlendirilebileceği kolaylıkla söylenebilir.

8. Analizler sonucu oluşturulan duyarlılık haritası eşit aralıklı beş farklı duyarlılık sınıfına ayrılmış (çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek) ve çalışma alanına ait duyarlılık haritası üretilmiştir. Üretilen duyarlılık haritası dikkate alındığında çalışma alanının % 0.47'si çok düşük, % 10.16'sı düşük, % 34.35'i orta, % 50.75'si yüksek ve % 4.27'si ise çok yüksek duyarlı alan olarak belirlenmiştir.

9. Son olarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının performansı test edilmiştir. Bunun için heyelan envanter haritasında sına için ayrılan 68 adet heyelandan yararlanılmıştır. Bu veriler heyelan duyarlılık haritası ile karşılaştırılarak çalışma alanında daha önce oluşmuş olan heyelanların duyarlılık haritasında hangi duyarlılık sınıfları ile karşılaştığı belirlenmiştir. Yapılan işlemler sonucunda mevcut heyelanların % **89.1**'lik kısmının yüksek ve çok yüksek duyarlı sınıfta yer aldığı tespit edilmiştir.

10. Çalışmada frekans oranı yönteminden yararlanarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının, arazi gözlemleri ile parametrik açıdan uyumlu olması, ileride yapılması planlanan heyelan tehlike ve risk değerlendirmeleri ile arazi planlamaları için kullanılabilir nitelikte olduğunu göstermektedir.

6. KAYNAKLAR

- AFAD., 2018. Afet Tehlike Haritalarının Hazırlanması Heyelan-Kaya Düşmesi Temel Kılavuz, T.C. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2. Baskı, Ankara.
- Akay, E., Erkan, E. ve Ünay, E., 1989. Muş Tersiyer Havzasının Stratigrafisi, MTA Dergisi, 109, 59-76.
- Akçalı E., 2011. Heyelan-Yağış İlişkisinin Modellemesi ve Analizi; Trabzon İli Örneği, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 86 s.
- Akdeniz, N., Akçören, F. ve Timur, E., 1994. Aşkale-İspir Arasının Jeolojisi, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Raporları, No. 9731.
- Akgün A. ve Türk, N., 2010. İki ve Çok Değişkenli İstatistik ve Sezgisel Tabanlı Heyelan Duyarlılık Modellerinin Karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir) Örneği, Araştırma Makalesi (Research Article), Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 34-2.
- Akgün, A., Dağ, S. and Bulut, F., 2008. Landslide Susceptibility Mapping For a Landslide Prone Area (Fındıklı, NE of Turkey) by Likelihood Frequency Ratio and Weighted Linear Combination Models, Environ Geol, 54, 1127–1143.
- Akıncı, H., Doğan, S., Kılıçoğlu, C. ve Keçeci, S. B., 2010. Samsun İl Merkezinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi, Electronic Journal of Map Tech., 2, 3, 13-27.
- Akkuş, M.F., 1965. Pasinler (Hasankale) Havzasının 1/25000 Ölçekli Detay Petrol Etüdü Raporu, MTA Raporları, No. 4037.
- Altınlı, İ.E., 1963. 1/500000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası (Erzurum) İzahnamesi, MTA Raporları, No. 131.
- Altınlı, İ.E., 1964. 1/500000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası (Van) İzahnamesi, MTA Raporları, No. 90.
- Altural, T., 2012. Coğrafi Bilgi Sistemiyle Akşehir (Konya) çevresinin heyelan duyarlılık incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üni., Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 114 s.
- Anbalagan, R., 1992. Terrain Evaluation and Hazard Zonation for Environmental Regeneration and Land-Use Planning In Mountainous Terrain, India, Proceedings of 6th International Symposium on the Landslides, Balkema, 861–868.
- Arpat, E., 1965. Ilıca-Aşkale (Erzurum) Arasındaki Sahanın ve Kuzeyinin Jeolojisi-Petrol İmkanları, MTA Raporları, No. 4040.
- Aslan, C.H., 2010. Mahmutçavuş (Oltu/Erzurum) Damar Tipi Cu- Pb-Zn Cevherleşmesinin Petrografik ve Jeokimyasal İncelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Adana, 71 s.

- Atkinson, P. M. ve Massari, R., 1998. Generalised Linear Modelling of Susc. to Landsliding in the Central Appenines, Italy, Computers and Geosciences, 24, 4, 373-385.
- Ayalew L. and Yamagishi H., 2005. The Application of GIS-Based Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan, Geomorphology, 65, 15-31.
- Aziz, A., 1971. Erzurum I46b4 ve I46c1 Paftalarının Detay Jeolojisi ve Petrol İmkanları, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Raporları, No. 5222.
- Baştuğ, G., 2018. Adrasen ve Olimpos (Antalya) Bölgelerinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bilgin, A., 1984. Serçeme (Erzurum) Deresi Ultramafitlerinin Mineralojisi ve Petrografisi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 19,81-87.
- Binaghi, E., Luzi, L., Pergalani, F. and Rampini, A., 1998. Slope Instability Zonation: a Comparison Between Certainty Factor and Fuzzy Dempster-Shafer Approaches, Nat. Haz., 17, 77-97.
- Bozkuş, C., 1992. Olur (Erzurum) Yöresinin Stratigrafisi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 35, 103-119.
- Bozkuş, C., ve Yılmaz, Ö., 1993. Tercan (Erzincan)-Aşkale (Erzurum) Arasının Tektoniği, Türkiye Jeoloji Bülteni, 36, 189-201.
- Brand, E.W., 1988. Special Lecture: Landslide Risk Assessment in Hong Kong, 5th International Symposium on Landslides, Laussane, Switzerland, 2, 1059-1074.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. and Reichenbach, P., 1991. GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard, Earth Surface Processes and Landforms, 16, 5, 427-445.
- Chang, S.C., 1992. The Simprecise Mapping and Evaluation System for Engineering Geological and Landslide Hazard Zonation, Proceedings of 6th International Symposium on the Landslides, February Christchurch, England, D.H. Bell (Ed.), Balkema, 905-910.
- Choubey, V.D. and Litoria, P.K., 1990. Landslide Hazard Zonation in the Garhwal Himalaya a Terrain Evaluation Approach, Proceedings of 6th IAEG Congress, August Amsterdam, Netherlands, D.G. Price (ed.), Balkema, 65-72.
- Cruden, D.M., 1997. Estimating the Risk From Landslide Historical Data. In: Cruden, D.M., Fell, R. (Eds.), Landslide Risk Assessment. Proc. Inter, Honolulu, Workshop on Landslide Risk Assessment, 177-184.
- Çan, T., Nefeslioğlu, H. A., Duman, T. Y., Gökçeoğlu, C. ve Sönmez, H., 2007. Batı Karadeniz Bölgesinde Seçilmiş Üç Farklı Havzanın Akma ve Kayma Duyarlılıklarının Ayrı Ayrı Değerlendirilmesi, Erdoğan Yüzer Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 212-220.

- Çellek, S., 2013. Sinop-Gerze Yöresinin Heyelan Duyarlılık Analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 271 s.
- Dağ S., 2007. Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 187 s.
- Dağ, S. ve Bulut, F., 2012. Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye), Jeoloji Mühendisliği Dergisi 36, 1.
- Dağ, S., Bulut, F. ve Akgün, A., 2006. İki Değişkenli İstatistiksel Analiz Yöntemi İle Çayeli (Rize) ve Çevresindeki Heyelanların Değerlendirilmesi, I. Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 84.
- Dai, F.C. and Lee, F.C., 2002. Landslide Characteristics and Slope Instability Modeling Using GIS, Lantau Island, Hong Kong, Geomorphology, 42, 213-228.
- Demir G, Aytekin M, Akgün A., 2015. Landslide susceptibility mapping by frequency ratio and logistic regression methods: an example from Niksar–Resadiye (Tokat, Turkey), Arab J Geosci, 10, 1007.
- Demir, A., 2011. Türkiye’de Heyelanların Dağılımı ve Afetler Yasası ile İlgili Uygulamalar, 2. Heyelan Sempozyumu, Ankara, Bildiriler Kitabı, 1-9.
- Demirtaşlı, E. ve Pisoni, C., 1965. Ahlat-Adilcevaz Bölgesinin (Van Gölü Kuzeyi) Jeolojisi, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Raporları, No. 64.
- Donati, L. and Turrini, M. C., 2002. An Objective Method to Rank the Importance of the Factors Predisposing to Landslides With the GIS Methodology: Application to an Area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy), Engineering Geol., 63, 277-289.
- Duman, T.Y., Can, T., Gökçeoğlu, C. ve Nefeslioglu, H. A., 2005. Landslide Susceptibility Mapping Of Çekmece Area (Istanbul, Turkey) by Conditional Probability, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2, 155-208.
- Eker, A, M., Dikmen, M., Cambazoğlu, S. ve Akgün, H., 2012. Bartın Ulus İlçesi İçin YSA ve LR Yöntemlerinin Heyelan Duyarlılık Çalışmasına Uygulanması ve Karşılaştırılması, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 2012, Ankara, 27, 1, 163-173.
- Ercanoğlu M., Kasmer O. ve Temiz N., 2008. Adaptation and Comparison of Expert Opinion to Analytical Hierarchy Process for Landslide Susceptibility Mapping, Bull. Eng. Geol. Env., 67, 565-578.
- Erdogan, T. ve Soytürk, N., 1974. Tekman Baseni Jeolojisi ve Hidrokarbon İmkanları Raporu, TPAO Arama Grubu Baş., Jeoloji Müdürlüğü Arşivi, No.870.
- Erdoğan, T., 1966. Erzurum-Karayazı Bölgesini I47c2,c3, I48d4 Paftalarına Ait Jeolojik Rapor, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Raporları, No. 4193.

- Erdoğan, T., 1972. Erzurum-Karayazı Bölgesinin Jeolojisi ve Petrol İmkanları, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Raporları, No. 4845.
- Erener, A. ve Düzgün, H.S.B., 2010. Improvement of Statistical Landslide Susceptibility Mapping by Using Spatial and Global Regression Methods in the Case of More and Romsdal (Norway), Landslides, 7, 1, 55-68.
- Erener, A. ve Lacasse, S., 2007. Heyelan Duyarlılık Haritalamasında CBS Kullanımı, TMMOB Har. ve Kad. Müh. Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sis. Kong., KTÜ, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 65.
- Erentöz, C., 1949. Hınıs 65/2 Paftasının Raporu, MTA Raporları, No. 2159, Ankara.
- Erentöz, C., 1954a. Oltu 31/4-Kars 32/3 ve Hasankale 48/2 1/100000 Ölçekli Jeolojik Paftalarına ait Memuar, MTA Raporları, No. 2159, Ankara.
- Erentöz, C., 1954b. Aras Havzasının Jeolojisi, TJK Bülteni, No. 1-2, Ankara.
- Erinç, S., 1953. Doğu Anadolu Coğrafyası, İstanbul Üniversitesi, Coğrafya Enstitüsü Yayınları, No. 13, İstanbul.
- Fernandez, C.I., Del Castillo, T.F., El Hamdouni, R. and Montero, J.C., 1999. Verification of Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study, Earth Surface Process and Landforms, 24, 537-544.
- Glade, T., 1998. Establishing the Frequency and Magnitude of Landslide-Triggering Rainstorm Events in New Zealand, Environmental Geology, 35, 2-13.
- Gökçe O., Özden, Ş. ve Demir, A., 2008. Türkiye’de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 118, Ankara.
- Gökçeoğlu, C. ve Aksoy, H., 1996. Landslide Susceptibility Mapping of the Slopes in the Residual Soils of the Mengen Region (Turkey) by Deterministic Stability Analyses and İmage Processing Techniques, Engineering Geology, 44, 147-161.
- Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M., 2001. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametrelere İlişkin Belirsizlikler, Yerbilimleri, H.Ü. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 23, 201-219.
- Guillande, R., Gelugne, P., Bardintzeff, J.M., Brousse, R., Chorowicz, J., Deffontaines, B. and Parrot, J.F., 1993. Cartographie Automatique De Zones A Aleas De Mouvement De Terrain Sur L’ile De Tahiti A Partir De Donnees Digitales, Bulletin Societe Geologique De France, 164, 4, 577-583.
- Gupta, R. P. and Joshi, B. C., 1990. Landslide Hazard Zoning Using the GIS Approach- A Case Study from the Ramganga Catchment, Himalayas, Engineering Geology, 28, 119-131.
- Guzzetti, F., Cardinali, M. and Reichenbach, P., 1994. The AVI Project: A Bibliographical and Archive Inventory of Landslides and Floods in Italy, Environmental Management, 18, 4, 623- 633.

- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. and Reichenbach, P., 1999. Landslide Hazard Evaluation: a Review of Current Techniques and Their Application in a Multi-Scale Study, Central Italy, Geomorphology, 31, 181-216.
- Güven, İ.H., 1998. 1/100000 Ölçekli Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Tortum-D31 Paftası, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Raporları, No. 60.
- Hansen, A., 1984. Landslide Hazard Analysis in Slope Instability, New York, J.Wiley and Sons, 523-602.
- Havur, E., 1972. Erzurum I47c1, c2,d2,d3 Paftalarının Jeolojisi ve Petrol İmkanları, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Raporları, No. 4851.
- Higgins, J.D. and Rockaway, J.D., 1986. A Graphic System for Seismic Response Mapping, Bull. Assoc. Eng. Geol., 23, 1, 77-91.
- Ibsen, M.L. and Brunsten, D., 1996. The Nature, Use and Problems of Historical Archives For the Temporal Occurrence of Landslides, With Specific Reference to the South Coast of Britain, Ventnor, Isle of Wight, Geomorphology, 15, 241-258.
- İlker, S., 1966. Erzurum-Muş Bölgesinde Karaköse J48 a4-d1 Paftalarının 1/25000 Ölçekli Detay Petrol Etüdü Hakkında Rapor, MTA Raporları, No. 4177.
- Jakob, M., 2000. The Impacts of Logging on Landslide Activity at Clayoquot Soun-g, British Columbia, Catena, 38, 279-300.
- Juang, C.H., Lee, D.H. and Sheu, C., 1992. Mapping Slope Failure Potential Using Fuzzy Sets., J. Geotech. Eng. Div., ASCE, 118, 475-493.
- Kafalı, F., 1992. Serçeme Çayı (Erzurum) Havzasının Jeomorfolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum, 76 s.
- Kavzoglu, T., Çölkesen, İ. ve Yomralıoğlu, T., 2015. Object Based Classification With Rotation Forest Ensemble Learning Algorithm Using Very High Resolution WorldView-2, Image Remote Sensing Letters, 16, 834-843.
- Koçyiğit, A., 1985. Karayazı Fayı, Türkiye Jeoloji Kurulu Bülteni, 28, 67-72.
- Kremier, A. and Arnould, M., 2000. World Bank's Role in Reducing Impacts of Disasters, Natural Hazards, 1, 37-42.
- Kumtepe, P., Nurlu, Y., Cengiz, E. ve Sütçü, E., 2011. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanımı, TMMOB Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Kasım 2011, Antalya, Bildiriler Kitabı, 96.
- Lahn, E., 1939. Karasu ile Çoruh Nehri (Erzurum Vilayeti) Arasındaki Mıntıkada Yapılan Jeolojik Tetkikata Dair Rapor, MTA Raporları, No 838.
- Lahn, E., 1940. Erzurum Havalisinin Jeolojik Bünyeleri, MTA Dergileri, 2, 19.

- Lahn, E., 1948. Erzurum Bölgesindeki Linyit Yataklarının Jeolojisi Hakkında Not, Türkiye Jeoloji kurumu Bülteni, No. 1, 72-77.
- Lee, C.F., Ye, H., Yeung, M. R., Shan, X. and Chen, G., 2001. A GIS-Based Methodology for Natural Terrain Landslide Susceptibility Mapping, Hong Kong, Episodes, 24, 150-159.
- Lee, S. and Choi, U., 2003. Development of GIS Based Geological Hazard Information System and its Application For Landslide Analysis in Korea, Geosci J., 7, 243-252.
- Lee, S. and Talib, J. A., 2005. Probabilistic Landslide Susceptibility and Factor Effect Analysis, Environ Geol., 47, 982-990.
- Leroi, E., 1996. Landslide Hazard-Risk Maps at Different Scales: Objectives, Tools and Developments, Proc. 7. Int. Symp on Landslade, 1 June 1996, Trondheim, Norway, 1, 35-52.
- Liu, J.G., Mason, P.J., Clerici, N., Chen, S., Davis, A., Miao, F., Deng, H. and Liang, L., 2004. Landslide Hazard Assessment in the Three Gorges Area of the Yangtze River Using ASTER imagery: Zigui-Badong, Geomorphology, 61, 171-187.
- Luzi, L. and Pergalani, F., 1999. Slope Instability in Static and Dynamic Conditions for Urban Planning: The “Oltre Po Pavese” Case History (Region Lombardia-Italy), Natural Hazards, 20, 57-82.
- Luzi, L., Pergalani, F. and Terlien, M. T. J., 2000. Slope Vulnerability to Earthquakes at Subregional Scale: Using Probabilistic Techniques and Geographic Information Systems, Engineering Geology., 58, 313-336.
- Maharaj, R., 1993. Landslide Processes and Landslide Susceptibility Analysis from an Upland Watershed: A Case Study From St. Andrew West Indies Jamaica, Engineering Geology, 34, 53-79.
- Mazman, T. ve Çan, T., 2007. Mantıksal Regresyon Yöntemi İle Kumluca Havzası (Batı Karadeniz) Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi, Mühendislik Jeolojisinde Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu, Pamukkale Üniversitesi, 25-27 Mayıs 2006, Denizli, Bildiriler Kitabı, 33
- Mazman, T. ve Çan, T., 2013. Heyelan Duyarlılık Haritaları ve Doğruluğu, 66 Türkiye Jeoloji Kurultayı, 2-6 Nisan 2013, Ankara, Bildiri Kitabı, 310-311.
- Mejia-Navarro, M. and Wohl, E.E., 1994. Geological Hazard and Risk Evaluation Using GIS: Methodology and Model Applied to Medellin, Columbia, Bulletin of Association of Engineering Geologists, 31, 4, 459-481.
- Moore, R., Dibb, T.M. and Biling, D.W., 1991. The Distribution and Causes of Mass Movement in Aurora Province, Phillippines, Proc. A6 th Int. Landslide Conf., Balkema Rotterdam, 1023-1029.
- Mora, S., and Vahrson, W., 1994. Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination, Bulletin of Association of Engineering Geologists, 31, 49-58.

- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A. and Khire, M.V., 2000. Landslide Hazard Susceptibility Mapping Based on Terrain and Climatic Factors for Tropical Monsoon Regions, Bull. of Engineering Geol. and the Environment, 58, 275-287.
- Nefeslioğlu, H.A., Duman, T.Y. ve Durmaz, S., 2008. Landslide Susceptibility Mapping for a Part of Tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea Region Of Turkey), Geomorphology, 94, 3-4, 401-418.
- Özey, R., 1993. Serçeme Çayı Havzasının Coğrafi Etüdü, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Coğrafya Eğitimi, İstanbul, 58 s.
- Özşahin, E., 2013. CBS Kullanılarak Hatay İli Heyelan Duyarlılık Analizi, Anadolu Doğa Bilimleri Dergisi, 4, 1, 47-59.
- Öztürk, K., 2002. Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri, Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 22, 35-50.
- Pachauri, A. K. and Pant, M., 1992. Landslide Hazard Mapping Based on Geological Attributes, Engineering Geology, 32, 81-100.
- Pistocchi, A., Luzi, L. and Napolitano, P., 2002. The Use of Predictive Modeling Techniques for Optimal Exploitation of Spatial Databases: A Case Study in Landslide Hazard Mapping with Expert System-Like Methods, Env. Geol., 41, 765-775.
- Polat, S., 2003. Karasu Havzasının Hidrojeomorfolojik Etüdü, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 507 s.
- Pradhan, B. and Lee, S., 2009. Delineation of Landslide Hazard Areas on Penang Island-Malaysia: by Using Frequency Ratio-Logistic Regression, and Artificial Neural Network Model, Environmental Earth Sciences, 10,1007.
- Rathur, A.Q., 1965. Pasinler-Horasan (Erzurum) Sahasına Ait Genel Jeolojik Rapor, MTA Raporları, No. 4168.
- Sever, R., 1996. Aşkale Yöresinin Fiziki Coğrafya Etüdü (Küçük Geçit-Aşkale Boğazı Arası), Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum, 100 s.
- Soytürk, N., 1973. Murat Baseni Jeolojisi ve Hidrokarbon İmkanları Raporu, TPAO Arama Grubu Başkanlığı, Jeoloji Müdürlüğü Arşivi, No.791.
- Sungurlu, O., 1971. 1/50000 Ölçekli I47a Paftasının Jeolojisi, TPAO Arama Grubu Başkanlığı, Jeoloji Müdürlüğü Arşivi, No.586.
- Süzen, M.L. ve Doyuran, V., 2004. Data Driven Bivariate Landslide Susceptibility Assessment Using Geographical Information Systems: A Method and Application to Asarsuyu Catchment, Turkey, Engineering Geology, 71, 303-321.
- Şaroğlu, F. ve Güner, Y., 1981. Doğu Anadolunun Jeomorfolojik Gelişimine Etki Eden Ögeler: Jeomorfoloji-Tektonik ve Volk. İlişkileri, Tür. Jeo. Kur. Bül., 24, 39-50.

- Tarhan, N., 1989. Hınıs-Varto (Erzurum-Muş) Dolayının Jeolojisi ve Petrolojisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 181 s.
- Tarhan, N., 1990. 1/100000 Ölçekli Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi G-33 Paftası, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Raporları, No. 35.
- Tarhan, N., 1991. Hınıs-Varto-Karlıova (Erzurum-Muş-Bingöl) Dolayının Jeolojisi ve Petrolojisi, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Raporları, No. 9428.
- Tarhan, N., 1998. 1/100000 Ölçekli Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi F-31 Paftası, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Raporları, No. 56.
- Tekin, S., Çan, T., Mazman, T. ve Duman, T.Y., 2015. Doğu Akdeniz Bölgesinin Yapay Sınır Ağları Yöntemi İle Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi, Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, 3-5 Eylül 2015, KTÜ, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 23.
- Temesgen, B., Mohammed, M. U. and Korme, T., 2001. Natural Hazard Assessment Using GIS and Remote Sensing Methods, With Particular Reference to The Landslides in The Wondogenet Area, Ethiophia, Phys. Chem. Earth, 26-9, 665-675.
- Thiery, Y., Malet, J.P., Sterlacchini, S., Puissant A. and Maquaire O., 2007. Landslide Susceptibility Assessment by Bivariate Methods at Large Scales: Application to a Complex Mountainous Environment, Geomorphology, 92, 38-59.
- Timur, E., 1997. Yeşirçöl Dağı (Aşkale,Erzurum) ve Dolayının Jeolojisi ve Sedimanter Özellikleri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 197 s.
- Timur, E., 2000. Yeşirçöl Dağı (Aşkale,Erzurum) ve Dolayının Stratigrafisi, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yerbilimleri Dergisi, 13, 12.
- Tokel, S., 1965. Erzurum-Hasankale Bölgesi Erzurum I46b2-Tortum H46c3 Paftalarına Ait Jeolojik Rapor, MTA Jeoloji Etütleri Dairesi, MTA Raporları, No. 4118.
- Uromeihy, A. and Mahdaviar, M.R., 2000. Landslide Hazard zonation of Khorshrostan Area, Iran, Bull.Eng.Geol.Env., 58, 207-213.
- Van Westen, C.J. and Bonilla, J.B.A., 1990. Mountain Hazard Analysis Using a PC-Based GIS, Proceedings of The 6th International Cong. of Engineering Geology, August Amsterdam, Netherlands, D.G. Price (ed.), Balkema, 265-271.
- Van Westen, C.J., 1994. GIS in Landslide Hazard Zonation: A Review With Examples From The Colombian Andes, Taylor and Francis, 11, 135-165.
- Van Westen, C.J., Rengers, N., Terlien, M.T.J. and Soeters, R., 1997. Prediction of The Occurrence of Slope Instability Phenomena Through GIS-Based Hazard Zonation, Geol. Rundsch, 86, 404-414.
- Varnes, D.J., 1978. Slope Movement Types and Processes In Landslides Analysis and Control-Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Special Report, 176, 12-33.

- Vijith, H. and Madhu, G., 2007. Estimating Potential Landslide Sites of an Upland Subwatershed in Western Ghat's of Kerala (India) Through Frequency Ratio and GIS, Environ Geology, 55, 1397-1405.
- Wang, H.B. and Sassa, K., 2005. Comparative Evaluation of Landslide Susceptibility in Minamata Area, Japan, Environmental Geology, 47, 956-966.
- Wieczorek, G.F., 1984. Preparing a Detailed Landslide-Inventory Map For Hazard Evaluation and Reduction, Bull. Assoc. Geol., 21 (3), 337-342.
- WP/WLI (Working Party on World Landslide Incertory), 1993. A Suggested Method For Deccribing The Activity of a Landslide, IAEG Bull., 47, 53-57.
- Yıldırım, N. ve Parlak, O., 2008. Tekman-Pasinler (Erzurum) Arasında Yüzeyleyen Ofiyolitik Birimlerin Jeolojisi ve Petrografik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 91 s.
- Yılmaz, A., Terlemez, İ ve Uysal, Ş., 1986. Erzurum Güneydoğusunda Yer Alan Hınıs, Tekman ve Karayazı arasının Jeolojisi, MTA Raporları, No. 8089.
- Yılmaz, A., ve Uysal, Ş., 1988a. 1/100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi F-32 Paftası, MTA, Jeoloji etütleri Dairesi, No. 9081.
- Yılmaz, A., ve Uysal, Ş., 1988b. 1/100000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi F-33 Paftası, MTA, Jeoloji etütleri Dairesi, No. 9143.
- Yılmaz, H ve Yılmaz, A., 2016. Oltu-Balkaya Havzasının (KD Türkiye) Tektonik Konumu ve Geç Kretase Sonrası Jeolojik Evrimi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 59, 1.
- Yılmaz, H., 2010. Kürk Çayı Havzasının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Erozyon Riskinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Elazığ, 77 s.
- Zezeze, J. L., Rodrigues, M. L., Reis, E., Garcia, R., Oliveira, S., Vieira, G. and Ferreira, A. B., 2004. Integration of Hazard and Vulnerability Data For The Probabilistic Rotational Slide Risk Assessment in The Are North of Lisbon (Portugal), Natural Hazards and Earth System Science, 4,1, 133-146.
- Zezeze, J.L., Ferreira, A.B. and Rodrigues, M.L., 1999. Landslides in the North of Lisbon Region (Portugal): Conditioning and Triggering Factors, Physical and Chemical Earth, 24,10, 925-934.
- Zolotraev, W.H., 1976. Present Day Problems in the Engineering Geological Investigation of Landslides, Falls and Mudflows in Mountainous Folded Regions- In Hutchinson JN (ed) Geological Factors and Mechanism Involved in the Development of Landslides, Falls and Mudflows, 5-34.

7. ÖZGEÇMİŞ

Erdem AYDOĞAN, 1980 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Erzurum'da tamamladı. 2000 yılında Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliğine girdi ve 2005 yılında Jeoloji Mühendisi unvanı ile mezun oldu. 2006 yılında şahsına ait mühendislik bürosu kurarak iş hayatına başladı. 2010 yılında KPSS ile Erzurum İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğüne Jeoloji Mühendisi olarak atandı. Yabancı dili İngilizce olup, evli ve iki çocuk babasıdır.

