

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖLCÜK (KOCAELİ) GÜNEY KÖYLERİ ALANLARININ
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ (CBS) YÖNTEMİ İLE HEYELAN
DUYARLILIK ANALİZİ

MUSA ZENGİNCE

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

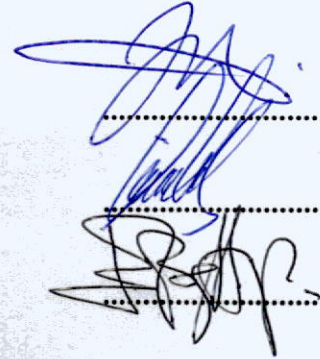
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖLCÜK (KOCAELİ) GÜNEY KÖYLERİ ALANLARININ
COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ (CBS) YÖNTEMİ İLE HEYELAN
DUYARLILIK ANALİZİ

MUSA ZENGİNCE

Doç. Dr. Ahmet KARAKAŞ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Özkan CORUK
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Erkan BOZKURTOĞLU
Jüri Üyesi, İstanbul Teknik Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 13.07.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Dünyanın gelişim sürecinde meydana gelmekte olan doğal değişiklikler, insanların doğa üzerinde dengeyi etkileyici eylemleri, doğa olaylarının ilerleyen yıllarda çok daha yıkıcı sonuçları olacağının bir göstergesidir. Günümüzde insanları en fazla etkileyen doğa olayı deprem iken bu ilerleyen zamanlarda volkan patlamaları heyelanlar veya diğer doğa olayları olarak değişebilir.

Gelişen bilim ve teknoloji ile doğa olayları daha detaylı incelenmeli ve afete dönüşmemesi için zarar azaltma çalışmaları yapılmalıdır. Günümüz teknolojisi CBS ile heyelan duyarlılık çalışması yapılan bu tez çalışmasında birçok kişi desteğini esirgememiştir.

Tez çalışma süreci içerisinde bilgi ve birikimleriyle beni yönlendiren, teşvik eden ve sabır gösteren Tez Danışmanım Doç. Dr. Ahmet KARAKAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Uzun süren tez hazırlama sürecinde beni motive eden cesaretlendiren sayın Dr. Özkan CORUK hocama teşekkürü borç bilirim.

Bilgilerini benimle paylaşan Sayın Dr. Erkan BOZKURTOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Yüksek Lisans tez çalışmam sırasında gösterdikleri sabır, anlayış ve destekten dolayı Ordu'daki aileme şükranlarımı sunarım.

Çalışma sürecinde birçok kez ilgilenemediğim sevgili eşim Hülya ZENGİNCE, oğullarım; Mehmet Emin ZENGİNCE ve Yakup Eren ZENGİNCE'den özür dileyerek sabır ve anlayışları için sonsuz sevgilerimi sunarım.

Süreç içerisinde verdikleri destek ve gösterdikleri anlayıştan ötürü iş arkadaşlarım ve idarecilerime minnet duygularımı sunarım.

Haziran – 2018

Musa ZENGİNCE

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	2
1.1. İncelemenin Amacı	2
1.2. İnceleme Yöntemleri.....	2
1.3. İnceleme Alanının Konumu	4
1.4. Önceki CBS-Heyelan Duyarlılık Çalışmaları	5
2. JEOLojİ.....	11
2.1. Önceki Jeolojik Çalışmalar	11
2.2. Bölgesel Jeoloji.....	14
2.2.1. Pamukova metamorfizmaları (Pm)	16
2.2.2. İznik metamorfizmaları (İm).....	16
2.2.3. Bakacak formasyonu (Kb).....	16
2.2.4. İncebel formasyonu (Ti)	17
2.2.5. Sarısu formasyonu (Ts)	17
2.2.6. Aslanbey formasyonu (Ta)	18
2.2.7. Alüvyon (Qal).....	19
3. KÜTLE HAREKETLERİ	21
3.1. Kütle Hareketleri Tanımı	21
3.2. Kütle Hareketleri Sınıflaması	21
3.2.1. Düşme.....	22
3.2.2. Devrilme	23
3.2.3. Akma	23
3.2.4. Kayma (Heyelan).....	25
3.2.4.1. Düzlemsel (blok) kaymaları	25
3.2.4.2. Rotasyonel kaymalar	26
3.2.5. Yanal yayılma.....	27
3.2.6. Karmaşık.....	28
3.3. Kütle Hareketlerinin Sebepleri	29
4. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS)	31
4.1. Tarihçe	31
4.2. Coğrafi Bilgi Sisteminin Yararları	32
4.3. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Bileşenleri.....	32
4.4. Coğrafi Bilgi Sisteminin Genel Fonksiyonları	33
4.5. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Veri	33
4.5.1. Mekânsal veriler	34
4.5.2. Mekânsal olmayan veriler	36

4.5.3. Veri toplama	36
4.6. Analiz.....	37
4.7. Çıktı.....	38
5. YAPILAN ÇALIŞMALAR	39
5.1. Arazi Çalışmaları	40
5.1.1. Heyelan envanter haritası	43
5.2. Büro Çalışmaları	44
6. HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ HAZIRLANMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER	47
6.1. Niteliksel Yöntemler	48
6.2. Niceliksel Yöntemler	49
7. HEYELAN DUYARLILIK ANALİZLERİNDE KULLANILAN PARAMETRELER.	50
8. İNCELEME ALANI HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİNDE KULLANILAN VERİLERİN ÜRETİMİ	52
8.1. Litoloji.....	52
8.2. Yamaç Eğimi	56
8.3. Yükseklik	59
8.4. Bakı (Yamaç Yönü)	63
8.5. Akarsuya Uzaklık.....	68
8.6. Yollara Uzaklık	72
8.7. Aktif Faya Uzaklık.....	76
8.8. Arazi Kullanımı	80
9. HEYELAN DUYARLILIK DEĞERLENDİRMELERİ	84
9.1. Coğrafi Bilgi Sistemi Yöntemi (Niteliksel Yöntem)	84
9.1.1. Heyelan duyarlılık senaryosu 1	86
9.1.2. Heyelan duyarlılık senaryosu 2	88
9.1.3. Heyelan duyarlılık senaryosu 3	92
10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR	99
EKLER.....	106
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER	110
ÖZGEÇMİŞ	111

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Çalışma süreci ve içeriğini gösteren akış diyagramı.....	3
Şekil 1.2.	İnceleme alanı yer bulduru haritası	4
Şekil 2.1.	İnceleme alanı ve civarının stratigrafik dikme kesiti	20
Şekil 3.1.	Düşme şeklinde gelişen kütle hareketleri.....	22
Şekil 3.2.	Devrilme türü kütle hareketi	23
Şekil 3.3.	Devrilme türü hareketlerin kinematik analizi.....	23
Şekil 3.4.	Akma türü kütle hareketleri ((a)Toprak akması (b)Kaya akması)	24
Şekil 3.5.	Düzlemsel (blok) kayma, ötelenmeli kayma.....	26
Şekil 3.6.	Heyelanın genel şematik görünümü	26
Şekil 3.7.	Rotasyonel kayma oluşum şekli.....	27
Şekil 3.8.	Yayılma türü kütle hareketlerinin oluşumu.....	28
Şekil 3.9.	Karmaşık türü kütle hareketlerinin oluşumu	28
Şekil 3.10.	Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre kütle hareketi türlerinin görünümü	29
Şekil 4.1.	Coğrafi Bilgi Sistemi elemanları	33
Şekil 4.2.	Mekânsal veri ve mekânsal olmayan (tablo) veri gösterimi	34
Şekil 4.3.	Coğrafi verilerin raster formatında görünüşü	35
Şekil 4.4.	Coğrafi bilgi sisteminde veri katmanları.....	36
Şekil 4.5.	Coğrafi bilgi sistemi veri toplama araçlarından bazıları	37
Şekil 5.1.	Tez çalışma süreci ve şeklini gösteren akış diyagramı	39
Şekil 5.2.	Hamidiye köyünde tespit edilen bazı heyelan noktaları.....	40
Şekil 5.3.	İncebel formasyonu içerisindeki kumtaşı-kiltaşı ardalanması ve süreksizlik yüzeyleri.....	41
Şekil 5.4.	Mamuriye köyünde meydana gelen heyelan noktaları.....	42
Şekil 5.5.	Mamuriye köyü'nde planlanan drenaj hatları	43
Şekil 5.6.	Yol üzerinde tespit edilen rotasyonel kayma	44
Şekil 5.7.	İnceleme alanı heyelan envanter haritası	45
Şekil 7.1.	Heyelana neden olan jeolojik, topoğrafik ve çevresel faktörler.....	51
Şekil 8.1.	İnceleme alanı jeolojik formasyon haritası	53
Şekil 8.2.	İnceleme alanı jeolojik formasyonlarının alansal dağılımı	55
Şekil 8.3.	İnceleme alanının formasyonlara göre heyelanlı alan yüzdeleri	55
Şekil 8.4.	Jeolojik formasyonların heyelan yoğunluk değerleri	56
Şekil 8.5.	İnceleme alanı eğim haritası.....	57
Şekil 8.6.	İnceleme alanının eğim sınıflarına göre alansal dağılımı.....	58
Şekil 8.7.	İnceleme alanı eğim sınıflarına göre heyelanlı alan yüzdeleri	59
Şekil 8.8.	Eğim sınıflarının heyelan yoğunluk değerleri	59
Şekil 8.9.	İnceleme alanı yükseklik sınıfları haritası.....	60
Şekil 8.10.	İnceleme alanı yükseklik sınıflarının alansal dağılımı	61
Şekil 8.11.	İnceleme alanı yükseklik sınıflarına göre heyelanlı alan yüzdeleri	62
Şekil 8.12.	Yükseklik sınıflarının heyelan yoğunluk değerleri	63
Şekil 8.13.	İnceleme alanı bakı (yamaç yönü) haritası	64
Şekil 8.14.	Yamaçların kuzey yönlerinde kalan kar birikintileri, 10.02.2016 tarihinde çekilen Google Earth uydu görüntüsü.....	66

Şekil 8.15. İnceleme alanı bakı sınıflarının alansal dağılımı.....	66
Şekil 8.16. İnceleme alanı bakı sınıflarının heyelanlı alan yüzdeleri.....	67
Şekil 8.17. Bakı sınıflarının heyelan yoğunluk değerleri	67
Şekil 8.18. Bölgedeki ana akarsu olan Hisar dere ve derin vadi yatakları	68
Şekil 8.19. İnceleme alanının akarsuya uzaklık sınıfları haritası	69
Şekil 8.20. İnceleme alanının akarsuya uzaklık sınıflarının alansal dağılımı	70
Şekil 8.21. İnceleme alanının akarsuya uzaklık sınıflarına göre heyelanlı alan yüzdeleri	71
Şekil 8.22. Akarsuya uzaklık sınıflarının heyelan yoğunluk değerleri	71
Şekil 8.23. İnceleme alanının yollara uzaklık sınıfları haritası	71
Şekil 8.24. İnceleme alanı yollara uzaklık sınıfları alansal dağılımı.....	74
Şekil 8.25. Yol güzergâhında meydana gelen heyelan ve alınan önlemler (mavi; istinat yapıları, kırmızı; heyelan alanı)	75
Şekil 8.26. İnceleme alanının yollara uzaklık sınıflarına göre heyelanlı alan yüzdeleri.....	75
Şekil 8.27. Yollara uzaklık sınıfı heyelan yoğunluk değerleri	76
Şekil 8.28. İnceleme alanının aktif faya uzaklık sınıfları haritası	77
Şekil 8.29. İnceleme alanı aktif faya uzaklık sınıflarının alansal dağılımı	78
Şekil 8.30. İnceleme alanının aktif faya uzaklık sınıflarına göre heyelanlı alan yüzdeleri	79
Şekil 8.31. Aktif faya uzaklık sınıflarının heyelan yoğunluk değerleri	79
Şekil 8.32. İnceleme alanının arazi kullanım sınıfları haritası	81
Şekil 8.33. İnceleme alanı arazi sınıflarının alansal dağılımı.....	82
Şekil 8.34. İnceleme alanının arazi sınıflarına göre heyelanlı alan yüzdeleri	83
Şekil 8.35. Arazi sınıfları heyelan yoğunluk değerleri.....	83
Şekil 9.1. Senaryo 1 verileri ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritası	86
Şekil 9.2. Senaryo 1'e göre heyelan duyarlılık sınıflarının alansal ve % dağılımı	87
Şekil 9.3. Duyarlılık haritası üzerindeki heyelanlı alan yüzdeleri.....	88
Şekil 9.4. Senaryo 2 dâhilinde oluşturulan heyelan duyarlılık haritası	89
Şekil 9.5. Senaryo 2'ye göre heyelan duyarlılık sınıflarının alansal ve % dağılımı	90
Şekil 9.6. Duyarlılık haritası üzerindeki heyelanlı alan yüzdeleri.....	91
Şekil 9.7. Köy yerleşim alanları ve civarı duyarlılık sınıfı (a: Mamuriye, Siretiye, Y. Ferhadiye, Ümmiye, b: Nüzhetiye, N. Sakarbiçki, c: Hamidiye, d: Hasaney, Nimetiye)	91
Şekil 9.8. Senaryo 3 dâhilindeki verilerle oluşturulan heyelan duyarlılık haritası	92
Şekil 9.9. Senaryo 3 için heyelan duyarlılık sınıflarının alansal ve % dağılımı	93
Şekil 9.10. Duyarlılık haritası üzerindeki heyelanlı alan yüzdeleri.....	94

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların sınıflandırılması	22
Tablo 6.1. Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan yaklaşımlar	47
Tablo 6.2. Heyelan değerlendirme yöntemleri	48
Tablo 8.1. Formasyon alanları ve heyelan arasındaki ilişkiler	54
Tablo 8.2. Eğim sınıfları ile heyelan alanları arasındaki ilişkiler.....	58
Tablo 8.3. Yükseklik sınıfları ile heyelanlı alanlar arasındaki ilişkiler.....	61
Tablo 8.4. Bakı sınıfları ile heyelanlı alanlar arasındaki ilişkiler.....	65
Tablo 8.5. Akarsuya uzaklık sınıfları ile heyelan arasındaki ilişkiler	70
Tablo 8.6. Yolara uzaklık sınıfları ile heyelan arasındaki ilişkiler.....	74
Tablo 8.7. Aktif faya uzaklık sınıfları ile heyelan arasındaki ilişkiler	78
Tablo 8.8. Arazi kullanım sınıfları ile heyelan arasındaki ilişkiler	82
Tablo 9.1. Duyarlılık analizinde kullanılan ağırlıklandırma tablosu.....	85
Tablo 9.2. Duyarlılık haritası içerisindeki heyelanlı alanlar (Senaryo 1).....	87
Tablo 9.3. Duyarlılık haritası içerisindeki heyelanlı alanlar (Senaryo 2).....	89
Tablo 9.4. Duyarlılık haritası içerisindeki heyelanlı alanlar (Senaryo 3).....	93

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kb	: Bakacak formasyonu
Pi	: İznik metamorfikleri
Pm	: Pamukova metamorfikleri
Qal	: Alüvyon
Qd	: Dolgu
Ta	: Aslanbey formasyonu
Ti	: İncebel formasyonu
Ts	: Sarısu volkanitleri

Kısaltmalar

AHP	: Analitik Hiyerarşi Prosesi
AHS	: Analitik Hiyerarşi Sistemine
AHY	: Analitik Hiyerarşi Yöntemi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
D-130	: Yalova-Kandıra Devlet Karayolu
DEM	: Sayısal Yükseklik Modeli
GPS	: Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KD	: Kuzeydoğu
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
LR	: Lojistik Regresyon
MTA	: Maden Tetkik Arama
OTH	: Organize Tarım, Hayvancılık ve Depolama
TADB	: Teknik Araştırmalar Daire Başkanlığı
TUREF	: Turkish National Reference Frame
UA	: Uzaktan Algılama
UTM	: Universal Transverse Mercator
WLR	: Weighted Logistic Regression (Ağırlıklı Lojistik Regresyon)
Y.A.S.S.	: Yeraltı Su Seviyesi
YSA	: Yapay Sinir Ağı

GÖLCÜK (KOCAELİ) GÜNEY KÖYLERİ ALANLARININ COĞRAFI BİLGİ SİSTEMİ (CBS) YÖNTEMİ İLE HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

ÖZET

Doğal afetler ülkemizde gün geçtikçe daha fazla insanı etkiler hale gelmiştir. Potansiyel afet alanlarında veya yakın çevresinde yaşayan nüfusun artması bunda etkili olmuştur. Planlama ve yapılaşma sürecinde gerekli bilimsel çalışmaların yapılmaması, doğal olayların afete dönüşmesine zemin hazırlamaktadır. Heyelanlar doğal afetler arasında en yaygın olarak gelişen tür olup can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Heyelan duyarlılık analizlerinin yapılarak potansiyel heyelan alanlarının belirlenmesi; yeni yerleşim alanlarının doğru yerlerde seçilmesini, yapılacak mühendislik çalışmalarının doğru planlanmasını velhasıl oluşabilecek zararların en aza indirilmesini sağlayacaktır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tekniklerine dayalı heyelan duyarlılık analizleri gün geçtikçe yaygın hale gelmektedir. Çağımızda çok fazla veri üretilebilmesi bu verilerin hızlıca paylaşılabilmesi, verileri dönüştürebilen ve birçok analizi aynı anda gerçekleştirebilen yazılımların bulunması, bu işlemleri kolayca yapabilen donanıma sahip bilgisayarların çoğalması bunda etkili olmaktadır.

Bu çalışmada Kocaeli ili Gölcük ilçesi güneyinde yer alan Hamidiye, Mamuriye, Siretiye, Eski Ferhadiye, Nüzhetiye, Ümmiye, Hasaney ve Nimetiye köyleri için Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile heyelan oluşumunu etkileyen faktörlerin, arazi gözlemleri indeks ve parametre haritalarının çakıştırılması veya birleştirilmesi esasına dayanan kalitatif yaklaşımla analizleri yapılmıştır. Hazırlanan üç farklı senaryo analizi ile elde edilen sonuçlar envanter haritası ile çakıştırılıp, doğrulaması sağlanmıştır. Bu bağlamda doğruluğu en yüksek olarak değerlendirilen senaryo iki verilerine göre; inceleme alanının %61'si yüksek duyarlı, %2,4'ü çok yüksek duyarlı, %33,7'si orta duyarlı, %2,9'u az duyarlı, %0,04'sinin ise duyarsız alanlardan oluştuğu tespit edilmiştir. Mevcut heyelan alanlarının, üretilen heyelan duyarlılık haritası ile ilişkisine bakıldığında, %70,2'sinin yüksek ve çok yüksek duyarlı alanda olduğu belirlenmiştir. Mamuriye Köyü, Hasaney Köyü, Nüzhetiye Köyü, Yeni Ferhadiye Köyü yerleşik alanı içerisinde yüksek duyarlı alanların bulunduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: CBS, Gölcük, Heyelan Duyarlılık.

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS OF GOLCUK (KOCAELI) SOUTH VILLAGES AREAS BY USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) METHOD

ABSTRACT

Natural disasters in our country affect more and more people day by day. The increase in population living in or near potentially disaster areas has been influential in this. The fact that necessary scientific studies are not carried out in the process of planning and reconstruction, lead to the way for a natural phenomenon to turn into a disaster. Landslides are the most widespread natural disasters and cause loss of life and property. Performing landslide susceptibility analyses will provide the determination of potential landslide areas; the selection of new residential areas in the right places, the right planning of the engineering works to be done and minimizing the loss of damages that may occur. Landslide susceptibility analyses based on Geographic Information Systems (GIS) techniques are becoming increasingly common. To be able to generate a lot of data in our era, sharing these data quickly and the multiplication of the software that can convert the data and perform many analyzes at the same time and the increase of the computers with the hardware that can easily perform these operations are effective in carrying out landslide susceptibility analyses.

In this study, geographic information system (GIS) is used to evaluate factors contributing landslide occurrences based on the qualitative approach analysis of union or overlying of field observations index and parameters for Hamidiye, Mamuriye, Siretiye, Eski Ferhadiye, Nüzhetiye, Ümmiye, Hasaney and Nimetiye villages located in the south of Gölcük district of Kocaeli province. The results obtained with the three different scenario analyzes prepared were in line with the inventory map and validated. In this context, the scenario with the highest accuracy is evaluated according to scenario two data; 61% of the study area was found to be highly susceptible, 2.4% very susceptible, 33.7% moderate susceptible, 2.9% less susceptible and 0.04% not susceptible areas. When the current landslide areas are compared with the generated landslide susceptibility map, it is determined that 70.2% of the landslides is located in high and very susceptible areas. As a result, Mamuriye, Hasaney, Nüzhetiye and Yeni Ferhadiye villages are situated in high susceptible areas.

Keywords: GIS, Gölcük, Landslide Susceptibility.

GİRİŞ

Bir yamacı veya şevi oluşturan zemin, moloz veya kaya malzemesinin bir yüzey boyunca yerçekimi kuvveti etkisiyle aşağı doğru hareket etmesi heyelan olarak tanımlanır (Cruden, 1991). Dünyanın birçok yerinde meydana gelen bu kütle hareketleri can kayıpları, ekonomik kayıplar ve doğal çevrenin bozulmasına da neden olmaktadır. Herhangi bir bölge yerleşim alanı seçilirse o bölge için mutlaka gerekli bilimsel ve mühendislik çalışmaları yapılmalıdır ancak gelişmekte olan ülkelerin büyük bölümünde artan talebi karşılamak mümkün olmadığından sorunlar yaşanmaktadır. Birbirleriyle muazzam derecede ilişkili sebeplerden meydana gelen heyelanlar ülkemizde de doğal afetler sıralamasında meydana gelen olay sayısı baz alındığında ilk sırada gelmektedir (Gökçe ve diğ., 2006). Heyelanı oluşturan sebepler; jeolojik, jeomorfolojik, çevresel olarak gruplanabilir. Bu çalışmada heyelanı oluşumuna neden olan etkenlerden; jeoloji; eğim, bakı, yükseklik, yollara uzaklık, akarsu ağına uzaklık, aktif faya uzaklık ve arazi kullanımı parametrelerinin heyelan oluşumuna etkisi, arazi gözlemleri, bölgede yapılan jeoteknik çalışmalar ve ağırlıklı olarak Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) programları yardımıyla çözümlenmeye çalışılmış ve heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur.

Doğa olaylarında, önceden yer ve zaman vermek mümkün olmamaktadır. Bu bağlamda heyelan tehlike haritaları diğer bir ifadeyle heyelan duyarlılık haritaları oluşturmak gerekir. Heyelan duyarlılık haritaları, genel anlamda herhangi bir bölge içerisindeki alanların göreceli olarak heyelana olan hassasiyetinin sınıflandırılmasıdır.

Geçmiş yıllarda ülkemizde birçok heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur fakat bu haritalar daha fazla ve detaylı olmak durumundadır. İş potansiyeli ve coğrafi konumu nedeni ile hızla gelişen Kocaeli ilinde heyelan duyarlılık çalışmaları bulunmamaktadır ancak bölgemizde doğal ve beşeri hayatı etkileyen birçok heyelan olayı yaşanmaktadır (Zengin ve Karakaş, 2016).

1. GENEL BİLGİLER

1.1. İncelemenin Amacı

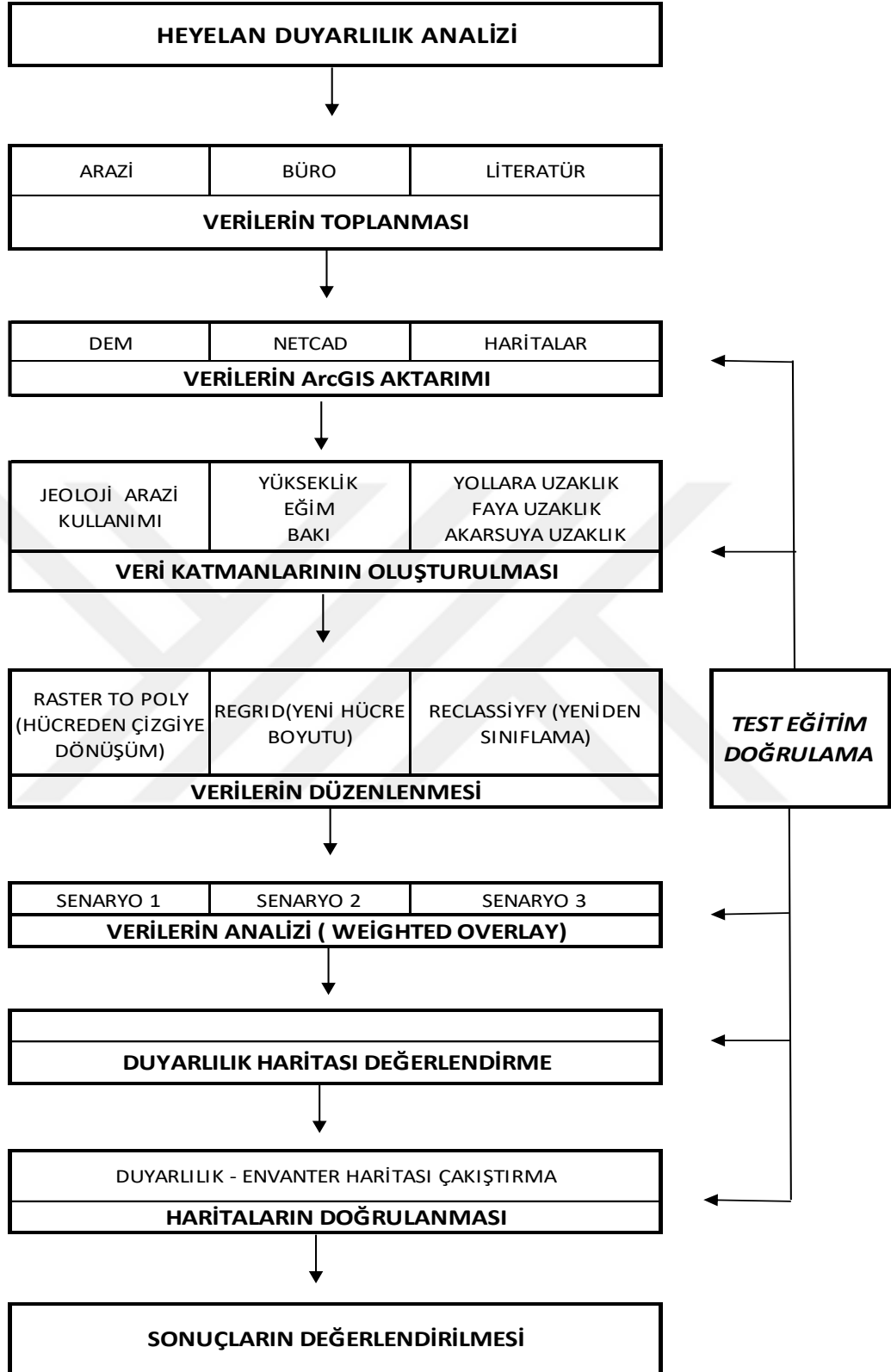
Kocaeli ili Gölcük ilçesi güneyinde yaralan Hamidiye, Mamuriye, Siretiye, Eski Ferhadiye, Nüzhetiye, Ümmiye, Hasaney ve Nimetiye köylerinin heyelan potansiyelinin ve mevcut yerleşim alanlarının heyelandan etkilenme durumunun belirlenmesi amaçlanmıştır.

Bölge ile ilgili heyelan oluşumunu etkileyebilecek parametrelerle ilgili yeterli veri toplandıktan sonra bu verilerin Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ile değerlendirilmesi ve potansiyel bölgelerin belirlenmesi için duyarlılık haritası üretilmesi bu çalışmanın temel amacıdır.

1.2. İnceleme Yöntemleri

Amaç doğrultusunda incelenecek arazi ile ilgili literatür, büro ve arazi çalışmaları kullanılarak veriler elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra coğrafi bilgi sistemi işlemlerinin gerçekleştirilmesi ArcGIS 10.4 programı kullanılarak yapılmıştır. Bu program kullanılarak veriler istenilen formata sokulmuş, veri katmanları oluşturulmuş, bu veri katmanları ve alt katmanlarına değerler verilmiştir. Duyarlılık haritalarının oluşturulması için birçok senaryolar üretilmiş, bu senaryolar doğrultusunda bindirme (Overlay) analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda ise en uygun duyarlılık haritası üretilmiştir. Süreç içerisinde veriler güncellenmiş, test edilmiş ve birçok eğitim denemeleri yapılarak doğruluğu sağlanmıştır. Şekil 1.1 bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için izlenen adımları göstermektedir.

Hazırlan duyarlılık haritasına göre yerleşim alanlarının hangi duyarlılık sınıfı içerisinde kaldığı belirlenerek değerlendirme yapılmıştır. Çalışmanın sonraki bölümlerinde arazi ve büro çalışmaları detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

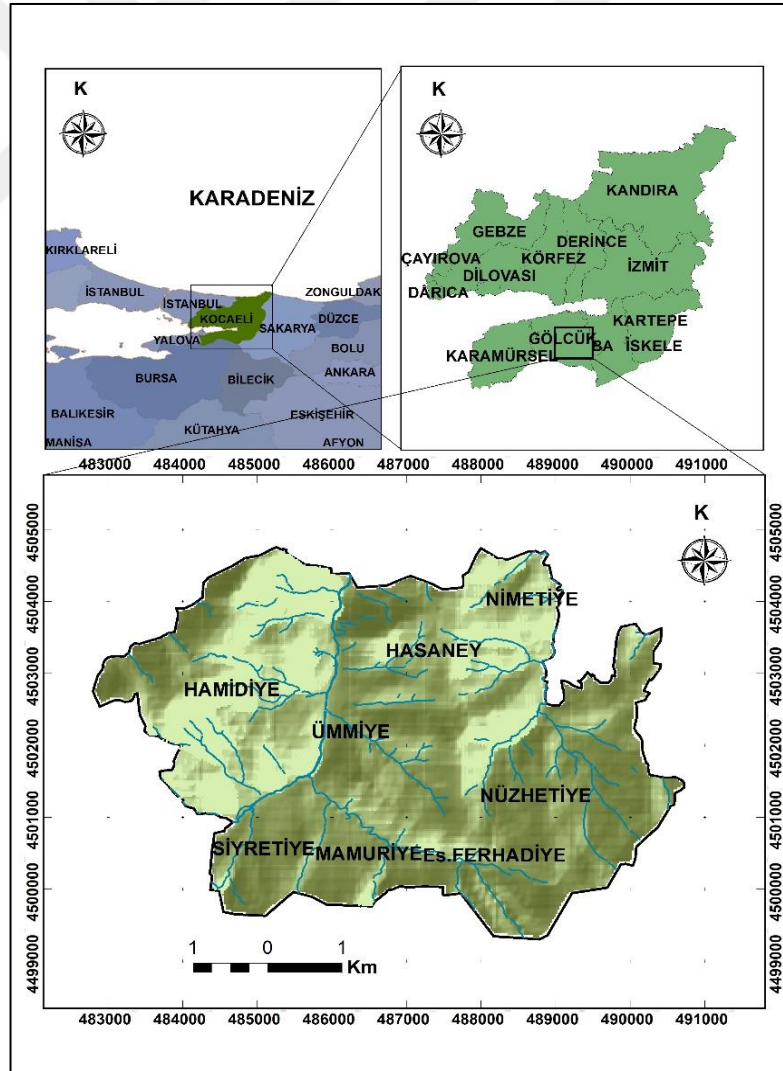


Şekil 1.1. Çalışma süreci ve içeriğini gösteren akış diyagramı

1.3. İnceleme Alanının Konumu

İnceleme alanı 44,89-45,06° kuzey enlemi, 48,2-49,2 doğu boylamları arasında, 1/25000’lik standart topoğrafik haritada ise G24-c1 ve G24-c2 paftaları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.1). Kocaeli ili Gölcük ilçesinin yaklaşık 4 km güneyinde bulunan çalışma alanı Kocaeli il merkezine 20 km mesafededir. Kocaeli-Yalova D-130 karayolu İhsaniye sapağından itibaren 3 km güneye gidilerek inceleme alanına ulaşılabilir. Yüz ölçümü yaklaşık 28,03 km² olan alan KAFZ’na 1200 m uzaklıktadır.

Armutlu Yarımadası’nın kuzeyindeki Samanlı dağlarının eteklerinde kurulmuş sekiz köyden oluşan alanın, doğusunda Başiskele İlçesi, kuzeyinde Gölcük şehir merkezi, daha kuzeyinde ise İzmit Körfezi bulunur.



Şekil 1.2. İnceleme alanı yer bulduru haritası

1.4. Önceki CBS-Heyelan Duyarlılık Çalışmaları

Önceki heyelan duyarlılık çalışmaları yeni çalışmaların hazırlanmasında yol göstermesi bağlamında çok önemlidir. Bu çalışma için derlenen önemli benzer çalışmalar eskiden güncele doğru sıralanmıştır.

Van Westen ve diğ. (1997) tarafından yapılan çalışmaya göre, CBS destekli heyelan tehlike haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemlerde; küçük ölçekli olursa nitel yaklaşımın, orta ölçekli çalışmalarda istatistiksel nicel yaklaşımın, ayrıntılı çalışmalarda ise deterministik yaklaşımın benimsenmesi gerektiği belirtmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca, hangi yaklaşım türü olursa olsun yöntemlerin hepsinde sahadaki mevcut heyelanların türleri ve alansal yayılımı hakkında bilgi sahibi olunması gerektiğini belirtmişlerdir. Nitel analizlerin uygulamada zorlukları olduğunu belirten araştırmacılar, çok değişkenli istatistiksel analiz yaklaşımının uygun hücre boyutlarının kullanılmasındaki zorluklar nedeniyle sorun oluşturduğunu söylemişlerdir.

Guzzetti ve diğ. (2000) İtalya'nın Tiber nehir havzasında yaptığı çalışmada; heyelan envanter, yoğunluk ve tehlike haritalarının nasıl oluşturulması gerektiğinden bahsetmiş ve bu haritaları karşılaştırmıştır. Heyelan tehlike haritalarının; haritalama tekniği açısından zorluğundan bahsetmiş, haritalarının üretilmesinde çok değişkenli istatistiksel analizlerin en iyi sonucu veren yöntemlerden biri olduğu, ancak yine de sınıflama açısından ciddi sorunların bulunduğunu belirtmişlerdir. Yazarlara göre literatürde yer alan çok sayıdaki çalışmaya rağmen, heyelan tehlike haritalarının üretilmesine ilişkin kullanılan yöntemler ve parametreler açısından henüz bir fikir birliğine ulaşılamadığı, bu tür haritaların taşıdığı belirsizliklerin özellikle heyelan envanterinin oluşturulmasında kullanılan verilerin kalitesinden ve ağırlıklı olarak nitel tanımlamalardan kaynaklandığını belirtmişlerdir. Yerel değişkenlere yer verilen çalışmaların gelecekte kullanılması gerektiğini ve bunun daha doğru tehlike haritaları üretebilmenin gerekliliği olduğu vurgulanmıştır.

Lee ve Min (2001) çalışmalarında mantıksal regresyon analiz yaklaşımını kullanarak heyelan duyarlılık haritasını elde etmişlerdir. Araştırmacılar yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yamaç şekli, litoloji, zemin türü ve kalınlığı ile bitki örtüsü parametrelerini heyelanlarla ilişkilendirmişlerdir. Her bir parametrenin heyelan oluşumundaki

ağırlığını mantıksal regresyon analizleri ile belirlemişlerdir. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde gereksinim duyulan ayrıntılı heyelan envanterinin, Güney Kore'nin tamamına yakını için mevcut olduğunu belirtmişlerdir.

Destegül (2002) çalışmasında; Gölcük, Karamürsel ve Yalova yerleşim alanlarını da içine alan bölgede fiziksel açıdan arazi kullanım potansiyelini incelediği çalışmada jeoloji, morfoloji, heyelan, bakı, eğim, parametrelerini kullanmış, uygun yerleşim alanları tespit etmiş ve mevcut yerleşim alanlarının jeolojik, morfolojik ve depremsellik açısından uygun olmadığı sonucuna ulaşmıştır.

Öztürk (2002) yaptığı çalışmada, doğal afetler içerisinde yer alan heyelanların meydana gelmesine neden olan doğal ve beşeri faktörleri, heyelan tiplerini, Türkiye genelinde heyelanların oluşturdukları etkileri araştırmıştır. Bu araştırmaya göre heyelanların neden oldukları can ve mal kayıplarının azaltılması için gereken önlemleri; heyelan olabilecek nitelikteki yerlerin yerleşime açılmaması gerektiği ve mevcut yerleşim alanlarının heyelana duyarlı alanlarda kalması durumunda can ve mal kayıplarına neden olacağından analiz edilmesi ve gerekirse taşınması gerektiğini söylemiştir. Ulaşım güzergâhları belirlenirken yapılan heyelan haritaları da kullanılarak arazinin uygun alanlarından geçirilmesi gerekliliğini vurgulamıştır.

Ercanoğlu ve Gökçeoğlu (2002) Karabük, Yenice kuzeyini kapsayan bir alanın heyelan duyarlılık haritasını, bulanık mantık yaklaşımını kullanarak üretmişlerdir. Arazi ve hava fotoğrafı çalışmalarını kullanarak heyelan envanterini oluşturmuşlar, yamaç eğimi, topografik yükseklik, yamaç yönelimi, bozunma zonu, derinliği, su koşulları ve arazi kullanım potansiyeli parametreleri etken olarak değerlendirmişlerdir. Çalışmada litoloji veya jeolojik özellikler parametre olarak kullanılmamıştır. Buna sebep olarak çalışma alanının tek bir litolojik birimden oluşmasını göstermişlerdir. Heyelanı tetikleyen ani yağışların bu çalışmaların doğruluğunu etkilediği gerçeğine değinerek mevcut yöntemlerin hiçbirinin mükemmel çözümler getirmediğini vurgulamışlardır. Araştırmacılara göre bulanık kümelerin kullanımının avantajı olarak sayısal ve kavramsal verilerin bir arada kullanılabilmesini göstermişlerdir.

Pradhan ve diğ. (2006) çalışmasında Malezya'nın Penang, Cameron, Selangor bölgelerinde Uzaktan Algılama (UA) verileri ve coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak çok değişkenli Lojistik (mantıksal) Regresyon (LR) yöntemiyle heyelan risk analizi

yapmışlar. Heyelan oluşumunda etkili on farklı (eğim, bakı, litoloji, akarsuya yakınlık, eğrilik, süreksizlik yakınlığı, zemin türü, arazi kullanımı, yağmur dağılımı, bitki örtüsü indeksi) parametre kullanmışlardır. Araştırmacılar üç bölge içinde heyelan risk analizi yapmışlardır. Elde ettikleri heyelan risk analiz sonuçlarını doğrulamak ve karşılaştırma yapmak için seçtikleri heyelanlarla, risk haritasını karşılaştırmışlardır. Selangor bölgesi için %94'lük, Cameron Bölgesi için %90'lık ve Penang bölgesi için %86'lık bir doğruluk yüzdesine ulaşmışlardır.

Yalçın (2007) çalışmasında öncelikle heyelan duyarlılık analizlerinde Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nin kullanımı ile ilgili bilgiler verilmiştir. Analitik Hiyerarşi Yönteminin, karmaşık çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan tekniklerinden biri olduğu, elemanların ikili karşılaştırılmasından elde edilen önceliklere dayalı bir ölçüm yöntemi olarak tanımlanabileceği belirtilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise, yapılan örnek bir çalışmada üretilen heyelan duyarlılık haritasının 56 aktif heyelan alanında kontrolü yapılmıştır. Bu doğrulama yönteminin uygulanmasıyla, çalışılan alanın %84 gibi bir oranla, yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip alanlara rastladığı saptanmıştır.

Erener ve diğ. (2007) yaptığı çalışmada, Norveç'in Shien şehrinde, killi katmanlar nedeniyle meydana gelen toprak kaymaları sonrasında, bölge için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile heyelan duyarlılık haritalaması yapmışlardır. Heyelan duyarlılık haritaları için birden fazla metot kullanan araştırmacılar heyelanı meydana getiren parametrelerden, eğim açısı, bakı, eğrilik, yükseklik, litoloji, toprak tipi, tren rayı ve otoyola yakınlık, nehir ve göllere olan yakınlık, arazi kullanımı ve yağış parametrelerini dikkate almışlardır. Frekans Oranı metodu ve Lojistik Regresyon metotları kullanarak ürettikleri haritaları değerlendirerek en uygun duyarlılık haritasına ulaşmaya çalışmışlardır. Lojistik regresyon yönteminde ise bağımsız değişkenleri, coğrafik hücrelerdeki heyelanın olma ya da olmaması ile ilişkilendirmiş ve gelecekte olabilecek heyelanın olma olasılığını gösteren haritayı üretmişlerdir. İlk yöntem olarak frekans oranı yaklaşımında her bir parametre için frekans oranlarını hesaplanmış ve heyelan duyarlılık haritası elde etmek için bu değerleri tüm alandaki her harita ünitesi için çakıştırma yöntemi ile toplamıştır. Üretilen duyarlılık haritalarının doğruluğunu test etmek için ise envanter haritasıyla çakıştırmışlardır.

Çil (2009) farklı tarihlerde çekilmiş hava fotoğraflarını inceleyerek çok zamanlı heyelan envanter haritası oluşturmuş, heyelanların mekânsal ve zamansal olabilirliğini değerlendirmiştir. Mekânsal olabilirliğini değerlendirmek için mantıksal regresyon yöntemini kullanmış belirli bir zaman aralığında gelişmiş heyelanlar için duyarlılık haritası üretmiştir. Zamansal olabilirlik değerleri, tetikleyici faktörler göz önünde bulundurularak, yağış frekans ilişkileri kullanılarak belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda 5, 10, 25, 50 ve 100 yıllık heyelan oluşma olasılıklarına göre farklı büyüklüklerde ($0,1 \text{ km}^2$, $0,05 \text{ km}^2$ ve $0,01 \text{ km}^2$) olabilecek heyelanların mekânsal ve zamansal olabilirliğini gösteren heyelan olası tehlike haritaları ortaya çıkmıştır.

Kavzoğlu (2010) yaptığı çalışmada; Trabzon ili için potansiyel heyelan riski taşıyan alanların belirlenmesi ve heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasını amaçladığı çalışmada Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Ağırlıklı Doğrusal Birleştirme yöntemini birlikte kullanılmıştır. Duyarlılık haritası oluştururken, kriter ağırlıkları önemlilik derecelerine göre sırasıyla litoloji, eğim, arazi örtüsü, bakı ve yükseklik faktörlerini olarak sıralanmıştır. Üretilen heyelan duyarlılık haritası ile mevcut heyelan alanları karşılaştırılmış ve toplamda yüksek ve çok yüksek risk alanlarının yaklaşık %78 oranında örtüştüğü belirlenmiştir. CBS tabanlı çok kriterli karar analiz yönteminin, risk haritaları üretiminde etkin bir yöntem olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

Eker ve diğ. (2012) yaptıkları çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemlerine (CBS) dayalı lojistik regresyon (LR) ve yapay sinir ağı (YSA) analizlerini kullanarak, Bartın ilinin Ulus ilçesi için bir heyelan duyarlılık haritası hazırlamayı amaçlamışlardır. Büyük hücre boyutundaki envanter haritalarının daha anlamlı dağılım göstermesini sağlamak için çekirdek yoğunluğu (karnel) yöntemini kullanmışlardır.

Dağ ve Bulut (2007) “Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasına Bir Örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye)” adlı çalışmalarında Çayeli yöresinde 2002 yılı temmuz ayındaki sağanak yağış sonucunda meydana gelen heyelanlar araştırılmış ve inceleme alanının heyelan duyarlılık haritası hazırlanmışlardır. 149 heyelan alanı belirleyerek başladıkları çalışmada, litoloji-ayırışma, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, arazi örtüsü, yükseklik, akarsuya yakınlık faktörlerinin heyelan oluşumuna etkilerini değerlendirmişler ve mevcut heyelanların %81’nin duyarlı ve çok yüksek duyarlı alanda kaldığını belirtmişlerdir.

Kavzoğlu ve diğ. (2012) heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan faktörlerin etkilerinin araştırdığı çalışmada heyelan duyarlılığını etkileyen faktörlerin sayısındaki artışın duyarlılık haritasının doğruluğu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla farklı boyutlardaki 4 veri seti (3 faktör, 5 faktör, 7 faktör ve 10 faktör içeren) oluşturulmuş ve duyarlılık haritasının üretiminde geleneksel bir metot olan lojistik regresyon yöntemi ve veri madenciliği yöntemlerinden destek vektör makinelerini kullanılmıştır. Faktör sayısındaki artış ile birlikte heyelan duyarlılık haritalarındaki doğruluğun belli bir seviyeye kadar arttığını ancak belirli bir kritik düzeyden sonra doğruluğun azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Bu davranışın literatürde Hughes fenomeni ya da boyutsallık problemi ile açıklanabileceğini söylemişlerdir. Çalışma sonucunda ise vektör makineleri yönteminin lojistik regresyon yöntemine göre %6 daha doğru sonuç verdiği belirtilmiştir.

Pektezel (2015) Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Sistemine (AHS) göre Gelibolu Yarımadası'nın Deprem Duyarlılık Analizi adlı çalışmasında Yarımada'nın %82,2 (774,0 km²)'sinde deprem duyarlılığının yüksek olduğu sonucuna varmıştır. Yarımada'da yüksek duyarlılıktaki alanların fazla olduğunu Çanakkale Boğaz Köprüsü'nün etkisiyle yakın gelecekte sosyo-ekonomik bakımdan bir cazibe merkezi haline geleceğini bu nedenle deprem zararlarının azaltılması için Gelibolu Yarımadası'nda mevcut yerleşmelerde, yerleşime açılacak alanlarda ve yeni yapılacak yapılarda bu çalışma sonuçlarının dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir.

Akıncı ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada, heyelanlardan çok fazla etkilenen Artvin ili merkez belediyesi sınırları içerisinde çalışmışlardır. Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemi kullanılarak Artvin (Merkez) Belediyesi'nin imar planı revizyonu için esas aldığı sınır içerisinde kalan alanın heyelan duyarlılık haritasını üretmişler ve heyelan duyarlılık analizinde litoloji, yükseklik, eğim, bakı ve akarsuya yakınlık parametrelerini kullanmışlardır. Sonuç olarak çalışma alanının %15'inin çok yüksek, %25,52'sinin yüksek, %28,95'inin orta, %18,77'sinin düşük ve %11,76'sının ise çok düşük derecede heyelana duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, çalışma alanı içerisinde kalan yerleşim birimlerinin idari sınırları ile mevcut imar planındaki yapı adaları üretilen heyelan duyarlılık haritası ile karşılaştırılarak yerleşim birimlerinin ve yapı adalarının heyelan duyarlılıkları belirlenmiştir. Buna göre, Çamlık ve Balcıoğlu

mahalleleri ile Seyitler köyü arazilerinin %50'den fazlasının ve yapı adalarının yaklaşık %68'inin çok yüksek veya yüksek derecede heyelana duyarlı alanda kaldığı tespit edilmiştir. Yerleşim yerleri için yapılan bu çalışmalar daha büyük ölçekli hazırlanarak planlarda da kullanılabilecektir.



2. JEOLojİ

Kocaeli ili jeolojik açıdan iki önemli tektonik ve yapısal birliği bir arada bulundurmaktadır. Bunlardan biri İstanbul Paleozoyik'i ile Kocaeli Triyası'nı içeren Kocaeli Yarımadası tektonik birliği, diğeri ise İzmit Körfezi'nin güneyinde yer alan ve Sakarya Zonu'nun bir bölümü olan Armutlu Yarımadası tektonik birliğidir. Bu iki tektonik ve yapısal birlik KAFZ ile ikiye ayrılmaktadır.

Kocaeli yarımadasını oluşturan birimler Ordovisiyen-Kuvaterner yaş aralığındadır. Kocaeli Yarımadası'nda, alttan üste doğru Erken Paleozoyik (Ordovisiyen-Erken Karbonifer), Permo-Triyas (Geç Permiyen?-Karniyen), Geç Kretase-Orta Eosen, Oligosen-Erken Miyosen, Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökel kayalar ile Permiyen ve Geç Kretase yaşlı magmatik (plütonik ve volkanik) kayalar yüzeyler.

Armutlu Yarımadası'nı oluşturan birimler ise temelde Prekambriyen-Alt Paleozoyik yaşlı olduğu düşünülen Pamukova Metamorfikleri başlar ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlarla sonlanır. Pamukova metamorfikleri üzerine daha az metamorfizma gösteren Alt Triyas-Kretase yaşlı İznik metamorfikleri gelmektedir. Üst Kretase yaşlı Bakacak formasyonu, Üst Paleosen-Orta Eosen yaşlı İncebel formasyonu, Eosen yaşlı Sarısu formasyonu, Pliyosen yaşlı Aslanbey formasyonu ve Kuvaterner çökelleri ile bölgedeki stratigrafi tamamlanmaktadır (Şekil 1.2). Metamorfikleri, sedimanter ve volkanosedimanter birimler örter. Fıstıklı granit sokulumu ise Eosen döneminde bölgeye yerleşmiştir.

2.1. Önceki Jeolojik Çalışmalar

Akartuna (1968) "Armutlu Yarımadası'nın Jeolojisi" isimli çalışmasında tüm yarımada'nın jeolojisini, paleocoğrafik ve tektonik evrimini incelemiştir. Armutlu yarımadasının 1/100000 ölçekli jeoloji haritasının çıkarmıştır. Bölgedeki metamorfik şist ve mermerleri tek bir birlik altında karbonifer öncesi olarak yaşlandırmış ve bunların üzerine uyumsuz olarak Mesozoyik-Tersiyer yaşlı birimlerin geldiğini belirtmiştir.

Bargu ve Sakıncı (1989) İznik Körfezi ile İznik Gölü arasında kalan bölgenin; Paleozoyik'ten Tersiyer'e kadar yaşlandırılan birimlerin birbirleriyle olan stratigrafik ilişkilerini, yayılımlarını incelemişlerdir. Yapılan çalışmada KAFZ oluşum sürecinden ve birimlerin birbirlerine olan etkilerinden söz etmişlerdir.

Erendil ve diğ. (1991) 'Armutlu Yarımadası'nın jeolojisi' isimli çalışmasında Kuzey Anadolu Fay zonuna ait Üst Kretase'nin başındaki istiflerle başlayan örtü çökelleri altında düşük dereceli metamorfizma gösteren bir temel bulunduğunu ve bu metamorfik istiflerin İznik metamorfitleri ve Pamukova metamorfitleri olarak adlandırılan iki tektonik birimden oluştuğunu söylemişlerdir. Ayrıca Geç Kretase'de İstanbul Zonguldak Ünitesi ve Sakarya Zonu arasında yer alan okyanusun (Intra-Pontide Okyanusu) varlığını gösteren delillerin yetersiz olduğunu da savunmuşlardır.

Göncüoğlu ve diğ. (1992) Armutlu Yarımadası'nın İznik metamorfitleri ve Pamukova (Armutlu) metamorfitleri olarak adlanan iki farklı tektono-stratigrafik birlikten oluştuğunu belirtmişlerdir. Pamukova (Armutlu) metamorfitlerini İstanbul zonuna ait kayaların metamorfik karşılığı olarak yorumlamışlar, stratigrafisinin ise kuvarsit, mermer, amfibolit ve şistlerden oluştuğunu söylemişlerdir. İznik metamorfitlerini ise Karakaya karmaşığı ile deneştirmiş ve Sakarya zonunun güney tektonik birimi olarak tanımlanmışlardır. İznik metamorfitleri ile Armutlu metamorfitleri arasındaki sınır bu araştırmacılara göre tektonik dokanaklı olup Armutlu metamorfitleri, İznik metamorfitleri üzerinde bindirmeli olarak yer almaktadır.

Kaya ve Kozur (1987) İç Pontid Okyanusu'nun varlığını sorgulamışlardır. Armutlu ve İznik metamorfitleri olarak adlanan bu metamorfik birimlerin birlikteliğini, Jura tortul istifi (fosil bulgularına dayanarak) olarak adlandırılan bir çökel paketin, bu birimleri uyumsuz olarak örtmesinden dolayı Jura ve öncesi bir olaya bağlamaktadırlar. Bu Jura tortul istifinin varlığından dolayı, Jura ve sonrası bir okyanuslaşmanın (Neotetis'in) olmadığını öne sürmüşlerdir.

Robertson ve diğ. (2004) yaptıkları çalışmalarında, Geç Paleozoyik'te kapanan ve Erken Mesozoyik'te açılan okyanus ile ilişkili olarak Batı Anadolu'daki Tetis'in evrimi için 3 farklı modeli test etmişlerdir. Birinci modelde Paleozoyik okyanusunun güneye dalması ile Gondwana'dan kıtasal parçaların ayrılarak riftleşmesi ve Triyas yaşlı Neo-Tetis'in güneyde açılması değerlendirilmiştir. İkinci modelde geniş bir

Palozoyik Tetis'in aktif bir Avrasya kenarı ve pasif Gondwana kenarı oluşturacak şekilde kuzeye dalması olarak yorumlanmıştır. Üçüncü modelde ise Paleozoyik bir okyanusun yine kuzeye dalması ile geniş bir kenar havzası açılması ve Gondwana sınırı boyunca geniş güney Neotetis'inin açılması tartışılmıştır.

Yılmaz ve diğ. (1994) 'KB Anadolu'da Geç Kretase yaşlı kıta kenarının jeolojik evrimi' adlı raporlarında bölgede kuzey, orta ve güney zon olmak üzere üç farklı tektonik birliğin bulunduğunu söylemişlerdir. Bunlar kuzeyden güneye doğru Rodop-Pontid kıtası, İç Pontid okyanusu ve Sakarya kıtasıdır. Armutlu yarımadası ve dolayının Rodop-Pontid kıtası ile Sakarya kıtasının Üst Kretase'de çarpışmaları sonucunda oluşmuş bir kıta kıta çarpışma zonunu temsil ettiğini söylemektedirler. Buna göre Armutlu metamorfitleri Rodop-Pontid kıtasını temsil eden İstanbul Paleozoyik istifinin metamorfik eşdeğeridir. Armutlu metamorfitlerinin stratigrafisi bu çalışmada daha farklı verilmiştir. Ordovisiyen yaşlı volkanojenik bir istifin, stratigrafinin alt seviyelerinde yer aldığı gösterilmiştir. İznik metamorfitleri ise Sakarya kıtasının kuzeyinde yer alan Neotetis okyanusunun kuzey kolunda çökelen kayaların metamorfik eşdeğerleridir.

Emre ve diğ. (1998) 'Doğu Marmara Bölgesi'nin Neojen-Kuvaternerdeki Evrimi' isimli çalışmada; Doğu Marmara Bölgesi'nin Neojen-Kuvaterner'deki morfotektonik evriminde; 1) Erken-Orta Miyosen, 2) Geç Miyosen-Pliyosen, 3) Geç Pliyosen-Günümüz olmak üzere üç ana şekillenme dönemi ayırt edildiğini söylemiş ve bu dönemlerde birbiriyle açısız uyumsuz üç çökel istifin oluştuğunu belirtmişlerdir. Erken-Orta Miyosen karasal kırtılı, Geç Miyosen-Pliyosen karasaldan denizele geçişli, Geç Pliyosen-Günümüz ise karasal-denizel çökellerle temsil edilmektedir. Bölge Oligosen sonunda Intra-Pontid okyanusunun kapanması sonucu karasal aşınım alanı haline dönuşmüş ve Erken-Orta Miyosen boyunca paleotektonik dönem olaylarının etkisinde kalmıştır. Orta Miyosen sonlarına kadar süren bu aşınım dönemi sonunda geniş alanlara yayılan bir peneplen morfolojisi gelişmiş ve karasal kırtılılar çökelmiştir.

Günümüz jeolojisinin belirlemiş olan neotektonizma Geç Miyosen başlarında başlamış ve birbirinden farklı stildeki iki evrede gelişmiştir. Geç Miyosen-Pliyosen'i kapsayan neotektonizmanın ilk evresinde bölgede K-G yönlü sıkışma rejimi egemen

olmuş, bunun sonucunda gelişen D-B yönlü kıvrımlar ile KD-GB ve KB-GD uzanımlı doğrultu atımlı faylarla bölge morfolojik olarak tümünden yükselime uğramıştır. Bu süreç içerisinde başlangıçta, altta akarsu çökelleri ile başlayan ve üste doğru gölsel ve denizele geçişli olan Geç Miyosen-Erken Pliyosen istifli çökelmiş, dönem sonunda ise bu çökellerin geliştiği havzalar parçalanarak Geç Pliyosen'de bölge yüksek aşınım alanı şeklini kazanmıştır. Neotektonik dönemin ikinci evresi ise en Geç Pliyosen'de Kuzey Anadolu Fayının ortaya çıkışı ile başlamıştır ve günümüze kadar olan süreyi kapsar. Doğu Marmara günümüzdeki morfolojisi ve aktif tektonik çatısı Kuzey Anadolu Fayının transform hareketleri ile tanınan bu evrede gelişmiştir. Günümüz Marmara Denizi havzasının da yapısal gelişimi Kuzey Anadolu Fayına bağlı olarak en Geç Pliyosen'de başlamıştır,' diyerek bölgenin paleojen sonrası değişimini ortaya koymuşlardır.

Yiğitbaş ve diğ. (1999) Batı Pontidleri araştırdıkları çalışmalarında, Paleozoyik'ten Tersiyer'e kadar olan dönem içerisinde gelişmiş olan birimleri tektonik olarak gruplamışlardır. Buna göre bölgede kuzeyde Pontid zonu, güneyde Sakarya zonu ve Armutlu-Ovacık zonu olarak 3 farklı zona değinmişlerdir. Yapılan çalışma içerisinde Üst Kretase'de İstanbul-Zonguldak ünitesi ve Sakarya Zonu arasında yer alan okyanusun (Intra-Pontide okyanusu) varlığının tartışmalı olduğu anlaşılmaktadır.

Yapılan çalışmalarda kayaç birimlerinin adlandırılması, sınıflandırılması, köken ve oluşum zamanı konularında görüş ayrılıkları bulunmaktadır. Görüş ayrılıklarının temelini, bölgenin jeolojik zaman içerisinde birden fazla deformasyona uğraması ve jeokronolojik verilerinin eksik olmasıdır. Bunların dışında Armutlu Yarımadası genelinde litolojilerin yoğun bitki örtüsü ve kalın toprak tabakası tarafından kapatılmış durumda olması bölgenin jeolojisinin detaylı incelenmesini engellemektedir (Özkan, 2013).

2.2. Bölgesel Jeoloji

Armutlu Yarımadası yaklaşık 3750 km² yüzölçümüne sahiptir. Yarımada'nın orta ve doğu bölümünün bir kısmı Kocaeli ilinin sınırları içinde kalmaktadır. Armutlu Yarımadası'nın jeolojisi genel olarak Göncüoğlu ve diğ. (1986) çalışmasından yararlanılarak verilmiştir.

Armutlu Yarımadası'nda yer alan kaya stratigrafi birimleri iki grupta incelenebilir. İlk grup düşük ya da görelî daha yüksek dereceli metamorfik kayalar, ikincisi ise metamorfik kayalar üzerinde Üst Kretase'nin ilk katlarında oluşmuş kireçtaşları ile uyumsuz olarak yer alan Kretase-Pliyosen yaş aralığındaki metamorfik olmayan magmatik ve çökel kayalardır.

İnceleme alanın jeolojisini yaşlıdan gence doğru sıraladığımızda öncelikle metamorfik grupları incelemek gerekir. İlk metamorfik grup içinde yüksek dereceli olanlar için çoğunlukla amfibolit ve metagranitlerden oluşan ve bölgenin güneyinde kuvarsit ve granit çakıllı metakırıntıları da içeren bölümden bahsedilebilir. Metamorfik grubun diğer kayaları ise Sapanca Gölü-İznik arasında ve yarımadaının batı kesimlerinde yaygın yüzeylemeler verdiği gözlenen düşük dereceli olan bölümdür. İznik metamorfikleri olarak adlanan bu bölüm yer yer felsik volkanik ve volkanotortul birimler de içeren metakırıntılı-karbonat seviyesiyle başlar. Bu birimin üzerinde ise alacalı renkli, çoğunlukla volkanik-piroklastik kayaların egemen olduğu ve yine çeşitli kırıntılı kayalar içeren bir birim yer alır. Bu birimin de üzerinde metavolkanik kayalardan oluşan ve yer yer mermer blok ve ara tabakaları içeren bir birim uyumsuz olarak yer alır. Yalnızca düşük dereceli metamorfik birimler içindeki büyük boyutlu ve yüksek mermer yüzeylemeleri üzerinde ince bir kumtaşı düzeyi ile başlayan kireçtaşları, metamorfik grubu örten istifin ilk üyesidir. Erken Üst Kretase (Senomaniyen – Turoniyen) yaşlı bu birime daha genç birimlerin altında rastlanmaz. Metamorfik seviyenin üzerindeki grubun ikinci birimi, Üst Kretase'nin ilk katı yaşlı makrofosilli kireçtaşlarıdır. Üst Kretase formasyonlarının en yaygını Mastrihtiyen yaşlı bir fliş istifidir. Bu birim metamorfik grubun en üst üyesi olan metavolkanikleri ya da alacalı şistler içindeki büyük ofiyolit yüzeylemelerini bir taban konglomerasıyla uyumsuz olarak örter. Bu birimin alt düzeyleri, özellikle bölgenin güneyinde, çok nadir ofiyolit bloklarıyla birlikte Üst Jura ve Kretase yaşlı kireçtaşı blokları içeren olistostromal bölümler kapsar. Bu birimin üzerinde yer alan formasyonlar ise güneyde Paleosen-Eosen yaşlı kalın bir fliş, kuzeyde ise Eosen yaşlı daha çok andezitik volkanik bir istif niteliğindedir (Göncüoğlu ve diğ., 1986).

Bölgenin genç birimleri; Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı çökeller yarımadaının kuzey sınırları boyunca ve İzmit Körfezi kıyısında izlenmektedir. İnceleme alanımızda; Paleozoik yaşlı metamorfikler (Pm), Aslanbey formasyonu (Ta), Sarısu formasyonu

(Ts), İncebel formasyonu (Ti), Bakacak formasyonu (Kb) ve Alüvyon (Qal) birimlerden oluşmaktadır. Sarısu formasyonu ve İncebel formasyonu inceleme alınının yaklaşık %90'nı oluşturmaktadır.

2.2.1. Pamukova metamorfikleri (Pm)

Gölcük güneyinde, Başkiraz dere vadisi boyunca gözlenen bu birim yüksek dereceli metamorfizma göstermesi ve granitik daykılarla kesilmesi yüzünden yarımada'nın en yaşlı kaya birimi olarak ele alınmıştır. Bölgede, tabanda düzenli kuvarsit, şist – kalkışist ve mermerler yer bulunmaktadır (Göncüoğlu ve diğ., 1992). Yanal sürekliliği olan bu mermer seviyesinin üstünde amfibolit fasiyesinde metamorfizma gösteren, yaklaşık 500 m kalınlıkta piroklastik ve volkanik kayalardan oluşan birim yer alır. Yer yer belirsiz de olsa, tabakalanmalı olan bu birim kimi yerde belirgin şistozite gösterir. Birimin temel litolojisini oluşturan amfibolitler, gri yeşil ya da koyu yeşil renkli homojen kümeler halinde görülebilmektedir. Amfibolit düzeyinin üzerinde bazen pembemsi granit çakılları içeren bir konglomera ile uyumsuz olarak meta kırıntılı bir birim yer alır. Genellikle metagrovak, kuvarsit ve sleytlerden oluşan birim aşırı ölçüde deformasyona uğramış ve genel olarak milonitik bir yapı kazanmıştır. Konglomera düzeyleri; milonitik dokulu, kuvars ve plajioкластан oluşan hamur içinde deforme olmuş granitik çakıllar taşır (Göncüoğlu ve diğ., 1986).

2.2.2. İznik metamorfikleri (İm)

İznik metamorfikleri: Armutlu yarımadasında D-B yönünde, Sapanca'dan Gemlik körfezine kadar bir hat boyunca uzanmaktadır. Düşük dereceli metamorfizmaya uğramış birim şist-mermer, rekristalize kireçtaşı ve ofiyolitik seviyeler içerir.

Armutlu yarımadasının iki metamorfik bölümü olup daha düşük dereceli metamorfizmaya uğramış kayalar İznik metamorfikleri olarak adlandırılmıştır. Gri ve koyu renklerin hâkim olduğu birimde kırıntılı kayalar yoğunluktadır. Birim içinde açısız uyumsuzluk gözlenmez (Önder ve Göncüoğlu, 1989).

2.2.3. Bakacak formasyonu (Kb)

Akartuna (1968), tarafından adlandırılmıştır. Düşey ve yanal yönden farklı litolojik özellik göstermektedir. Metamorfik istiflerin üzerine kuzeybatıda belirgin bir taban

konglomerası ile yarımadanın güneydoğusunda da fliş ve olistrosromal bölümler ile birlikte uyumsuz olarak yerleşmiştir. Formasyonun alt düzeylerinde olistrosromal konglomera-türbidit kumtaşı ve kalsitürbit bulunmaktadır. Daha üstlere doğru matriksini pelajik mikrit, marn, çamurtaşının oluşturduğu olistrosromal gelişim sergilemektedir (Göncüoğlu ve diğ., 1992). Bakacak formasyonunun çökeldiği ortam, tektonik yönden oynak ve hızla çöken – derinleşen bir havza özelliği göstermektedir.

Formasyon fliş istif ve Jura-Kretase kireçtaşlarıyla temsil edilmektedir ancak magmatik ve metamorfik kaya blokları içerdiği de bilinmektedir. Fliş istif; kumtaşı, konglomera, marn, kireçtaşı gibi kayaların ardananmasından oluşur. Erendil ve diğ. (1991) tarafından Maestrihtiyen olarak yaşlandırılan birim, Kurtköy güneyi, Kılıç Köyü güneyi, Laledere, Çukurköy civarında ve inceleme alanının güneyinde bulunan Hamidiye köyünde yüzeylenir.

2.2.4. İncebel formasyonu (Ti)

İnceleme alanında, Siretiye, Mamuriye, Ferhadiye ve Nüzhetiye köylerinde bulunan birim adını İncebel köyünden almaktadır. Göncüoğlu ve diğ. (1986) tarafından İncebel formasyonu olarak adlandırılmış olan istif fliş niteliği taşımaktadır. Formasyonun kalınlığı yaklaşık 1000 m olarak kabul edilmekte olup, fosil bulgularına göre üst Paleosen-Orta Eosen yaşındadır. Taban konglomerası ile başlayan birim kumtaşı, çamurtaşı, marn ve konglomera ardananmasından oluşur. Tabanda konglomeralarla birlikte kalınlığı 50-100 m civarında kumtaşı seviyeleri de bulunmaktadır. Kumtaşları; hem sığ hem de derin deniz, fosil ve fosil parçaları içeren lamine, derecelenmeli, bol kuvars taneli, volkanik ve metamorfik kaya parçalı türbiditik çökellerdir.

Bu formasyonun üzerinde uyumlu olarak Sarısu volkanitleri bulunmakta olup, ikisi birlikte uyumsuzlukla Aslanbay formasyonu tarafından örtülür. İncebel formasyonu Sarısu volkanitleriyle düşey olarak geçişlidir.

2.2.5. Sarısu formasyonu (Ts)

Armutlu yarımadası ve Kocaeli ilinde oldukça geniş alanlarda yüzeylenen birim, inceleme alanında da büyük alan kaplamaktadır. Az alterasyona uğramış masif volkanik kayaların yüzeylendiği Sarısu Köyü birime ismini vermiştir. Birçok

çalışmada Kızderbet volkaniti olarak da adlandırılan kayalar, inceleme alanında Ümmiye, Hasaney, Nimetiye, köylerinde yüzeylenmektedir.

Metamorfitletler üzerine 5-10 m kalınlıkta bir çökel düzey ile başlayan formasyon konglomera, çamur taşı, kumtaşı ve kireçtaşı gibi litolojilerden oluşur. Çökel taban üzerine genellikle piroklastik ve epiklastik kayalardan oluşan formasyonun piroklastik akıntı çökelleri simetri oluşturduğuna bakılmaksızın kötü boylanmış lahar çökelleriyle ardalanır. Formasyonda iri andezit bloklu ve çakıllı plaj konglomerası niteliğinde epiklastik seviyelerde görülür. Üst bölümde ise lav akıntıları ince düzeyler halinde piroklastik kayalarla ardalanmaktadır (Göncüoğlu ve diğ.,1986).

Bu volkanik istif Armutlu yarımadasını ortasında bir şerit halinde yüzeylemeler vererek KD-GB yönlerinde ikiye ayırmaktadır. Bazı bölümlerinde Fıstıklı graniti tarafından kesilen birim İncebel formasyonu ile konkordansdır ve Kılıç formasyonu ile örtülmektedir. Birimin, içerdığı fosiller dikkate alındığında Eosen yaşlı olduğu anlaşılmaktadır.

2.2.6. Aslanbey formasyonu (Ta)

Kocaeli ili güney kesimlerinde Gölcük ve Bahçecik ilçelerinin Marmara denizine bakan yamaçlarında ve Kartepe ilçesinin belirli kısımlarında bulunan formasyon Ponsiyen çökellerinden oluşmaktadır ve KAF'ına bağlı hareketlerden oldukça fazla etkilenmiştir. Ponsiyen çökelleri genellikle kumtaşı, kötü tabakalanmalı konglomera, çamurtaşı ve marn ardalanmasından oluşmaktadır. Sarı ve beyaz renkli düzeyleri bulunan birim yumuşak morfolojiye sahiptir (Göncüoğlu ve diğ., 1986).

Malzeme akıntısı çökelleri, kanal ve elek çökelleri, taşkın çökelleri olarak üç farklı stratigrafik düzey gösteren birim Pliyosen yaşındadır. Morfotektonik yapıya uygun olarak yüksek topografyadan düşük topografyaya doğru, iri ve düzensiz boylanmalı çakıltaşları, yassı, yuvarlak ve ince çakıltaşı-kum, kum-kil, kötü boylanmalı çakıl ve kil-silt şeklindedir (Doğan, 1998). Arslanbey formasyonu inceleme alanında çok az yer kaplamaktadır.

2.2.7. Alüvyon (Qal)

Kocaeli ilinde Sapanca'dan İzmit'e uzanan hat boyunca ve İzmit Körfezi çevresinde geniş alanları kaplayan birim bölgenin en genç oluşumudur ve tüm diğer birimleri açısal uyumsuzlukla örter. Akarsuların Armutlu yarımadasından aşındırdıkları malzemeleri taşıması ve biriktirmesi sonucunda oluşmuşlardır. İnceleme alanında Hisar dere çevresinde görülmektedir. Alüvyon birim içerisinde farklı boyutlarda çakıl, kum, kil, silt birimleri bulunur ve çakıl serileri tabakalanmasız ve gevşek tutturulmuştur. İzmit körfezi güneyindeki alüvyonlar metamorfik karakter taşımaktadır. Birimin kalınlığının (Özalaybey ve diğ., 2007) yapılan sondaj verilerine göre 200 metreye ulaştığını belirtmektedir. Körfez alüvyonlarında (Bargu, 1982) denizel kökenli canlıların kavrıklarını tespit etmiştir. Birim Holosen çökellerini temsil eder.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	SİMGE	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	TERSİYER	KUVARTER NER	HOLOSEN	Qal			Kil, Silt, Kum
		NEOJEN	PLİYOSEN	Ta	>500		Çakıl, kil, silt, kum, marn, karbonat
			ARSLANBEY FM.				
		PALEOJEN	EOSEN	Ts	>1500		Andezit, tüf, volkano sedimentler
			PALEOSEN	Ti			Kumtaşı, kiltası, tüf
			İNCEBEL FM.				
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST	BAKACAK FM.	Kb			Kireçtaşı, olistostrom
PALEOZOYİK			PAMUKOVA / İZNİK METAMORFİKLER	Pm / İm	>2000		Şist, rekristalize kireçtaşı, metakumtaşı, metasilttaşı, mermer, amfibolit

Şekil 2.1. İnceleme alanı ve civarının stratigrafik dikme kesiti (Göncüoğlu, (1986)'dan değiştirilerek)

3. KÜTLE HAREKETLERİ

3.1. Kütle Hareketleri Tanımı

Kütle hareketlerinin literatüre geçmiş birçok tanımı mevcuttur. Bir yüzey üzerinde, aşağıya doğru anlaşılabilecek derecede hareket eden taş toprak veya bunların karışımından olan malzemenin ya da çeşitli kayaların hareketini kütle hareketi olarak tanımlayabiliriz (Erguvanlı, 1994).

Varnes (1978)'in, 'Bir yamacı oluşturan kaya, toprak veya moloz türündeki malzemenin farklı nedenlerden dolayı yer çekimi etkisi ile yamaç aşağı doğru harekete geçmesi' tanımı ise en yaygın olan kütle hareketi tanımı olarak karşımıza çıkmaktadır. Yamaç hareketleri konusunda birçok araştırması bulunan Varnes birçok kitap dergi vb. çalışmalara referans olmuştur.

3.2. Kütle Hareketleri Sınıflaması

Kütle hareketlerini birçok özelliklere göre sınıflamak mümkündür. Hareketin tipi, malzeme türü, hareketin hızı, yenilen malzemenin ve yenilen alanın geometrisi, yaş, yer değiştiren kütlenin kopma derecesi, jeolojik yapı ile kayma geometrisi arasındaki ilişki, gelişme (oluşma) derecesi, tip örneğinin coğrafik konumu, etkinlik durumu göz önüne alınarak sınıflamalar yapılmaktadır (Varnes, 1978).

Ayrıca kütle hareketleri meydana geldiği jeolojik formasyonun cinsi, yapısal özellikleri, fay, çatlak, şistozite, tabakalanma, ayrışma-dayanım ve yeraltı suyu gibi birçok etkenlerden dolayı meydana gelebilir. Geometrik yapısı farklı olabileceği gibi (düzlemsel, rotasyonel, karışık), oluşma süresi de (çok hızlı, hızlı, yavaş, krip gibi) farklı olabilir. Kütle hareketleri, litolojik özellikler, geometri, oluşum hızları ve yayılım özelliklerine göre de sınıflanabilir.

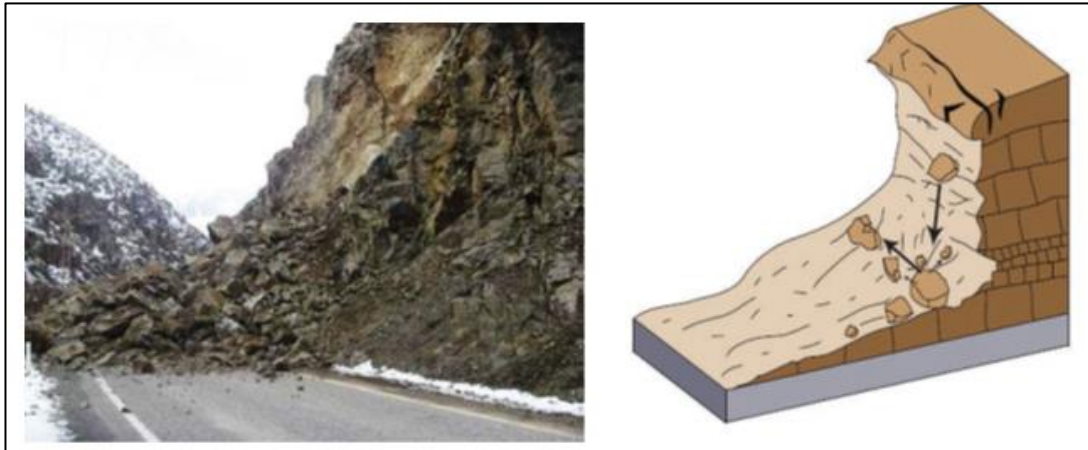
Çalışmanın bu bölümünde; hareketin tipi ve malzeme türü özelliklerine göre; düşme, devrilme, kayma, yayılma, akma, karışık, olarak sınıflanan kütle hareketleri detaylandırılmıştır (Tablo 3.1-3.8).

Tablo 3.1. Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların sınıflandırılması (Varnes, 1978)

HAREKETİN TİPİ		MALZEMENİN TÜRÜ	
		KAYAÇLAR	ZEMİNLER
			İri taneli İnce Taneli
DÜŞME		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi Zemin Düşmesi
DEVİRİLME		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi Zemin Devrilmesi
KAYMA (HEYELAN)	Rotasyonel	Kaya Kayması	Moloz Kayması Zemin Kayması
	Düzlemsel		
YAYILMA		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması Zemin Yayılması
AKMA		Kaya akması (Derin Krip)	Moloz Akması Zemin Akması (Toprak Kribi)
KARIŞIK		İki veya daha fazla hareket türü	

3.2.1. Düşme

Jeolojik formasyonun cinsine göre; moloz düşmesi kaya düşmesi ve toprak düşmesi şeklinde düşme türü kütle hareketleri bulunmaktadır. Birimin litolojik özelliklerine (tabakalanma ve şistozite, ayrışma, dayanım, süreksizlik) bağlı gelişeceği gibi jeolojik yapıda yamaç molozu türündeki malzemede ve rezidüel veya taşınarak depolanmış, zeminleşmiş birimlerde yeraltı suyu durumu da düşme türü kütle hareketlerine sebep olabilir. Yüksek topoğrafik eğim koşullarında, topuk oyulmaları, donma-çözülme etkileri ile hidrostatik basınç da bu tür oluşumda etkin rol oynar (KGM, 2015).



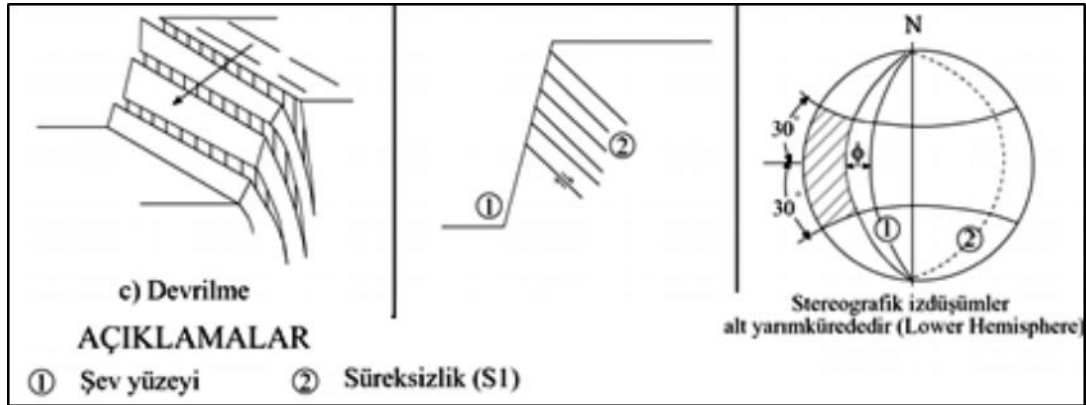
Şekil 3.1. Düşme şeklinde gelişen kütle hareketleri (FEMA, 1989)

3.2.2. Devrilme

Genellikle kaya devirmesi olarak görülen bu hareket türü, jeolojik ortamın cinsine göre moloz devrilmesi ve toprak devrilmesi olarak da adlandırılır. Formasyonun kaya olması durumunda bu birimin yapısal özellikleri (çatlak, tabaka ve şistozite özelliği), konumu ve yamaç yüzeyi ile verdiği geometrik konuma göre kinematik olarak tanımlanır (Şekil 3.3). Hareket eden birimin ekseninden dönmesi devrilme şeklinde oluşur (Şekil 3.2). Birimin kohezyonu, yamaç eğimi, yeraltı suyu, donma çözünme etkisi de toprak-moloz devrilmesi türü kütle hareketlerine neden olmaktadır (Varnes, 1978).



Şekil 3.2. Devrilme türü kütle hareketi (USGS, 2004)



Şekil 3.3. Devrilme türü hareketlerin kinematik analizi

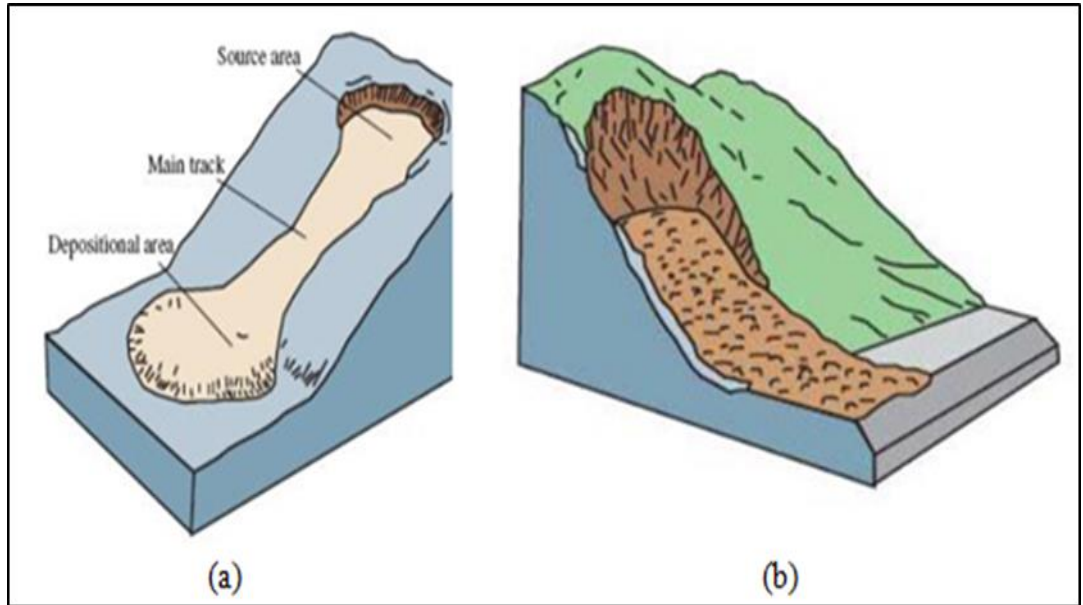
3.2.3. Akma

Düşme devrilme veya yayılma gibi hareketin yönünün tayin edilemediği kütle hareketi türü olan akmayı, kaya akmaları ve toprak akmaları olmak üzere iki bölümde inceleyebiliriz (Şekil 3.4).

Akma hareketleri, özellikle konsolide olmayan zeminlerde hızlı, yavaş, ıslak veya kuru biçimde oluşabilmektedir. Hareket eden malzemenin aldığı şekil hız veya hareketin yönü, viskozitesi yüksek sıvıların davranışı ile benzemektedir. Akma biçimindeki kütle hareketinde, hareket eden kütle içerisinde kayma yüzeyi ya hiç görülmez ya da kısa bir süreden sonra kaybolur. Bu tür hareketlerde diğer birçoğunda olduğu gibi tabandaki dayanımlı formasyonun malzemesi ve geometrisi akmanın türünü ve boyutunu etkiler.

Kuru veya kuruya yakın malzeme, kayaçların bozuşmasına bağlı kırık çatlak oranlarının artması ile başlayan kaya akmaları vadiler boyunca çok büyük boyutlarda şiddet meydana getirebilir (USGS, 2004).

Toprak akmaları ise hareketi oluşturacak malzemenin suya doymun hale gelerek boşluk suyu basıncının artması ile meydana gelir (Şekil 3.4). Yağışla beraber eğim durumuna göre hızlı yavaş ve çok hızlı duruma geçebilmektedir. Suyu doymun olan kütle ön kısmı kabartır ve dil şeklinde ilerler. Bu durum malzemenin su içeriğine göre değişebilir. Malzeme yer yer yuvarlanma veya kısmi düşme biçimleri de gösterebilir (Varnes, 1978).



Şekil 3.4. Akma türü kütle hareketleri ((a)Toprak akması (b)Kaya akması) (USGS, 2004)

3.2.4. Kayma (Heyelan)

Kayma türü kütle hareketleri gevşek yapıdaki bir bölgenin, kendinden daha sıkı bir alt tabakanın üstünden eğim doğrultusunda aşağıya doğru kayması sonucu gerçekleşen kütle hareketleridir (USGS, 2004).

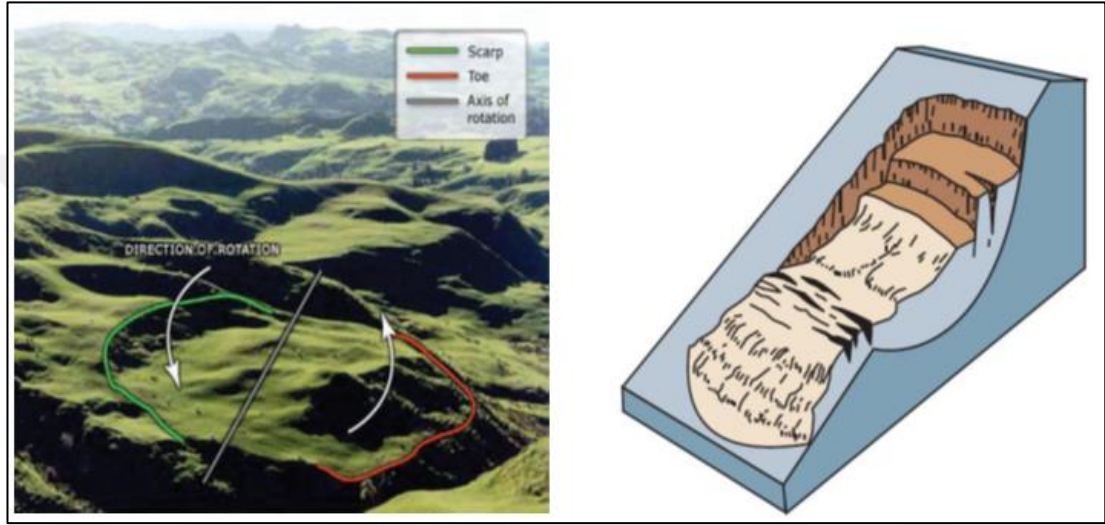
Rotasyonel kaymalar ve ötelenmeli düzlemsel kaymalar şeklinde, kayma türü heyelanlar ikiye ayrılmaktadır. Bloklaşmış kaya formasyonları üzerinde tek rotasyonel kayma, moloz türü birimlerde çoklu rotasyonel kayma ve zemin özelliği taşıyan birimlerde ardışık rotasyonel kayma olarak da rotasyonel kaymaları sınıflandırabiliriz (Varnes, 1978). Ötelenmeli kaymalar, düzlemsel ve kama tipi kayma olarak da sınıflandırılmaktadır (KGM, 2015). Jeolojik birimin tane dağılımına ve cinsine bağlı olarak yamaç molozu kayması veya toprak kayması olarak da adlandırmak mümkündür (Şekil 3.8).

Kaymalar kesme dayanımının azalması sonucu bir ya da birkaç düzeyde meydana gelir. Kayma türü heyelanların oluşumu zamanla gelişim gösterdiğinden takip edilebilmektedir.

3.2.4.1. Düzlemsel (blok) kaymaları

Rotasyonel hareket olmadan, kütlelerin bir tek ünite halinde dışa ve aşağıya doğru, bir yüzey boyunca hareket etmesidir. Bazı durumlarda hareket eden kütle, tabanı üzerinden farklı yöne doğru hareket edebilir. Rotasyonel kayma türü heyelanlarda, duraysız kütle dengesini sağlama eğilimini gösterir ve hareket yavaşlar, ancak düzlemsel kayma heyelanında taban yeteri kadar eğimli olmadığı için tabandaki kesme dayanımı hareket ettirici kuvveti karşılamadığından dolayı gelişmeye devam eder (Şekil 3.5) (USGS, 2004).

Tipik bir heyelan (kayma) Şekil 3.6’da gösterildiği gibi kayma zonu ve biriktirme zonundan oluşmaktadır. Kayma başlangıcı noktasının sabit duran bölümü (taç) ve tansiyon çatlakları, kayan kütlelerin çökmesi ile oluşan ana ayna ve tali ayna, kayan kütlelerin oturduğu yüzey (kayma yüzeyi) heyelanın kayma zonu olarak tanımlayabileceğimiz bölümünü oluşturur. Biriktirme zonu ise tabi zeminde kaymanın olmadığı ancak kayan malzemenin biriktiği ve hareket ettiği, birçok çatlak, sırtlar içeren ve topukla sonlanan bölümlerden oluşmaktadır.



Şekil 3.7. Rotasyonel kayma oluşum şekli (USGS, 2004)

3.2.5. Yanal yayılma

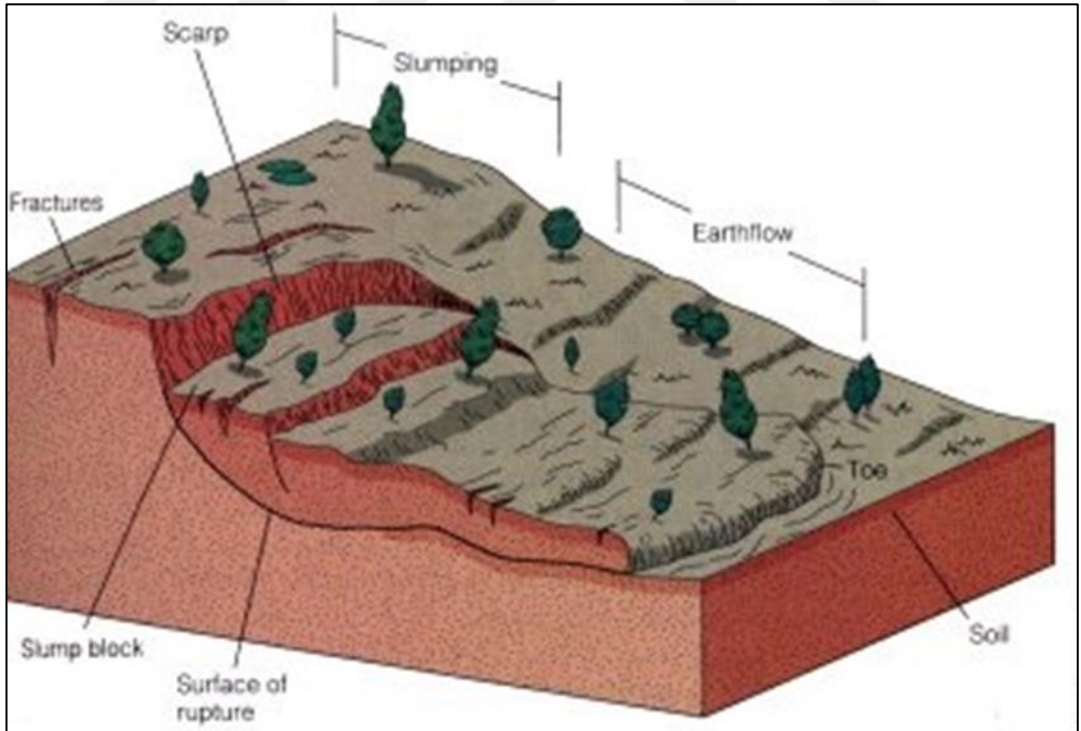
Yanal yönde hareketlenmeyle birlikte makaslanma ve gerilme çatlaklarının meydana gelmesi yanal yayılma türü kütle hareketlerinin oluşumuna işaret eder (Şekil 3.7). Doymuş, gevşek yapıda malzemenin (genellikle kumlar ve siltler) sıvılaşması yayılmanın esas nedenidir. Sıvılaşma deprem veya benzer benzer etki ile oluşabilmektedir. Sıvılaşan bölümün üzerindeki malzemede çökme kırılma ve parçalanma oluşabilir. Hareket eden bölümü oluşturan malzeme ince taneli ise ve düşük eğimli ise yanal yayılma boyutları artabilir (USGS, 2004).



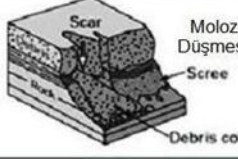
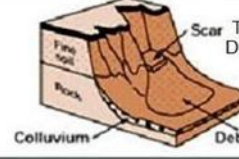
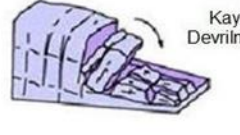
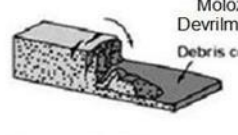
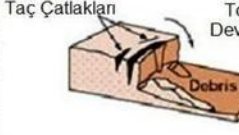
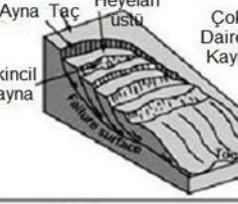
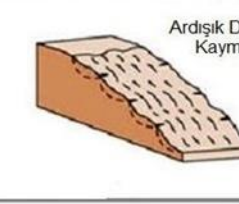
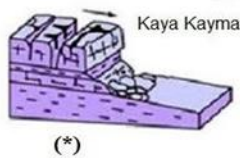
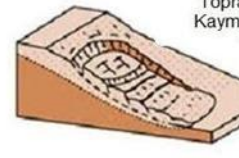
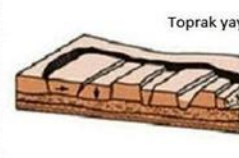
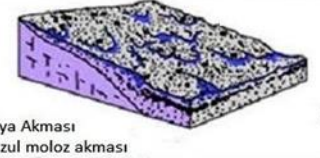
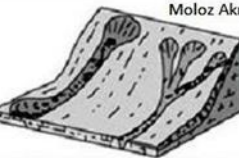
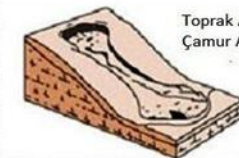
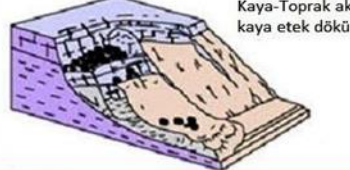
Şekil 3.8. Yayılma türü kütle hareketlerinin oluşumu

3.2.6. Karmaşık

Bir alanda birden fazla kütle hareketi türü aynı zamanda oluşabilir. Hareket eden kütlelerin belirli yerinde veya değişik bölümlerinde, birden fazla kütle hareketi türü gelişmiş ise bunların hepsi birden karmaşık kütle hareketi olarak isimlendirilir (USGS, 2004).



Şekil 3.9. Karmaşık türü kütle hareketlerinin oluşumu (URL-1)

Malzeme Hareketin Türü	KAYA	MOLOZ	ZEMİN
DÜŞMELER	 Kaya Düşmesi	 Moloz Düşmesi Scree Debris cone	 Toprak Düşmesi Fine soil Debris cone Colluvium
DEVİRLİMLER	 Kaya Devrilmesi	 Moloz Devrilmesi Debris cone	 Toprak Devrilmesi Taç Çatlakları Debris cone
KAYMALAR	 Tek Dairesel Kayma Failure surface	 Ayna, Taç, Heyelan üstü, İkincil ayna, Çoklu Dairesel Kayma Failure surface	 Ardışık Dönel Kayma
	 Kaya Kayması (*)	 Moloz Kayması	 Toprak Kayması
YAYILMALAR	 Örtü kayması, Normal yataya yakın yapı, Dışbükey eğim ve fay yapısı, Çatlak, Vadi Kabarması (erozyonla düzleşmiş), Örnek: Bombelenme ve Vadi oluşumu, Tabakların incilmesi, Taban bindirmesi düzlemi, Sağlam ana kaya		 Toprak yayılması
AKMALAR	 Kaya Akması Buzul moloz akması	 Moloz Akması	 Toprak Akması Çamur Akması
KARMAŞIK	 Kaya-Toprak akması ile kaya etek döküntüsü		 Örnek: Kompozit, dairesel olmayan, kısmen dönel/kısmen düzlemsel ve eteğe doğru toprak akması şeklinde

Şekil 3.10. Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre kütle hareketi türlerinin görünümü (Varnes, 1978)

3.3. Kütle Hareketlerinin Sebepleri

Kütle hareketleri, jeolojik, morfolojik, fiziksel ve insanlardan kaynaklanan etkenlerden dolayı meydana gelebilir (Cruden ve Varnes, 1996).

Kütle hareketlerinin oluşumunda etkili olan jeolojik sebepleri malzemenin durumu ile açıklayabiliriz. Eğer bir malzeme zayıf, hassas, makaslamaya uğramış, eklemli ve fissürlü birimlerden oluşuyorsa, fay, uyumsuzluk, dokanak, tabakalarına, yapraklanma düzeyleri içeriyorsa, geçirgense ve hemen altındaki yapı katı ve plastik özellik taşıyorsa heyelan veya başka tür kütle hareketi oluşumuna elverişli diyebiliriz.

Tektonik ve volkanik yükselme, buzul gerilemesi, yamaç topuğunun akarsu tarafından aşındırılması, yamaç topuğundaki dalga aşındırılması, yamaç topuğundaki buzul aşındırması, yeraltı aşındırması (çözülme, kanal sistemiyle aktarma), bitki örtüsünün ortadan kaldırılması (orman yangınları, kuraklık) gibi sebepleri ise kütle hareketlerinin oluşumuna zemin hazırlayan morfolojik sebepler olarak sıralayabiliriz.

Kütle hareketlerinin oluşumunda fiziksel sebepler düşünüldüğünde de, doğa olayları akla gelmektedir. Şiddetli ve ani yağmurlar, karın hızlı erimesi, taşkın ve gel-git olayında suların hızlı çekilmesi, deprem, volkanik püskürme, çözülme, donma ve çözülme yoluyla ayrışma, şişme-büzülme yoluyla ayrışma, olağanüstü yağışların devam etmesi gibi sebepleri, kütle hareketlerini etkileyen fiziksel sebepler olarak sıralayabiliriz.

İnsanların yamaç hareketlerinin oluşumundaki etkisi olduğu kaçınılmaz bir gerçektir. Yapılan mühendislik çalışmaları doğanın dengesini etkilemektedir. Yamacın veya topuğunun kazılması, yamaca veya tepesine yük konulması, göl suyu seviyesinin aşağı doğru çekilmesi, ormansızlaştırma, toprağı sulama, maden kazıları, yapay titreşimler, kullanımdan kaynaklanan su kaçakları gibi durumlar kütle hareketlerinin oluşumunda etkilidir.

4. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS)

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), mekânsal kökenli bilgilerin (grafik ve öznitelik) bilgisayar ortamında toplanması, saklanması, sorgulanması, mekânsal analizlerinin yapılması, görüntülenmesi ve farklı formatlarda çıktı alınması için oluşturulan bir bilgi sistemidir (Aranoff, 1995).

Yomralıoğlu (2009) yaptığı çalışmada, birçok CBS tanımlaması yapmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemini, bilgi teknolojisine dayalı bir veri toplama, işleme ve sunma aracı, yoğun ve karmaşık konum bilgilerinin etkin bir şekilde denetlenebildiği bir yönetim tarzı ve coğrafik verilerin daha verimli kullanılmasına olanak sağlayan bir sistem ya da bunların bir bütünü olarak algılanması gerektiğini belirtmiştir.

Bu sistem, karmaşık planlama ve yönetim sorunlarının çözülebilmesi için tasarlanan, mekândaki konumu belirlenmiş verilerin toplanması, yönetimi, işlenmesi, analiz edilmesi, modellenmesi ve görüntülenebilmesini sağlar (Esri, 2004).

4.1. Tarihçe

1960'lı yılların başından itibaren Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nin temelleri oluşturulmaya başlamıştır. Tarihsel süreçte, teknolojiye paralel olarak hızlı biçimde gelişmiştir. CBS kavramı ilk olarak Kanada'da Robert Tomlison tarafından gündeme getirilmiştir.

1960'lı yıllarda CBS yazılım tasarımları üzerinde gelişmeler olmuş, jeolojik jeomorfolojik ve benzeri verilerin hesaplama ve bilgisayar ortamına aktarılması çalışmaları başlamıştır.

1970'li yıllarda ise kişisel bilgisayarların artması ile CBS'nin kavram ve yöntem olarak yerleşmesine olanak sağlamıştır. Bu dönemde uzaktan algılama yöntemleri de CBS ile beraber kullanılmaya başlamıştır.

1980’li yıllarda ise network sistemi genişlemiş, farklı bilim dallarına hitap eden CBS yazılımları oluşmaya başlamıştır. Bu dönemde ayrıca CBS sistemleri özel şirketler tarafından daha çok geliştirilmeye başlamış ve ticari hacmi de büyümüştür. 1990’lı yıllardan günümüze ise aynı hızda gelişimine devam etmektedir. Bilimsel, ticari, kamu sektörleri için özel olarak geliştirilen CBS programları ile her alanda kullanılabilmektedir.

Kendine özgü ekonomik bir piyasası olan ve bir sektör haline gelen CBS gelişmeye devam etmektedir (Turoğlu, 2000).

4.2. Coğrafi Bilgi Sisteminin Yararları

Coğrafi Bilgi Sistemleri’nin gün geçtikçe artan potansiyeline bağlı olarak kullanımının yaygınlaşmasının yanı sıra sayısal bilgilerin artmasıyla da bilgileri kontrol etmek ve yorumlamakta doğal olarak zorlaşmaktadır. İşte Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kişi, kurum ve kuruluşların mekânsal tabanlı veriler üzerinde yapacakları çalışmalarda karar vermelerine yardımcı olmaktadır. Yani CBS, hem veri tabanı yönetimi hem analiz hem modelleme yeteneği hem de çalışmalar esnasında karar destek mekanizması gibi birçok ve önemli özellikleri bünyesinde barındırmaktadır.

CBS’nin faydaları:

- Bilgi akışını hızlandırır.
- Daha verimli üretim ve envanter yönetimi sağlar.
- İş verimliliğini artırır.
- Etkili ve doğru analizler (acil durum müdahale, kritik bilgi analizleri vb.) sağlar.
- Veri güncelleme kolaylığı sağlar.
- İş gücünü artırır ve zaman kaybını önler.

4.3. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Bileşenleri

CBS dünyaya bağlı mekânsal verileri elde etmek, depolamak, kontrol etmek, işlemek, analiz etmek ve görüntülemek için oluşturulan bir sistemdir (Parker, 1988). Coğrafi bilgi sistemi işleyebilmesi için mutlaka belirli ana bileşenlere ihtiyaç duymaktadır. Bunları veri (data), yazılım (software), yöntem (method), donanım (hardware) ve personel (user) olarak sıralanabilir (Şekil 4.1) (Esri, 2004).

Elde edilen verilerin yeterli bir donanıma sahip bilgisayarla ihtiyaçları karşılayan bir yazılım kullanarak bir yöntem dâhilinde kullanıcı tarafından sonuç elde edilecek bir formata sokulmasını sağlamak için bu elemanlar kullanılır.



Şekil 4.1. Coğrafi Bilgi Sistemi elemanları

4.4. Coğrafi Bilgi Sisteminin Genel Fonksiyonları

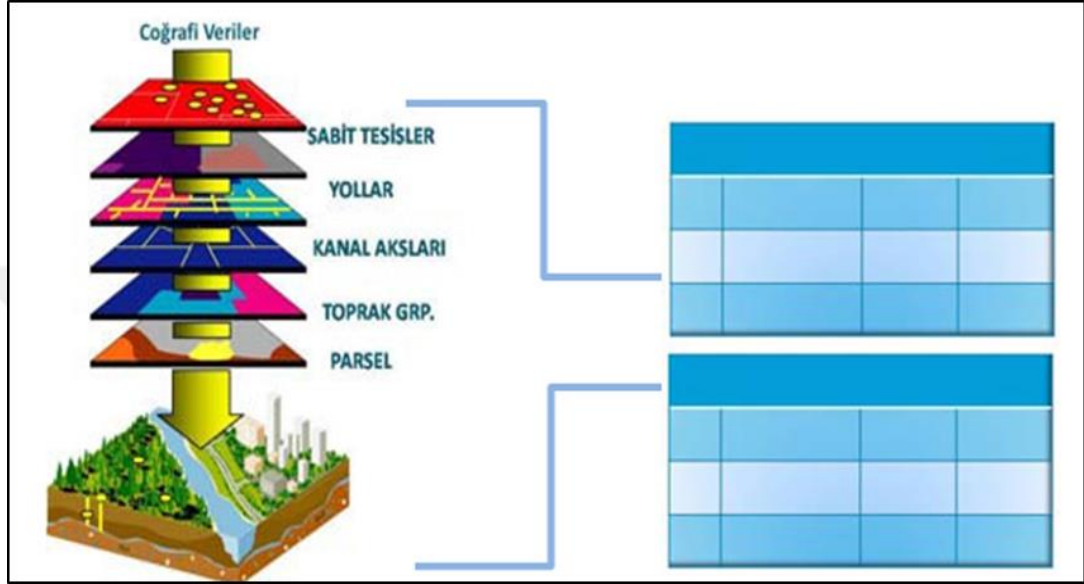
Coğrafi Bilgi Sistemlerinde veri toplamadan veri üretmeye, veri depolamadan görüntülemeye kadar birçok fonksiyon vardır. Ancak Coğrafi Bilgi Sistemleri fonksiyonlarını genel başlıklar altında toplamak gerekirse; “veri toplama teknikleri, veri depolama, veri görüntüleme, sorgulama, analiz ve çıktı” başlıkları ortaya çıkar (Esri, 2004).

4.5. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Veri

Coğrafi Bilgi Sistemi’nde, veri yapılarını mekânsal ve mekânsal olmayan veri yapıları olarak iki grupta toplamak mümkündür (Turoğlu, 2000).

Yeryüzü ve onunla ilgili özelliklerin görüntüye dayalı sayısal ifadelerini; konumunu, biçimini diğer objelerle olan geometrik ilişkisini (topoloji) kapsayan mekânsal datalar ile sayısal analizler yapma imkânı vardır. Mekânsal olmayan veriler ise metinsel nitelik verileri olup mekânsal varlığı tanımlayıcı verilerdir (Şekil 4.2).

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS); İnsan, yer ve mekânla ilgili coğrafi verilerin, yeryüzündeki gerçek referansları ile birlikte bir veri tabanında toplanması, bunlar üzerinde amaca göre çeşitli analizlerin yapılması ve sonuçların harita, tablo ve grafikler şeklinde gösterilmesi için tasarlanmış olan bir bilgisayar sistemidir (Fitzpatrick ve Maguire, 2000).



Şekil 4.2. Mekânsal veri ve mekânsal olmayan (tablo) veri gösterimi

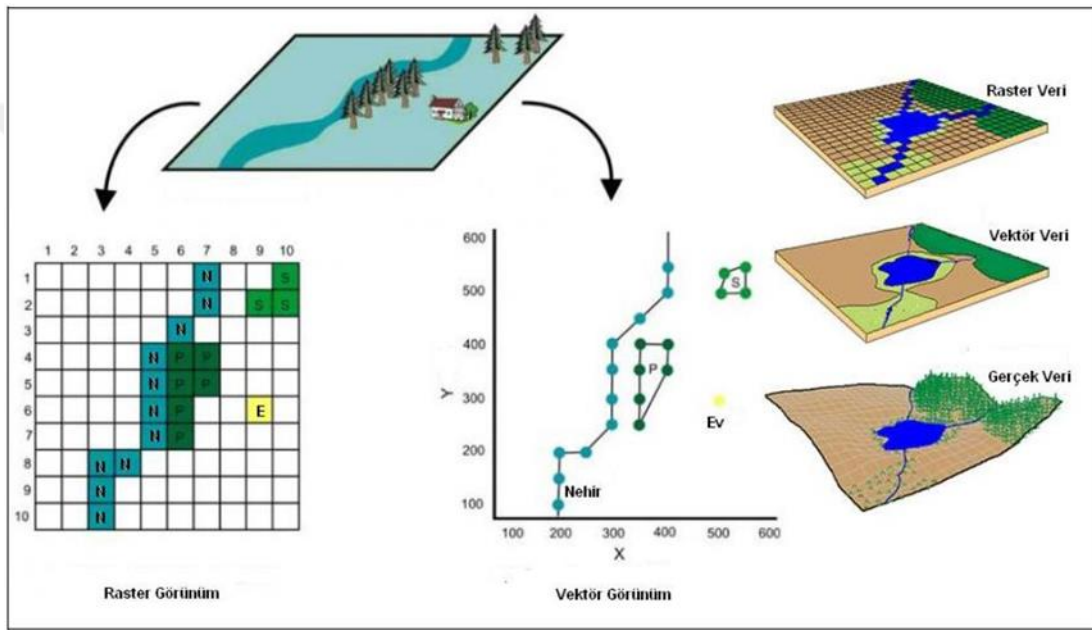
CBS’de zamansal, konusal ve mekânsal olmak üzere üç farklı türde veri kullanılmaktadır. Zamansal veri, toplanan verinin zamanını, konusal veri konuyu ve mekânsal veri verinin dünya üzerindeki konumunu belirtmektedir (Heywood ve diğ., 1998).

Coğrafi bilgi sistemindeki veri tiplerini geometrik veriler (vektör veriler, raster veriler), görsel veriler (raster grafik, vektör grafik) olarak iki bölüm halinde sınıflamıştır (Bill, 1991). Veri tipleri birçok çalışmada farklı olarak gruplanmıştır, Ancak bu çalışmada mekânsal ve mekânsal olmayan olarak detaylandırılmıştır.

4.5.1. Mekânsal veriler

Mekânsal veriler data olarak tanımlanıp sayısal değerlerle ifade edilen CBS verileridir. Raster datalar ve vektör datalar olmak üzere iki bölümde incelenebilir (Esri, 2004; Turoğlu, 2000)

Raster data (veri) mekana ait bir özelliğin belli ölçüdeki bir alan (hücre) veya birbirine komşu alanlar ile tanımlanması ile karakterize edilir ve nokta çizgi ve alanlardan oluşur. Fotoğraf görüntüsü özelliğine sahip raster modeller, genellikle uydu görüntüsü, fotoğraf ya da haritaların taranması (scanning) ile elde edilirler. (Yomralıoğlu, 2009). Raster veriler daha fazla depolanma kapasitesine sahip olup bazı konumsal analizlerin bu verilerle yapılması daha kolaydır (Şekil 4.3). Ancak raster verilerin analizi hüce boyutu ile ilgi olduğundan hassas çalışmalarda eksiklik oluşturabilir (Esri, 2004; Turoğlu, 2000).

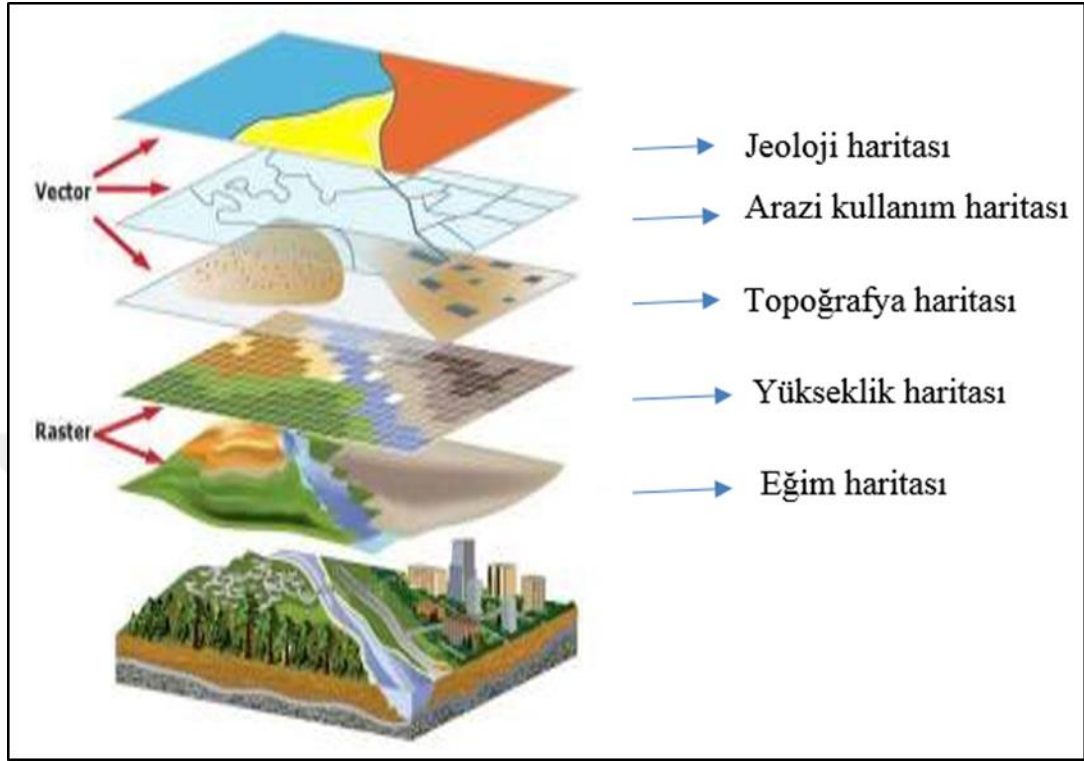


Şekil 4.3. Coğrafi verilerin raster formatında görünüşü

Vektör veri: Geometrik koordinat sisteminde x,y değerleri ile ifade edilen nokta, çizgi ve alan tanımlaması yapılabilen veri türüdür. Nokta özelliği tek bir x,y koordinat çifti ile temsil edilen veriler olup elektrik direkleri, yangın muslukları, kuyular örnek verilebilir. Çizgi özelliği, bir başlangıç ve bir bitiş noktası olan x,y koordinatlar dizisi ile temsil edilirler ve dereler, yollar, faylar örnek verilebilir (Şekil 4.4). Alan özelliği ise, başlangıç ve bitiş noktası aynı olan x,y koordinatlar dizisi ile temsil edilirler ve parseller, binalar, arazi kullanım alanları örnek verilebilir (Esri, 2004;Turoğlu, 2000).

Vektörel veriler coğrafi varlıkların kesin konumlarının tanımlamada son derece yararlıdır. Ancak, süreklilik özelliği gösteren coğrafi varlıkların, örneğin toprak

yapısı, bitki örtüsü, jeolojik yapı (Şekil 4.4) ve yüzey özelliklerindeki değişimlerin ifadesinde daha az kullanılır (Yomralıoğlu, 2009).



Şekil 4.4. Coğrafi bilgi sisteminde veri katmanları

4.5.2. Mekânsal olmayan veriler

Mekânsal olmayan verileri anlamsal, tematik, tarımsal, özellik verileri olarak adlandırıp; metinler, belirli sayılar veya bu sayıların toplamı, ölçü değerleri, isim vb. geometrik olmayan formlarda sunulabilen, bilgilerin analog formlarda bulunabileceği gibi sayısal veri bankası içerisinde de bulunabilecek verilerdir (Bill ve Fritsch, 1991). Daha basit bir tanımlama yapılırsa, mekânsal olmayan veriler grafik veriler olmayıp, açıklayıcı sözel olan nitelik verileri olarak söylenebilir (Turoğlu, 2000).

4.5.3. Veri toplama

Herhangi bir çalışmada veri toplamak, sonuca ulaşmak için en önemli aşamalardan biridir. Analiz ve değerlendirmede ana yönlendirici, araştırmalarda elde edilen verilerdir. Verinin niteliği ve formatı uygulamaların özelliklerine göre seçilmelidir. Gereksiz bilgilerin ve formata uymayan bilgilerin çalışmalara katkısı olmayacaktır (Turoğlu, 2000).

Arazi çalışmaları, küresel konum belirleyici (GPS), takeometrik ölçme, uzaktan algılama yöntemleri, kopyalama ve çevirim, sayısallaştırıcı (digitizer), optik okuyucu (scanner), jeolojik ve jeofizik ölçümler, istatistik ve metinsel veriler; veri toplama yöntemleri olarak sıralanabilir (Şekil 4.5) (Turoğlu, 2000).



Şekil 4.5. Coğrafi bilgi sistemi veri toplama araçlarından bazıları

4.6. Analiz

Bu bölüm; mekânsal analiz ve yüzey analizi olarak iki bölümde incelenebilir. Mekânsal analizi; ölçme, sorgulama, sınıflama, komşuluk ilişkisi, sadeleştirme, genelleştirme, eliminasyon, çakıştırma, yüzey analizini ise; sayısal arazi ve yükselti modelleri, eğim ve görülebilme hesapları, mekânsal enterpolasyon, benzeşim analizi alt başlıkları altında detaylandırılabilir (Turoğlu, 2000).

Mekânsal analizde ortak yaklaşım, üst üste harita yerleştirme yolu kullanılmasıdır. Farklı katmanlardaki mekânsal verilerin üst üste yerleştirilmesi, bu katmanlardaki nesnelerin geometrik kesişme süreçlerine imkân verir. Bu analiz, ilişkisel veri çizelgelerinde depolanan bu geometrilerin, ilgili özellik verilerinin sorgulanma yeteneğiyle daha da genişletilebilir (Chrisman, 2002). Ancak, mekânsal analiz sadece

üst üste yerleştirme teknikleri ile sınırlı değildir. Harici istatistiksel yazılımlar, CBS veri setlerinin sorgulama ve analizi için kullanılabilir (Mohamed ve diğ., 2006).

Coğrafi Bilgi Sistemi'nde depoladığımız verilerle, konuma dayalı kararlar verebilme, coğrafi verinin sorgulanması ve görüntülenmesi analizler yapılarak mümkün olmaktadır (Esri, 2004). Son dönemde kullanılan CBS yazılımları gelişmiş analiz yapma özelliklerine sahiptirler. Bu yazılımlarla mevcut bilgilerden yararlanarak yeni bilgi kümesi üretmek mümkündür.

ArcGIS ve benzeri yazılımlarla aşağıdaki analizler yapılabilmektedir:

- Bindirme Analizleri (Overlay),
- Yakınlık Analizleri (Proximity),
- Görünürlük Analizleri (Viewshed Analysis),
- Tampon Bölgeleme (Buffer),
- Taşkın Analizleri,
- Yer seçimi Analizleri,
- Yoğunluk Analizleri (Density Analysis)
- Kısayol ve Altyapı Yönetim Analizleri (Network Analysis),
- Yüzey Analizleri (3D, Aspect, Slope, Elevation, Visibility, Line of Site, Cut&Fill).

ArcGIS programı ile bu analizlerden, yakınlık analizleri, yüzey analizleri, bölgeleme analizleri ve bindirme analizleri tez kapsamında değerlendirme yapmak için kullanılmıştır.

4.7. Çıktı

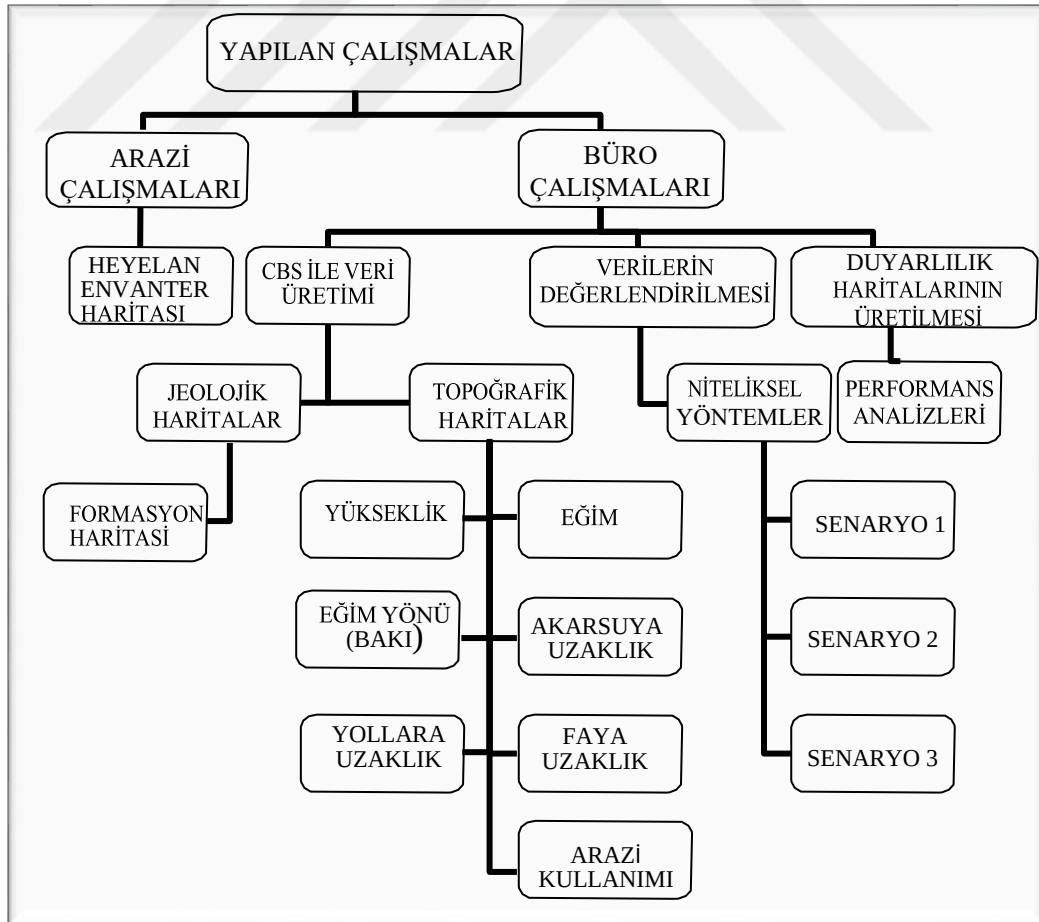
Veri sunuşu olarak da tanımlanan çıktı; toplanan, değerlendirilen, yani analiz edilen verilerin farklı formatlarda kolay anlaşılabilir görünüme getirilmesi işlemidir. İhtiyaç durumuna göre harita, tablo veya grafik şeklinde olabilir. Verilerin kalıcı olması ve paylaşılabilmesi adına gerekli elektronik formata dönüştürülmesi de önemlidir.

Veri sunumu, kâğıt, film veya benzeri malzemelere basılarak kalıcı hale getirilebileceği gibi anlık değerlendirme yapmak ve gözden geçirmek için ekranda gösterim şeklinde de olabilir.

5. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Heyelan değerlendirme çalışmaları uzun yıllardan beri yapılmaktadır. İlk yıllarda lokal ve probleme yönelik çalışmalar yapılmış iyileştirme yolları değerlendirilmiş ve ilgili probleme yönelik imalatlarla sorun çözümlenmeye çalışılmıştır. Ancak problem oluşmadan daha büyük alanlarda zarar azaltıcı çalışmalar yapılması gerekmektedir. Son yıllarda bu yönde yapılan çalışmalar artış göstermiştir. Bölgesel planlama veya her türlü mühendislik çalışmalarına altlık oluşturabilecek bu çalışmaların, ekonomik açıdan da katkı sunacağı bir gerçektir (Soeters ve Van Westen, 1996).

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında yapılan, arazi ve bilgisayar destekli büro çalışmaları genel olarak özetlenmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Tez çalışma süreci ve şeklini gösteren akış diyagramı

5.1. Arazi Çalışmaları

Veri tabanı oluşturmak heyelan duyarlılık çalışmalarının en önemli bölümüdür. Bu kapsamda heyelan envanter haritalarını doğru bir şekilde oluşturmak ve heyelan duyarlılığına etki edecek parametreler hakkında kaliteli veri toplamak, yapılan duyarlılık haritasının doğruluğunu artıracaktır (Van Westen, 1993).

Bölge hakkında genel bilgiler edinmek; bölgede oluşan heyelanların türlerini, boyutlarını belirlemek, bölgenin litolojik özelliklerini belirlemek vb. için birçok arazi çalışması yapılmıştır. İnceleme alanı ve civarında aşırı yağışlarında tetiklediği heyelanlar meydana gelmiş, çevreye ve insanlara birçok zararı olmuştur (Karakaş ve Coruk, 2011). Hamidiye köyünde meydana gelen heyelanlar incelenirken bölgenin heyelan açısından uygun koşulları sağladığı anlaşılmıştır ve Hamidiye köyü civarındaki sekiz köyün heyelan duyarlılık analizi yapılmaya karar verilmiştir. Bu kapsamda duyarlılık analizinde kullanılan heyelan alanları incelenmiş ve envanter bilgileri yenilenmiştir. İnceleme alanında MTA (Duman ve diğ., 2005) tarafından tespit edilen 90 adet çeşitli türlerde sınıflanmış heyelana ek olarak, arazi gözlemleri neticesinde, bazıları eski heyelan alanları üzerinde olmak üzere 22 farklı heyelan alanı tespit edilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Hamidiye köyünde tespit edilen bazı heyelan noktaları

İnceleme alanın jeolojik çalışmaları kapsamında da birçok kez arazi çalışması yapılmıştır. MTA jeoloji haritaları incelenmiş, formasyon sınırları belirlenmiş ve bazı litolojik özellikler tespit edilmiştir (Şekil 5.3). Bölgenin jeolojik formasyon bilgilerine bölgesel jeoloji bölümünde detaylı olarak yer verilmiştir. Çalışma alanı içerisinde bulunan Mamuriye Köyü ve Hasaney Köyü’nde heyelana yönelik yapılan jeoteknik sondaj ve arazi deneyleri bizzat takip edilmiş, laboratuvar deneyleri ve rapor ayrıntıları değerlendirilmiştir.



Şekil 5.3. İncebel formasyonu içerisindeki kumtaşı-kiltaşı ardalanması ve süreksizlik yüzeyleri

Mamuriye köyü için yapılan heyelana yönelik jeoteknik etüt çalışması kapsamında bölge hakkında birçok bilgi toplanmıştır. Sarısu ve İncebel formasyonlarının geçiş noktasında yer alan Mamuriye köyünde 2012 yılında meydana gelen heyelanlardan dolayı bu köy ve civarı kapsamlı bir biçimde incelenmiştir (Şekil 5.4). Köyde, heyelan araştırması kapsamında 12 adet sondaj, arazi ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Risk altında olan köy camii bölgesinde (SK-2) inklinometre kuyusu açılmış ve bir süre hareket takip edilmiştir.



Şekil 5.4. Mamuriye köyünde meydana gelen heyelan noktaları

Mamuriye Köyü’nde Sarısu volkanikleri içerisinde meydana gelen heyelanlı alanların kayma yüzeyleri daha sığdır ve alt kotlarda başlayan İncebel formasyonunun dayanımı yüksek kayaçlarına yaslanarak dengelenmektedir ancak formasyonun akarsuya yakın olan bölümlerinde de aktif heyelanlar bulunmaktadır (Zengince ve Karakaş, 2016). Yapılan şev stabilite analizlerinde stabilite sorunu olduğu görülmüştür. Stabilite Güvenlik katsayısının (F_s) 0,536-3,055 arasında değiştiği belirlenmiştir. İnklinometre çalışmaları neticesinde kaymanın yönü belirlenmiş ve 20 günde maksimum 15 mm olduğu tespit edilmiştir. Yapılan inklinometre deney sonuçları cami bölgesinde meydana gelen heyelanın yönünün arazi eğim yönünde değil de, KB yönündeki dere yatağına doğru olduğunu göstermiştir (Keskin ve diğ., 2015).

Yeraltı suyu seviyesinin oldukça yüksek olduğu bölgede uygulanan yanlış sulama ve mevsimsel yağış değişikliği duyarlılığı artırmakta ve heyelana sebep olmaktadır. Sorunların önüne geçilebilmesi için drenaj sistemi kurulmalı ve istinat yapıları yapılmalıdır (Keskin ve diğ., 2015). Şekil 5.5, Mamuriye köyünde uygulanan drenaj hatlarını göstermektedir. Yapılan istinat yapıları ve drenaj sistemi sonrası bölgedeki yamaç hareketliliğin azaldığı tespit edilmiştir.

Çalışma alanı içerisindeki bütün köylerde arazi çalışmaları yapılarak, büro çalışmalarına katkı sağlayacak veriler elde edilmiştir.



Şekil 5.6. Yol üzerinde tespit edilen rotasyonel kayma

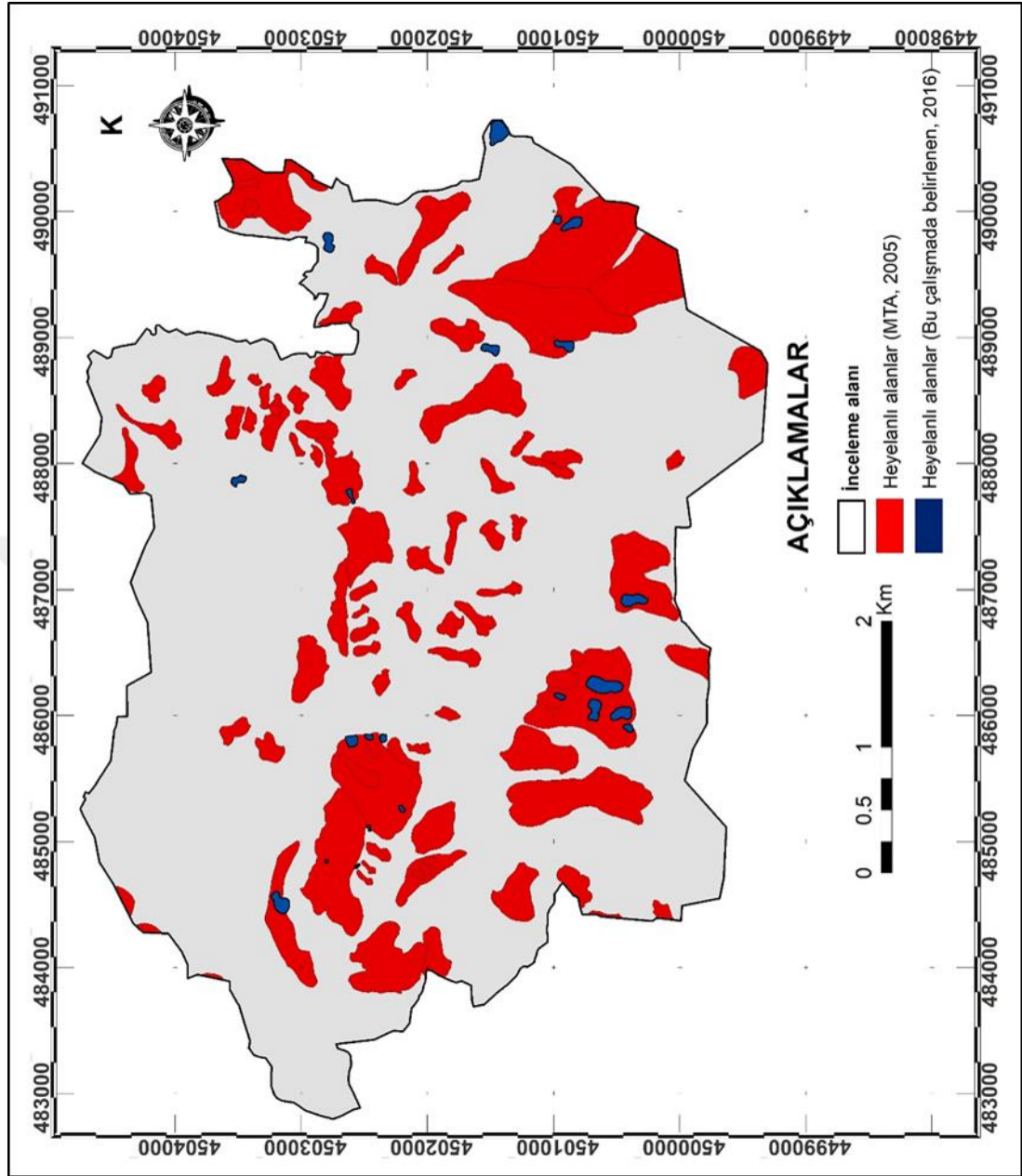
Çalışma alanında rotasyonel kayma, akma, karmaşık türü farklı heyelan türleri bulunmaktadır. Çalışma alanında tespit edilen bazı heyelanların akarsu aşındırması ve yol çalışmaları dolayı tetiklendiği belirlenmiştir (Zengince ve Karakaş, 2018) (Şekil 5.6).

5.2. Büro Çalışmaları

Çalışmanın büyük bir bölümünü oluşturan büro çalışmaları birkaç aşamada gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak tez çalışmasını doğru yönlendirebilmek için genel jeoloji, heyelan, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ve duyarlılık analizleri ile ilgili araştırmalar yapılarak literatür taranmıştır.

Bölge ile ilgili hazırlanan jeolojik raporlar incelenmiş bölge hakkında formasyon sınırlarını belirlemek için ön hazırlık oluşturulmuştur. Bölgenin heyelan durumunun değerlendirilmesi adına Afet ve Acil Yönetim Başkanlığı (AFAD), valilik ve belediyeler tarafından hazırlanan heyelan raporları incelenmiş ve envanter oluşturma çalışmasına altlık oluşturulmuştur. İnceleme alanı içerisinde ve çevresinde heyelana yönelik veya yerleşime uygunluk değerlendirmesi için yapılan jeoteknik raporlar incelenerek bazı bölgelerin teknik verileri de değerlendirilmiştir.



Şekil 5.7. İnceleme alanı heyelan envanter haritası (Duman ve diğ., (2005)'den değiştirilerek)

Birçok araştırma ve yöntemle elde edilen verilerin heyelan duyarlılık analizi için kullanılabilecek formata dönüştürülebilmesi adına, ArcGIS 10.4 programı kullanılmıştır. İlgili tüm katmanların öz nitelik tablolarının oluşturulması, raster (grid) ve vektör verilerin katman haritalarına dönüştürülmesi bu program vasıtası ile gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda kullanılan vektör haritalar (jeoloji, akarsuya uzaklık faya uzaklık, yollara uzaklık, arazi kullanımı haritaları) ilgili kaynağından ArcGIS programı için uygun olan formata dönüştürülmüştür. İnceleme alanı sayısal yükseklik verileri (DEM) kullanılarak bölgenin eğim, bakı, yükseklik haritaları oluşturulmuştur.

Oluşturulan tüm haritaların projeksiyonları; ülkemiz için son dönemde geliştirilmiş birçok özellik içeren TUREF_TM36 koordinat sistemine dnştrlmştir (Aktuğ, 2005). Bütün harita katmanları duyarlılık analizinde kullanılırken doğru değerlendirme yapabilmek için 25x25 m hücre boyutundaki raster formatına dnştrlmştir. Kullanım sınıfı veya aralıklarını belirlemek, piksellere öz değer atamak için ise yeniden sınıflama işlemi yapılmıştır.

Yapılan önemli çalışmalardan biri ise heyelan envanter haritası ile heyelanı oluşumunu etkileyecek parametre haritalarının çakıştırılarak, heyelan-parametre ilişkisinin ortaya çıkarılmasıdır.

İncelemenin asıl amacı olan heyelan duyarlılık haritasını üretmek için farklı ağırlıklandırılmış veri katmanları ile üç senaryo gerçekleştirilmiştir. ArcGIS 10.4 programı yetenekleri ile zerleme (Overlay) analizi yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda ilgili analiz yöntemlerinin formülasyonları ve değerlendirme adımları izlenerek duyarlılık haritaları oluşturulmuştur.

6. HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ HAZIRLANMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

Duyarlılık analizleri için kullanılan yöntemlerde, olası heyelanların tespit çalışmaları veya meydana gelme ihtimalinin fazla olduğu alanların tahmini, geçmişte meydana gelmiş yamaç duyarsızlıklarına bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Bundan dolayı, heyelan alanlarının belirlenmesinde ve tahmininde, yamaç duyarsızlığına neden olan özelliklerin mekânsal dağılışı ile meydana gelmiş heyelanların dağılışının kombinasyonu kullanılmaktadır (Carrara ve diğ., 1991). Böylece üretilen duyarlılık haritalarıyla, heyelanlara yatkın olan ve heyelan meydana gelme olasılığı fazla olan alanların tespiti yapılabilmektedir.

Heyelan duyarlılık çalışmalarında uygulanan birçok yöntem bulunmaktadır. Bunları genel olarak Tablo 6.1'deki gibi özetlemek mümkündür.

Tablo 6.1. Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan yaklaşımlar (Van Westen, 1993; Carrara ve Guzzetti, 1991)

Analiz Tipi	Genel İçerik
Dağılım Analizi	En basit yöntemlerden bilisi olup, doğrudan heyelanların haritalanmasını içerir. Haritalanan alanlar geçmişte meydana gelmiş heyelan alanlarıdır.
Niteliksel Analiz	Kullanılan en genel yöntemdir. Daha çok, sayısal veri eksikliğinin olduğu ve niceliksel yöntemlere dolayı tercih nedeni olup, bir veya iki haritanın arazi tecrübeleriyle ağırlıklandırılması esasına dayanır.
Niceliksel Analiz	Akademik ve araştırma enstitüleri çevrelerince en çok benimsenen dolaylı metot olup, heyelan ve heyelana neden olan faktörler arasındaki ilişkiye daha kapsamlı değinen ve diğer ilk iki yönteme göre çok daha az sübjektif olan yöntemdir.
Deterministik Analiz	Dolaylı metot olan bu yöntem, yamaç stabilitesi çalışmalarını içerir ve güvenlik faktörünün değerlendirilmesini amaçlar. Bu yöntemin doğru uygulanabilmesi için detaylı jeoteknik ve hidrolojik veriye ihtiyaç vardır. Daha çok küçük alanlara uygulanabilen bu yöntem, veri elde edilmesi mümkün olmayan büyük alanlar için uygulanması zordur.
Sıklık Analizi	Dolaylı metot olan bu yöntemde, deprem ve yağış kayıtlarıyla heyelan günlerinin korelasyonu yapılır, sıklık için eşik değeri elde edilir.

Heyelan duyarlılık çalışmalarında karmaşık veya basit yöntemler kullanarak çok doğru ve güvenilir haritalar üretilmektedir (Yılmaz, 2009). Aslında heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden çok, dikkate alınan parametrelerin doğru seçilmesinin önemli bir rolü bulunmaktadır. İncelenen bölgenin özel koşulları dikkate alınıp o bölge için etkin olan parametreler doğru seçilir ve etki oranları doğru hesaplanabilirse mevcut durumu daha çok temsil edici haritalar üretilir. Kaldı ki çalışmalar kapsamında birden fazla yöntem kullanılabilir.

Heyelan analizi yöntemlerini Niteliksel (Kalitatif), Niceliksel (Kantitatif) ve Hibrit olarak ta sınıflayabiliriz (Tablo 6.2).

Tablo 6.2. Heyelan değerlendirme yöntemleri (Çellek, 2014; Aleotti, 1999)

Kalitatif (Niteliksel) Yöntemler (Doğrudan Haritalama)	Arazide Yapılan Jeomorfolojik Gözlemler ve Değerlendirmeler			
	İndeks veya Parametre Haritalarının Kullanımı	İndeks Haritalarının Çakıştırılması veya Birleştirilmesi		
		Mantıksal Analiz Yöntemleri		
Yarı Niteliksel Yöntemler	Heyelan Duyarlılık İndeksi			
	Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP)			
Kantitatif (Niceliksel) Yöntemler (Dolaylı Haritalama)	İstatistiksel Analiz	İki Değişkenli Analiz		
		Çok Değişkenli Analizi	Ayrırma (Diskriminant) Analizi	
			Faktör Analizi	
		Matris Analizi	Lojistik (Mantıksal) Regresyon Analizi	
			Çok Kriterli Değerlendirme (ÇÖKA)	
	Jeoteknik Yaklaşım	Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHP)		
		Deterministic (Güvenlik Katsayısının Hesaplanması) Analiz		
		Olasılık Yaklaşım	Tek değişkenli olasılık analizi	Frekans oranı (FR)
	Yapay Zeka Yöntemleri	Yapay Sinir Ağları		
Bulanık Mantık Yaklaşımı				
Hibrit Yöntemleri	İndeks Tabanlı Yöntemler	(İki Değişkenli İstatistiksel Analizler-Analitik Hiyerarşi Süreci)		
	Eğitim Tabanlı Yöntemler	(İki Değişkenli İstatistiksel Analizler-Yapay Sinir Ağları Yöntemi)		

6.1. Niteliksel Yöntemler

Kişisel bilgi ve deneyimi esas alan yöntem; tehlike ve duyarlılık çalışmasını yapan kişi veya kişilerin saha gözlemlerine ve genel bilgi seviyesine bağlıdır. Aynı zamanda ‘uzman değerlendirme yaklaşımları’ olarak da bilinen bu yöntemler, arazide yapılan

jeomorfolojik gözlemler ve değerlendirmeler ile indeks veya parametre haritalarının kullanımı olmak üzere iki alt başlığa ayrılmaktadır. İndeks veya parametre haritalarının kullanımı yöntemi de kendi içerisinde indeks haritaların karşılaştırılması veya birleştirilmesi ile mantıksal analiz yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Tablo 6.1).

6.2. Niceliksel Yöntemler

Niceliksel yöntemlerde, önemli olan matematiksel veya istatistiksel veridir. Karar verme aşamalarında, istatistiksel yöntemlerin (iki veya çok değişkenli), deterministik ve olasılığa dayalı yaklaşımların, özellikle son yıllarda kullanımı yaygınlaşan bulanık mantık yaklaşımı ve yapay zeka tekniklerinin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Bu yöntemlerde, çalışma alanına ait koşullarla heyelanların nedenleri arasındaki ilişkiyi, sayısal olarak ortaya koymak mümkün olabilmektedir (Aleotti ve Chowdhury, 1999).

İki yöntem bazı durumlarda beraber de kullanılabilir. Örneğin İndeks Tabanlı Yöntemler, (İki Değişkenli İstatistiksel Analizler+Analitik Hiyerarşi Süreci) veya Eğitim Tabanlı Yöntemler (İki Değişkenli İstatistiksel Analizler+Yapay Sinir Ağları yöntemi) beraber kullanılarak da analizler yapılabilir.

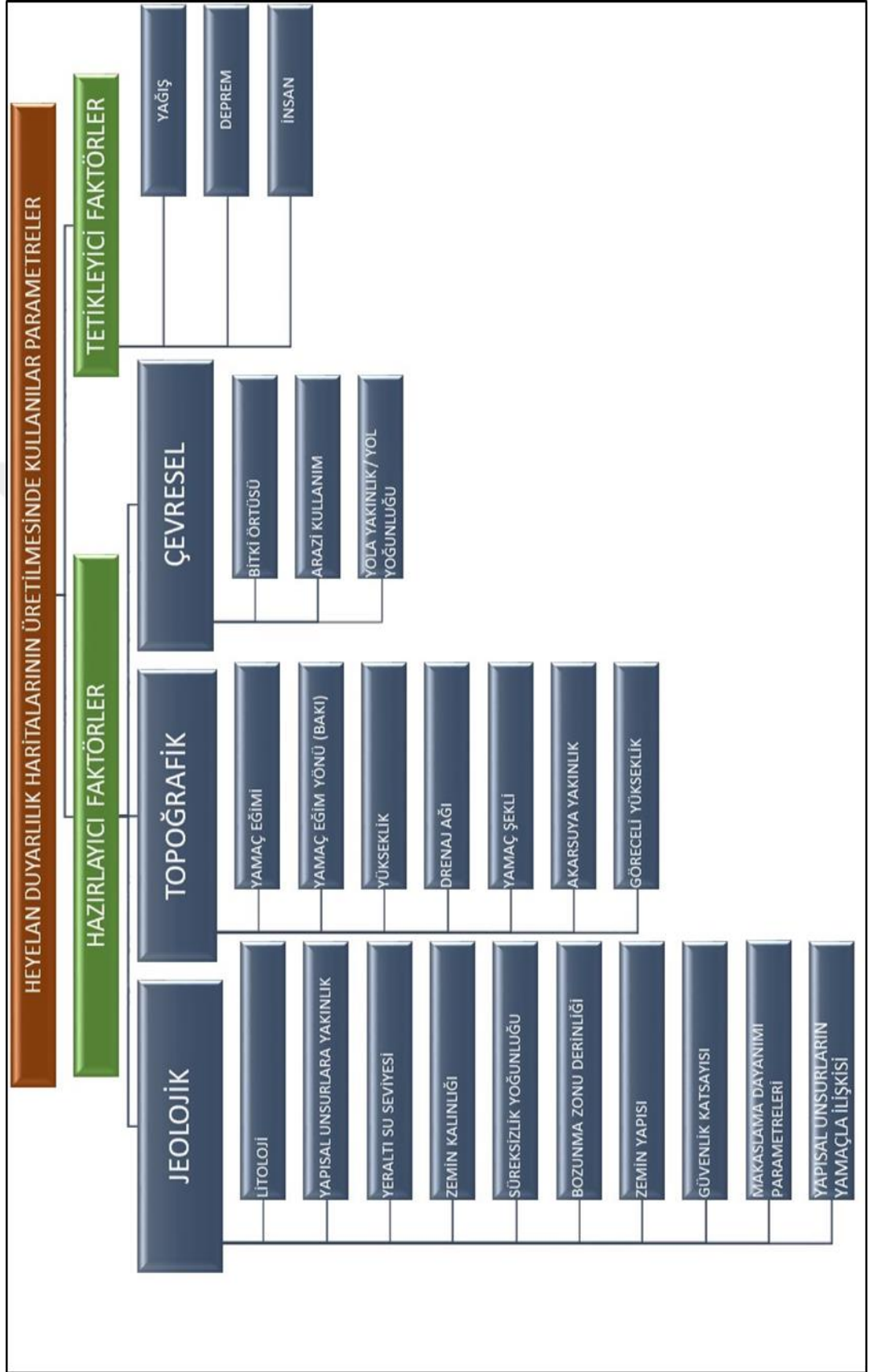
7. HEYELAN DUYARLILIK ANALİZLERİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

Duyarlılık analizi yapılabilmesi için bir veya birkaç yöntem belirlendikten sonra hangi parametrelerin kullanılacağına karar vermek gerekir. Muhakkak ki heyelan oluşumuna neden olabilecek birçok farklı parametre vardır (Şekil 7.1). Genel olarak bu parametreleri, jeolojik (tabaka vb.), jeomorfolojik (eğim vb.) ve çevresel (insan etkisi vb.) parametreler olarak sınıflamak mümkündür (Hasekioğulları, 2016; Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Heyelan duyarlılık, tehlike vb. haritaları oluşturmak isteyen birçok araştırmacı farklı parametreler kullanmıştır (Şekil 7.1). Ancak ortak kullanılan parametreleri;

- Litoloji (jeolojik formasyon),
- Eğim,
- Arazi kullanımı,
- Yamaç yönü (bakı),
- Ana faya uzaklık,
- Göreceli yükseklik,
- Akarsu ağı,

parametreleri olarak saymak mümkündür (Çellek 2013) (Gökçeoğlu ve diğ., 2001). Gölcük Güney köylerinin duyarlılık durumunu araştırılan bu çalışmada da bölgedeki heyelan oluşumuna etki edebilecek parametreler seçilmiştir. Bu çalışmada kullanılan parametreleri; jeoloji, eğim, bakı, yükseklik, yollara uzaklık, akarsu ağına uzaklık, aktif faya uzaklık ve arazi kullanımı olarak sıralayabiliriz. Birçok araştırmacı tarafından ortak kullanılan parametreler ve bölge koşulları dikkate alınarak incelemeye dâhil edilen parametreler kullanılarak heyelan duyarlılık değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 7.1. Heyelana neden olan jeolojik, topoğrafik ve çevresel faktörler (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001)

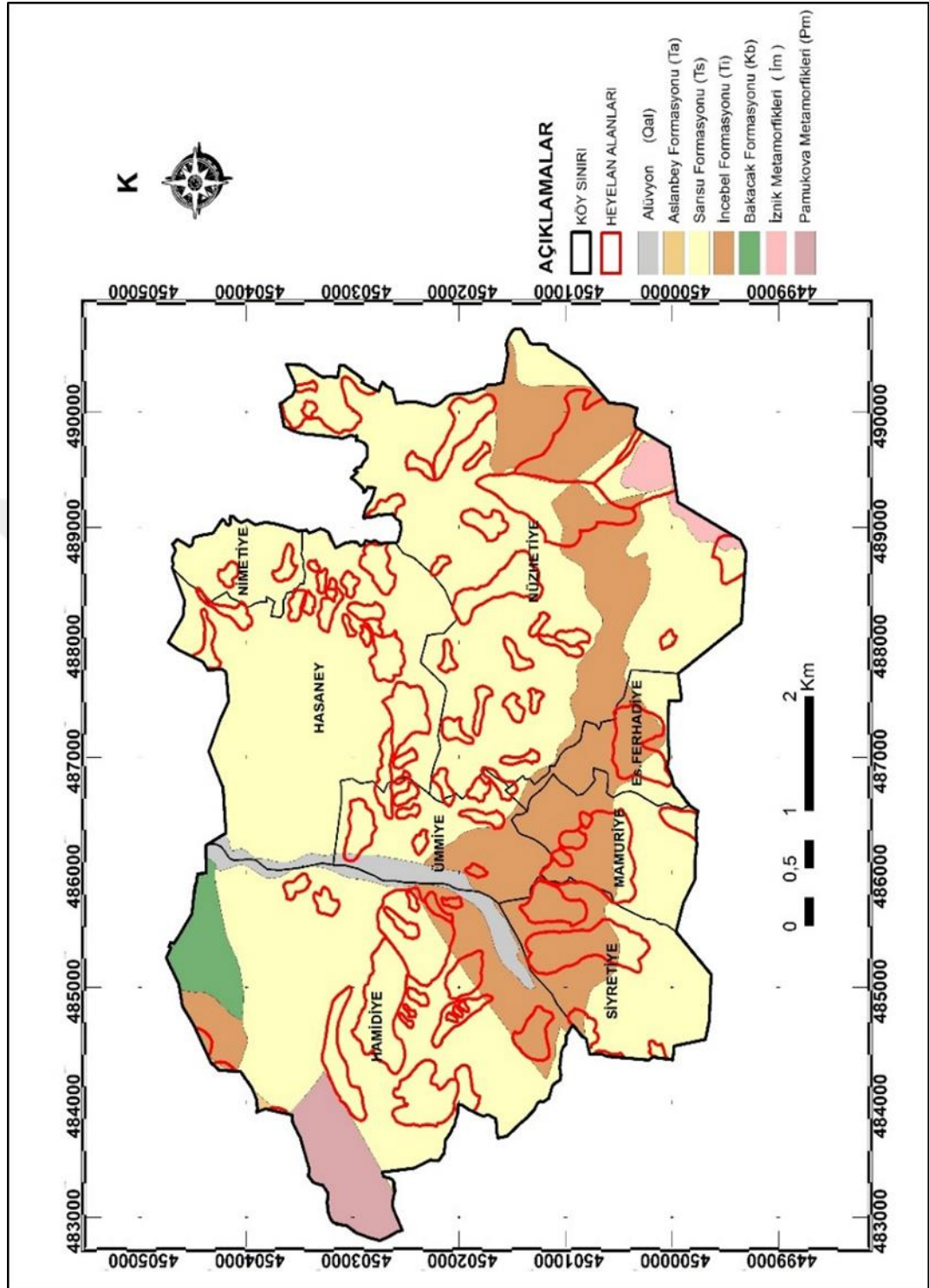
8. İNCELEME ALANI HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİNDE KULLANILAN VERİLERİN ÜRETİMİ

CBS de veri üretimi çalışma aşamasının en zor bölümünü oluşturmaktadır. İnceleme alanının duyarlılık analizinde gerekli olan verilerin nasıl elde edildiği, elde edilen verilerin nasıl kullanıldığı ve ne kadar önemli oldukları haritalar, grafikler ve tablolarla bu bölümde anlatılmıştır.

8.1. Litoloji

Jeolojik formasyonların litolojik özellikleri kütle hareketlerinin oluşumda en önemli faktörlerden bir tanesidir. Litoloji yamaç duyarlılığını etkileyen parametrelerden biri olup malzemenin dayanım, geçirgenlik, sertlik vb. özellikleriyle doğrudan ilişkilidir(Baeza ve Corominas, 2001). Birçok araştırmacı yaptığı CBS çalışmalarında jeolojik formasyonların litolojik özelliklerini analizde kullanmıştır. Hasekioğulları (2016) incelediği çalışmaların %73'ünde litolojik özelliğin kullanıldığını belirtmiştir. İnceleme alanında meydana gelen heyelanlar ayrışmamış volkanitler ve proklastikler üzerinde yoğunlaşmaktadır (Zengince ve Karakaş, 2016)

Jeolojik özellikler ve heyelan arasında ilişkiyi belirlemek için çalışma alanına ait jeolojik formasyon sınırları belirlenmiş ve ArcGIS ortamında sayısallaştırılmıştır (Şekil 8.1). İnceleme alanında İncebel ve Sarısu formasyonları geniş alanlar kaplamakla birlikte beş farklı formasyon bulunmaktadır. Bölgedeki heyelanlarla ilgili daha detaylı bilgi edinebilmek için heyelan envanter haritası ile formasyonlar karşılaştırılarak heyelan-jeoloji arasında ilişki belirlenmiştir. Bu işlemle heyelanlı alanların hangi formasyonda ne kadar alan kapladığı ve yoğunluğu belirlenerek analiz yapmadan önce önemli veriler sağlanmıştır (Tablo 8.1).



Şekil 8.1. İnceleme alanı jeolojik formasyon haritası (Göncüoğlu (1986)'dan değiştirilerek)

İlgili katmanın (jeolojik formasyonlar, eğim sınıfları, bakı sınıflar, yükseklik sınıfları, akarsuya uzaklık sınıfları, yollara uzaklık sınıfları, aktif faya uzaklık sınıfları, arazi kullanım sınıfları) alt sınıflarının heyelan yoğunluk yüzde değerleri hesaplanırken aşağıdaki işlemler yapılmıştır:

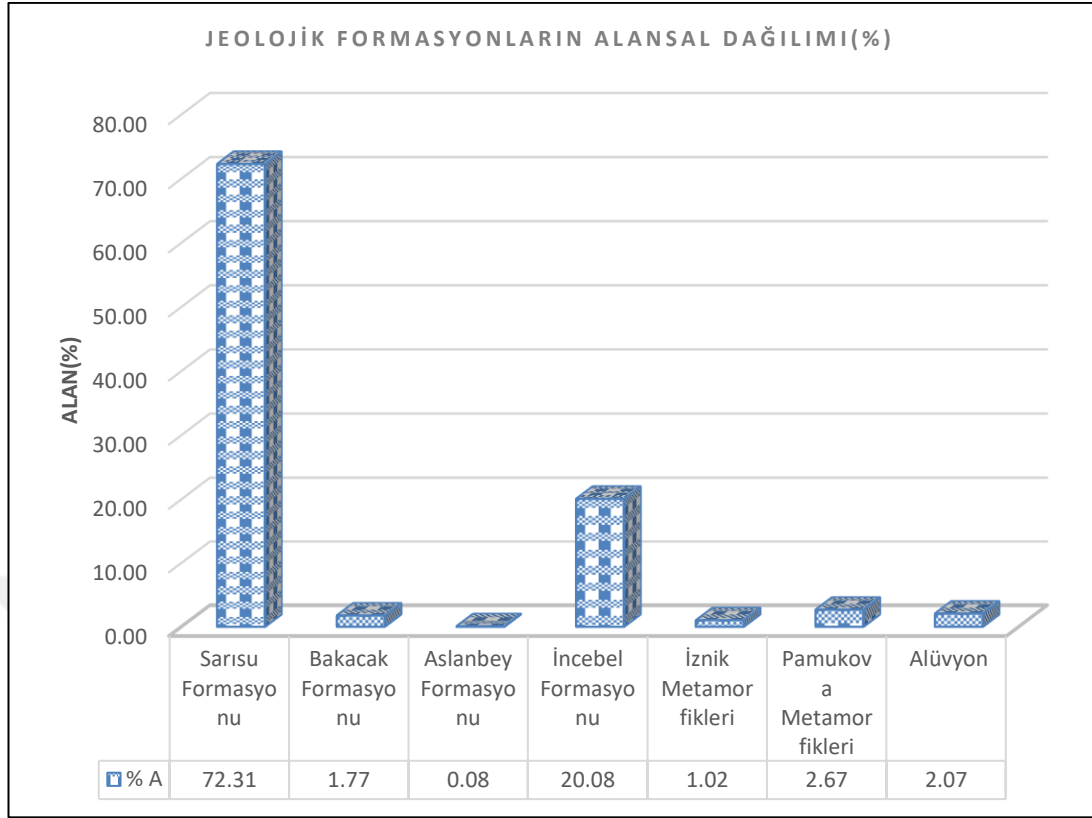
- Parametre alt sınıfı içerisindeki heyelanlı alanlar aynı parametre sınıfındaki toplam alana bölünmüştür.
- Her bir parametre alt sınıfı için heyelanlı alanın, heyelansız alana oranı (B/A) elde edilmiştir.
- Elde edilen bu değerler toplanarak toplam B/A değeri bulunmuştur.
- Son olarak her bir parametre alt sınıfı için hesaplanan B/A değeri, toplam B/A değerine bölünerek 100 ile çarpılmış ve heyelan yoğunluk (%) değerleri elde edilmiştir (Ayalew ve Yamagishi, 2005).

Bu işlemler duyarlılık analizinde kullanılacak bütün kriterler için benzer biçimde yapılmıştır.

Jeolojik birimler üzerindeki heyelanlı alanlar ve heyelan yoğunlukları baz alınarak grafikler hazırlanmıştır. Buna göre inceleme alanında en fazla alana sahip olan Sarısu formasyonu (Ts) üzerinde, heyelanlı alanların en fazla olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8.3). Grafikteki (Şekil 8.4) heyelan yoğunluğuna bakıldığında ise İznik metamorfikleri (İm)'nin en yoğun sınıf olduğu görülmektedir ancak İznik metamorfiklerinin inceleme alanının yaklaşık %1'ini kaplaması, alanı temsil etmediğinden doğru sonuç çıkmamasına neden olmaktadır. Bu, duyarlılık analizinde dikkate alınması gereken bir durumdur ve değerlendirme aşamasında dikkate alınmıştır (Şekil 8.2).

Tablo 8.1. Formasyon alanları ve heyelan arasındaki ilişkiler

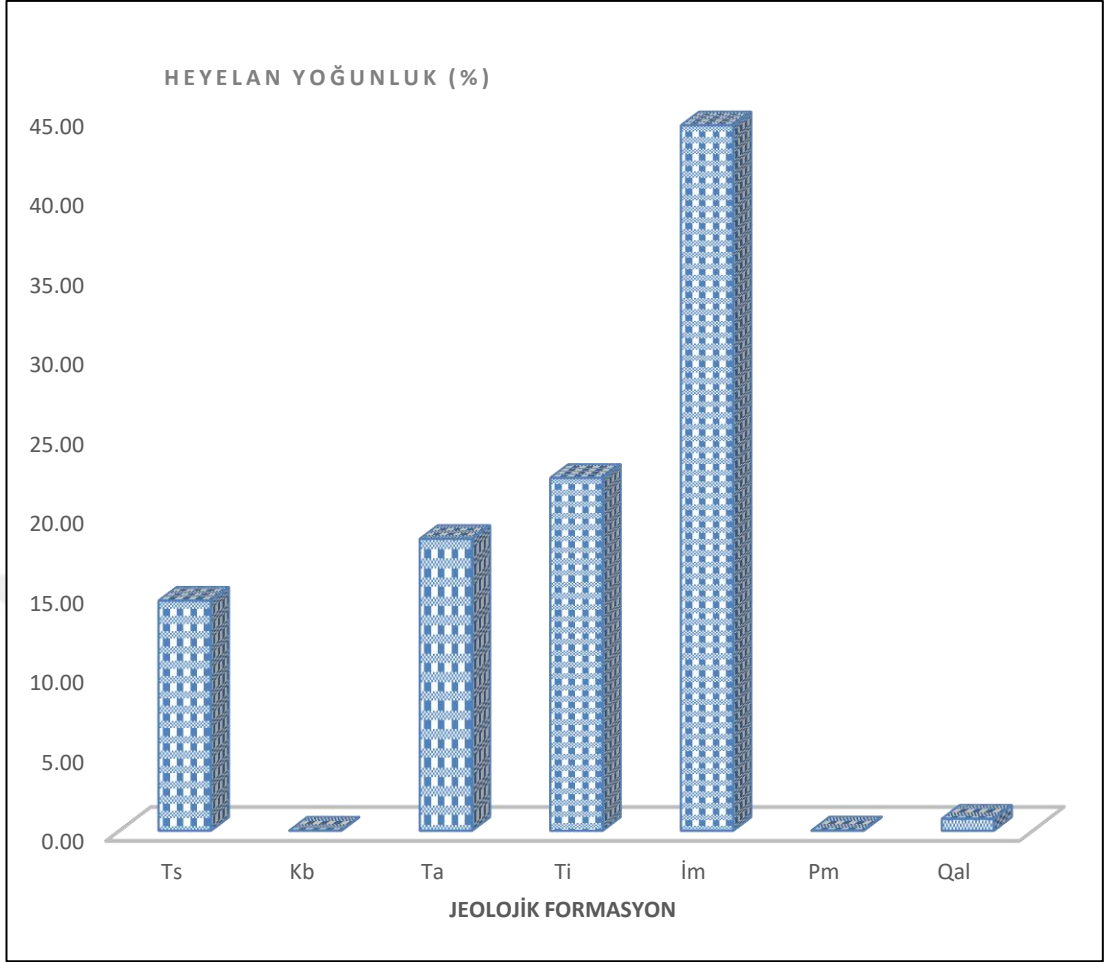
Jeolojik Formasyon	Alan (A) (m ²)	%A	Heyelanlı Alan (B) (m ²)	%B	B/A	Formasyon Heyelan Yoğunluk (%)
Sarısu Formasyonu (Ts)	20.271.147,71	72,31	4.498,050	67,91	0,22	14,43
Bakacak Formasyonu (Kb)	495.675,96	1,77	0	0,00	0,00	0,00
Aslanbey Formasyonu (Ta)	21.959,77	0,08	6,185	0,09	0,28	18,32
İncebel Formasyonu (Ti)	5.629.533,17	20,08	1.917,280	28,95	0,34	22,15
İznik Metamorfikleri (İm)	285.908,33	1,02	194,857	2,94	0,68	44,33
Pamukova Metamorfikleri (Pm)	749.830,77	2,67	161	0,00	0,00	0,01
Alüvyon (Qal)	580.158,53	2,07	6,682	0,10	0,01	0,75
GENEL TOPLAM	28,03 (km ²)	100	6,6 (km ²)	100	1,54	100



Şekil 8.2. İnceleme alanı jeolojik formasyonlarının alansal dağılımı



Şekil 8.3. İnceleme alanının formasyonlara göre heyelanlı alan yüzdeleri



Şekil 8.4. Jeolojik formasyonların heyelan yoğunluk değerleri

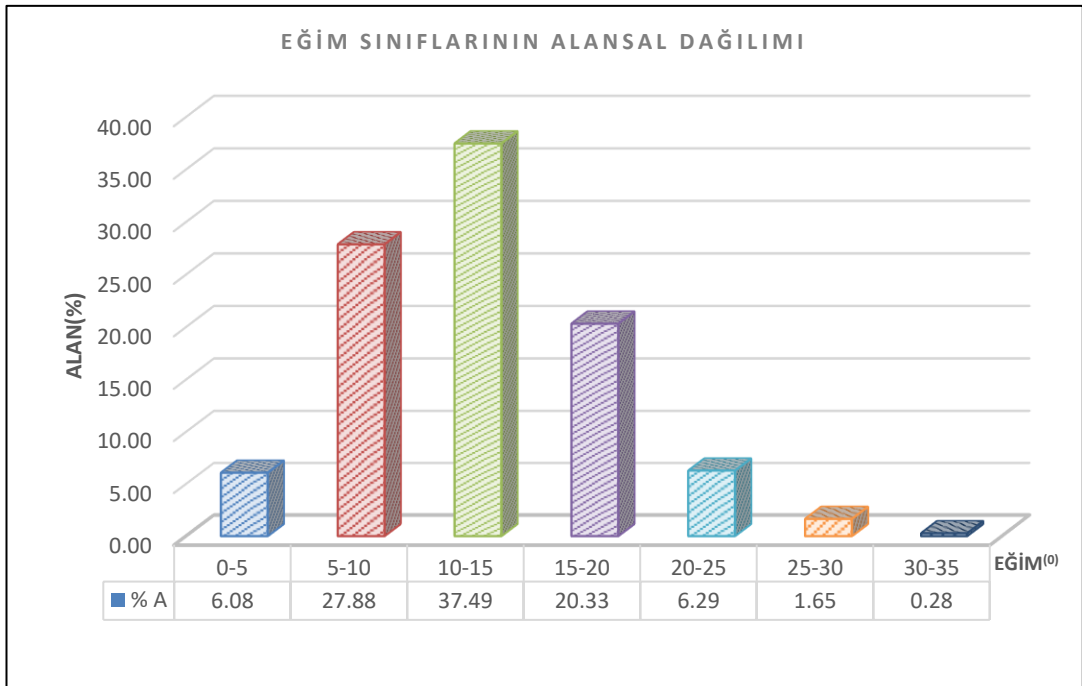
8.2. Yamaç Eğimi

Yamaç eğimi, yamacı oluşturan malzemenin yer çekimine karşı duramamasına sebep olur ve hareket eden bölümün ulaşabileceği mesafeyi belirler. Kayma yüzeyindeki kayma ve normal gerilmeler eğimle ilişkili olduğundan en önemli faktörlerden bir tanesi yamaç eğimidir. Bir çok araştırmacı çalışmalarında yamaç eğiminin önemli bir faktör olduğunu belirtmiş ve çalışmalarında bu parametreyi kullanmışlardır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Guzetti ve diğ., 2000). Genel olarak eğimin artmasının heyelanların oluşumunu artırdığı görüşünü hakim olsa da farklı eğim aralıklarında heyelanların daha fazla olabileceği görüşü de bazı araştırmacılar tarafından vurgulanmıştır (Ayenew ve Barbieri, 2005; Koukis ve Ziourkas, 1991).

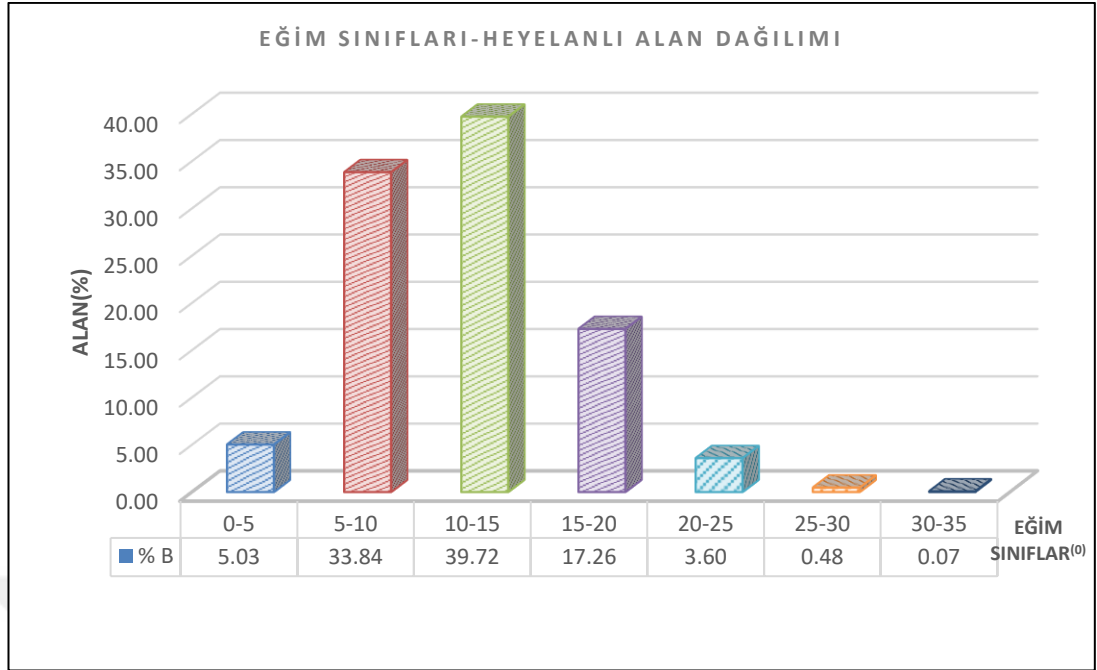
çakıştırılmıştır. Elde edilen veriler tablo haline getirilerek özetlenmiş ve verilerin daha anlaşılır hale gelebilmesi için alansal dağılımlar ve yoğunluk grafikleri hazırlanmıştır (Şekil 8.7 ve Şekil 8.8). Böylelikle heyelan eğim arasındaki ilişki belirlenerek değerlendirilmiştir. Hazırlanan grafik değerlendirildiğinde; 10-15 derece eğim sınıfı %37,49 ile en fazla alanı kaplamaktadır. En yüksek eğim derecesi 35 olan alanda heyelanların yaklaşık %65'nin 5 ila 20 dereceli bölgelerde yoğunlaştığı sonucu ortaya çıkmıştır (Tablo 8.2).

Tablo 8.2. Eğim sınıfları ile heyelan alanları arasındaki ilişkiler

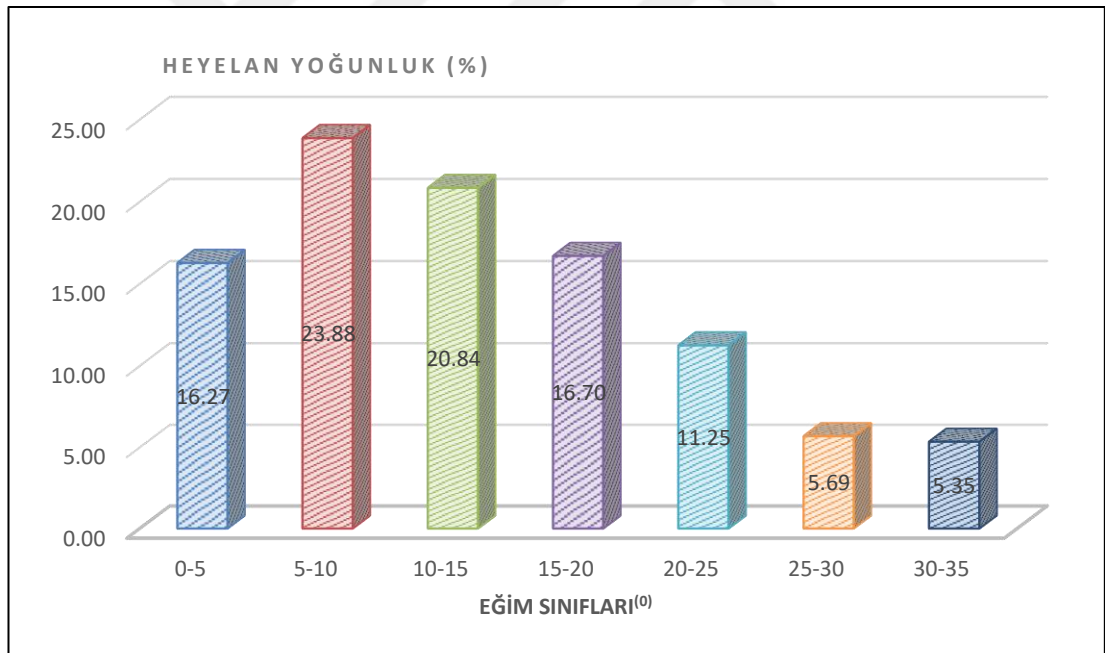
Eğim Sınıfları (%)	Eğim Sınıfları (°)	Alan (A) (m ²)	% A	Heyelanlı Alan (B) (m ²)	%B	B/A	Eğim Sınıfı Heyelan Yoğunluk (%)
0- 8,75	0-5	1.705.142,96	6,08	332.159,73	5,03	0,19	16,27
8,75 – 17,63	5-10	7.813.985,65	27,88	2.233.780,24	33,84	0,29	23,88
17,63 – 26,79	10-15	10.506.195,41	37,49	2.621.673,64	39,72	0,25	20,84
26,79 – 36,4	15-20	5.698.051,42	20,33	1.139.312,44	17,26	0,20	16,70
36,40 – 46,63	20-25	1.761.517,32	6,29	237.312,43	3,60	0,13	11,25
46,63 – 57,73	25-30	462.446,18	1,65	31.526,35	0,48	0,07	5,69
57,73 – 70,02	30-35	77.088,21	0,28	4.938,38	0,07	0,06	5,35
GENEL TOPLAM		28,03 (km ²)	100	6,6 (km ²)	100	1,2	100



Şekil 8.6. İnceleme alanının eğim sınıflarına göre alansal dağılımı



Şekil 8.7. İnceleme alanı eğim sınıflarına göre heyelanlı alan yüzdeleri

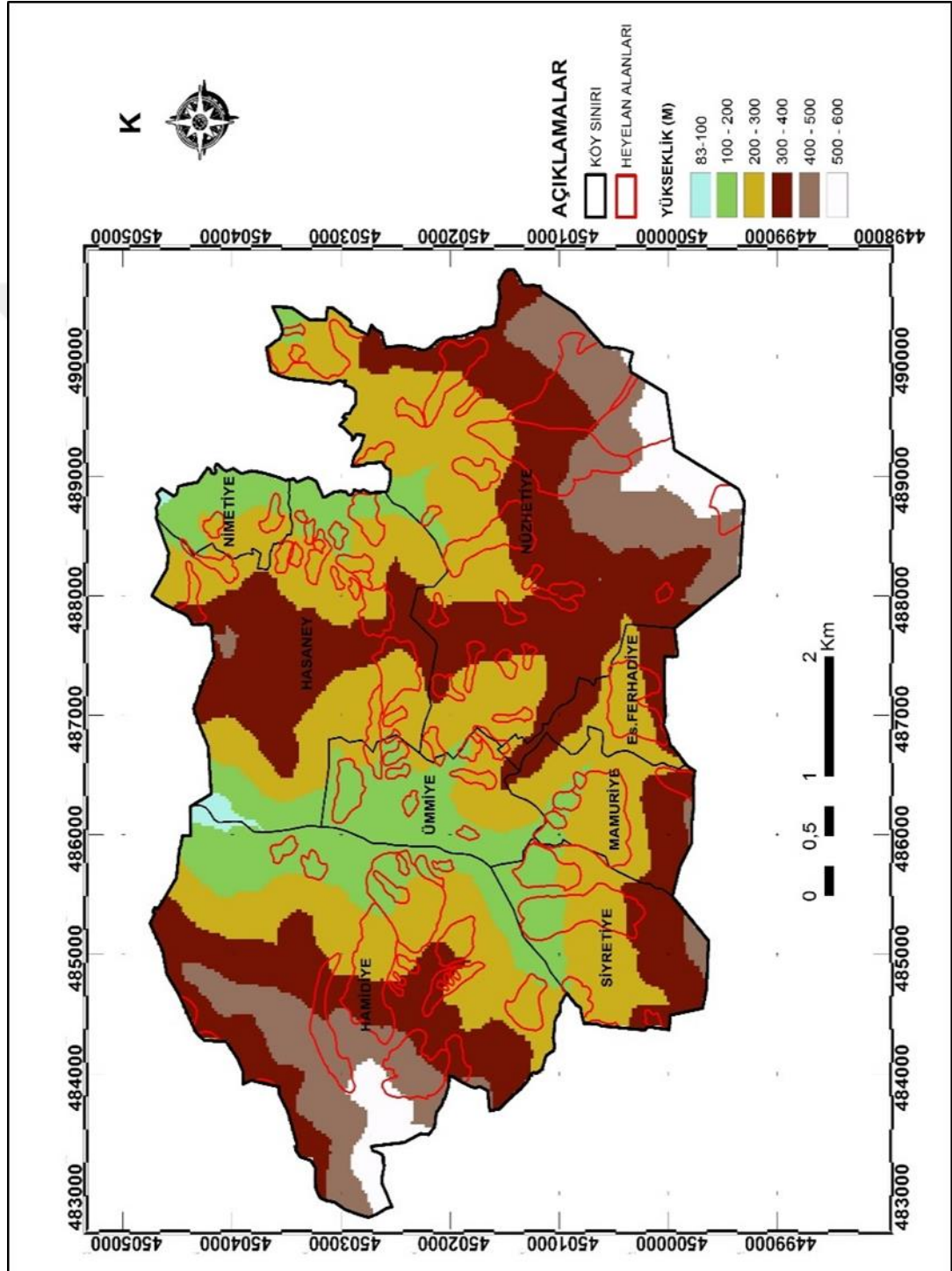


Şekil 8.8. Eğim sınıflarının heyelan yoğunluk değerleri

8.3. Yükseklik

Dağlık bölgelerdeki yüksek kesimlerin daha fazla yağış alması ve vadilere oranla daha dik olan kesimlerde sismik ivmenin yatay bileşeninin 1,2 ile 1,5 kat daha fazla etkilemesi vb. nedenlerden yükseklik hayalen ilişkisi bulunmaktadır (Nagarajan ve diğ., 2000).

Yükseklikle heyelanların ilişkisi literatürde göreceli olarak daha yüksek seviyelerde bulunan alanların heyelanlara karşı daha duyarlı olduğu yönündedir. Ancak yüksekliğin ayrıntılı tanımlanması, yağış ve sismik analizler ile bunların heyelanla ilişkisinin ortaya konulmasını da gerektirir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

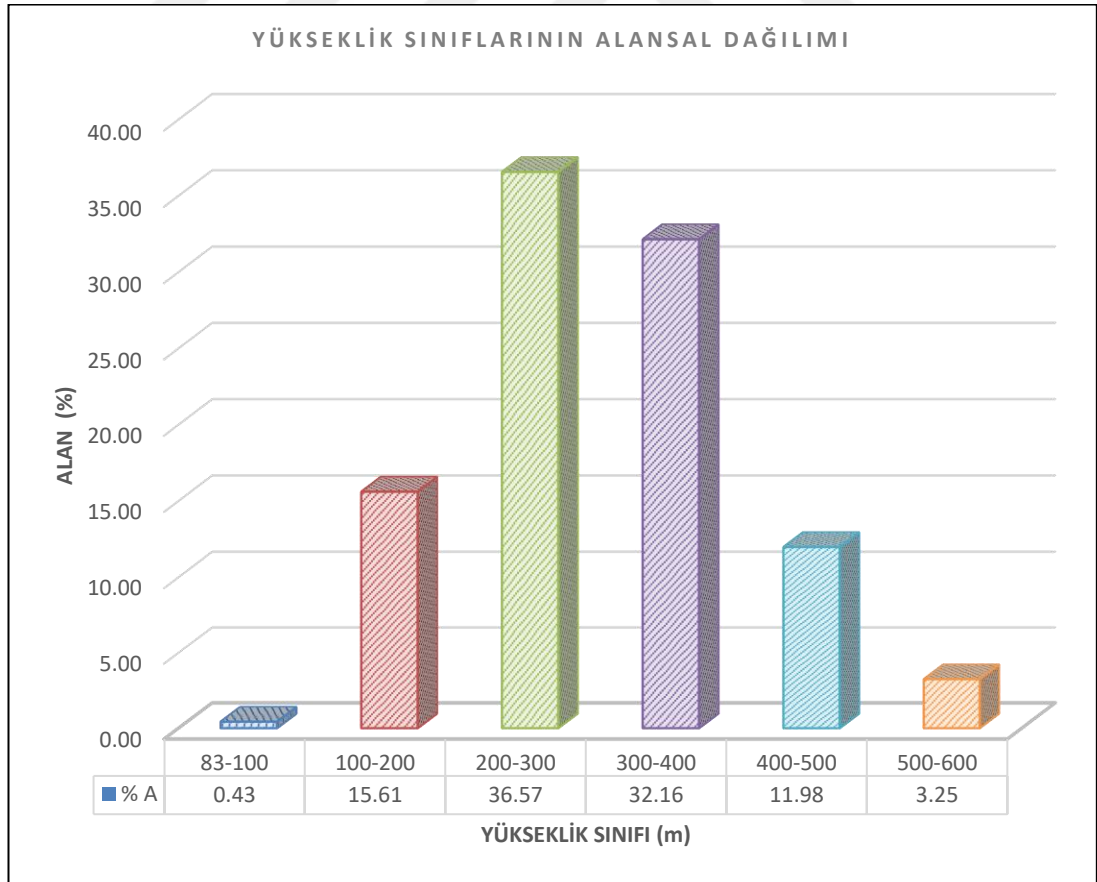


Şekil 8.9. İnceleme alanı yükseklik sınıfları haritası

Çalışma alanının yükseklik sınıflaması 100 metre aralıklarla yapılmıştır ve altı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 8.9). İnceleme sahasının en alçak noktası 83, en yüksek noktası ise 600 metredir (Tablo 8.3).

Tablo 8.3. Yükseklik sınıfları ile heyelanlı alanlar arasındaki ilişkiler

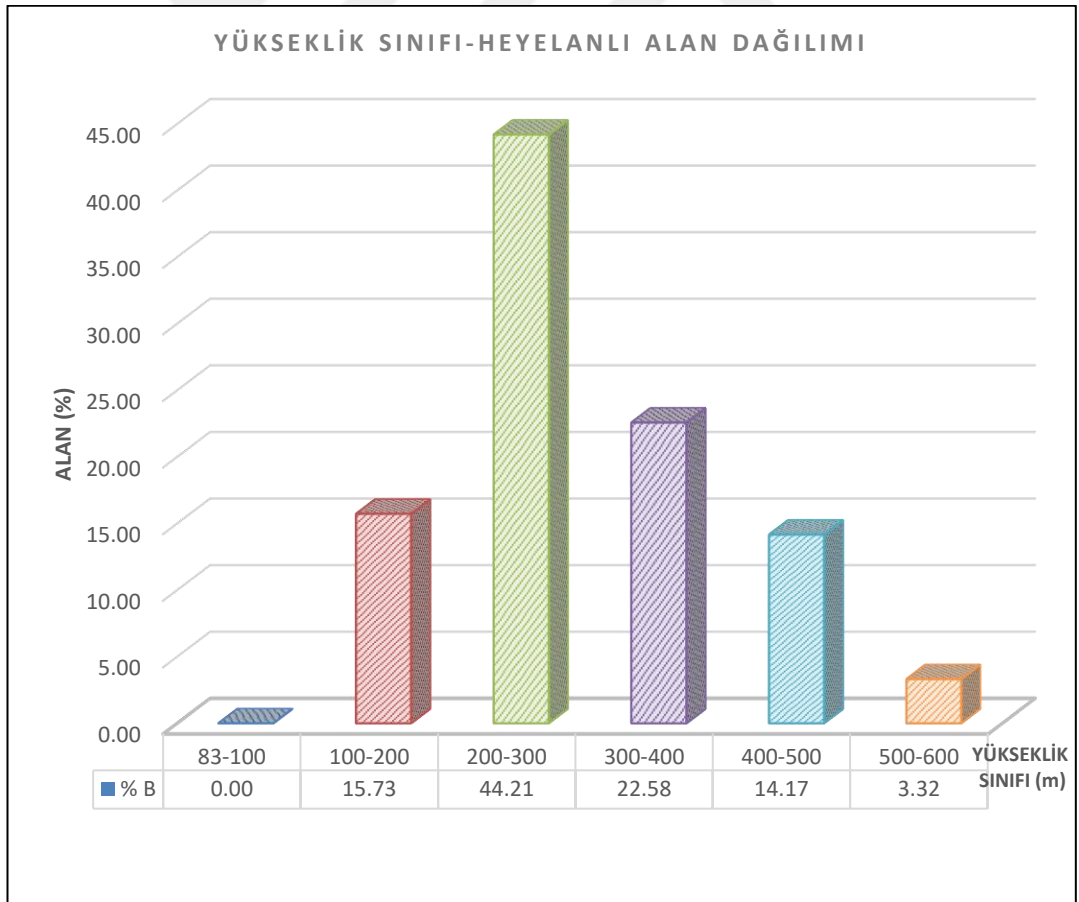
Yükseklik Sınıfları (m)	Alan (A) (m ²)	% A	Heyelanlı Alan (B) (m ²)	% B	B/A	Sınıf Heyelan Yoğunluk (%)
83-100	121,110.83	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00
100-200	4.376.667,71	15,61	1.038.823,45	15,73	0,24	19,67
200-300	10.251.205,54	36,57	2.919.539,20	44,21	0,28	23,61
300-400	9.013.918,95	32,16	1.491.363,00	22,58	0,17	13,71
400-500	3.358.192,13	11,98	935.509,96	14,17	0,28	23,09
500-600	911.362,69	3,25	219.034,74	3,32	0,24	19,92
GENEL TOPLAM	28.03 (km ²)	100	6.6 (km ²)	100	1,21	100



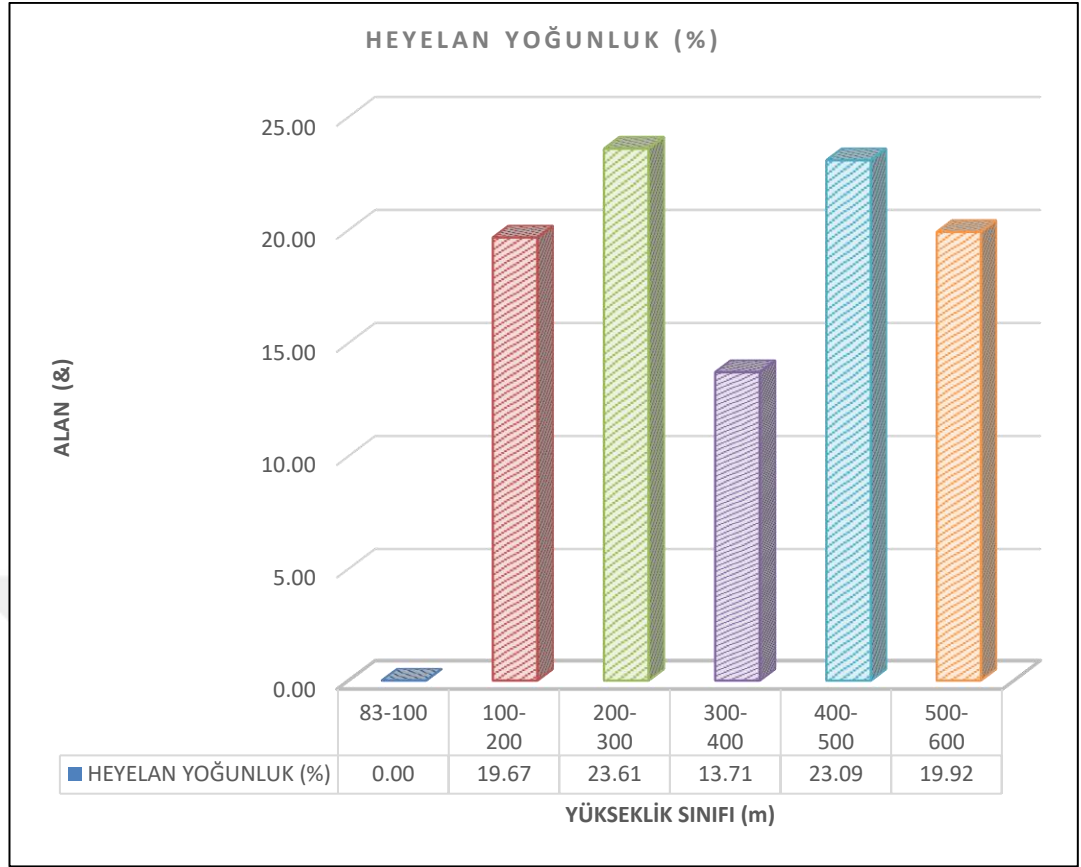
Şekil 8.10. İnceleme alanı yükseklik sınıflarının alansal dağılımı

Eğim ve heyelan arasında ilişkiyi belirlemek için ArcGIS 10.4 programı ile sayısal yükseklik modelinden yükseklik sınıfları haritası üretilmiş ve envanter haritası ile karşılaştırılmıştır (Şekil 8.9). Böylelikle heyelan alanları ile yükseklik sınıfları arasındaki ilişki belirtilmiştir

Tablo 8.3 kullanılarak yükseklik sınıfı alanları, heyelanlı alanlar ve heyelan yoğunluklarını gösteren grafikler hazırlanmıştır. Bu grafikler incelendiğinde alanın yaklaşık %69'unun 200-400 metre yükseklik sınıfında kaldığı anlaşılmaktadır (Şekil 8.10). Alan sınırı 83 m yükseklikte başladığı ve 600 metre de sonlandığı için bu yükseklik sınıflarını (0-100, 500-600) kapladığı alanlar toplam alanın sadece %3,7'sidir. Heyelanlı alanlar grafiğine bakıldığında ise %44,2 ile 200-300 m yükseklik sınıfı en fazladır (Şekil 8.11). Yüksekliğe göre heyelan yoğunluk yüzdeleri değerlendirildiğinde yine 200-300 metre sınıf aralığının en yüksek yoğunlukta olduğu görülmektedir (Şekil 8.12).



Şekil 8.11. İnceleme alanı yükseklik sınıflarına göre heyelanlı alan yüzdeleri



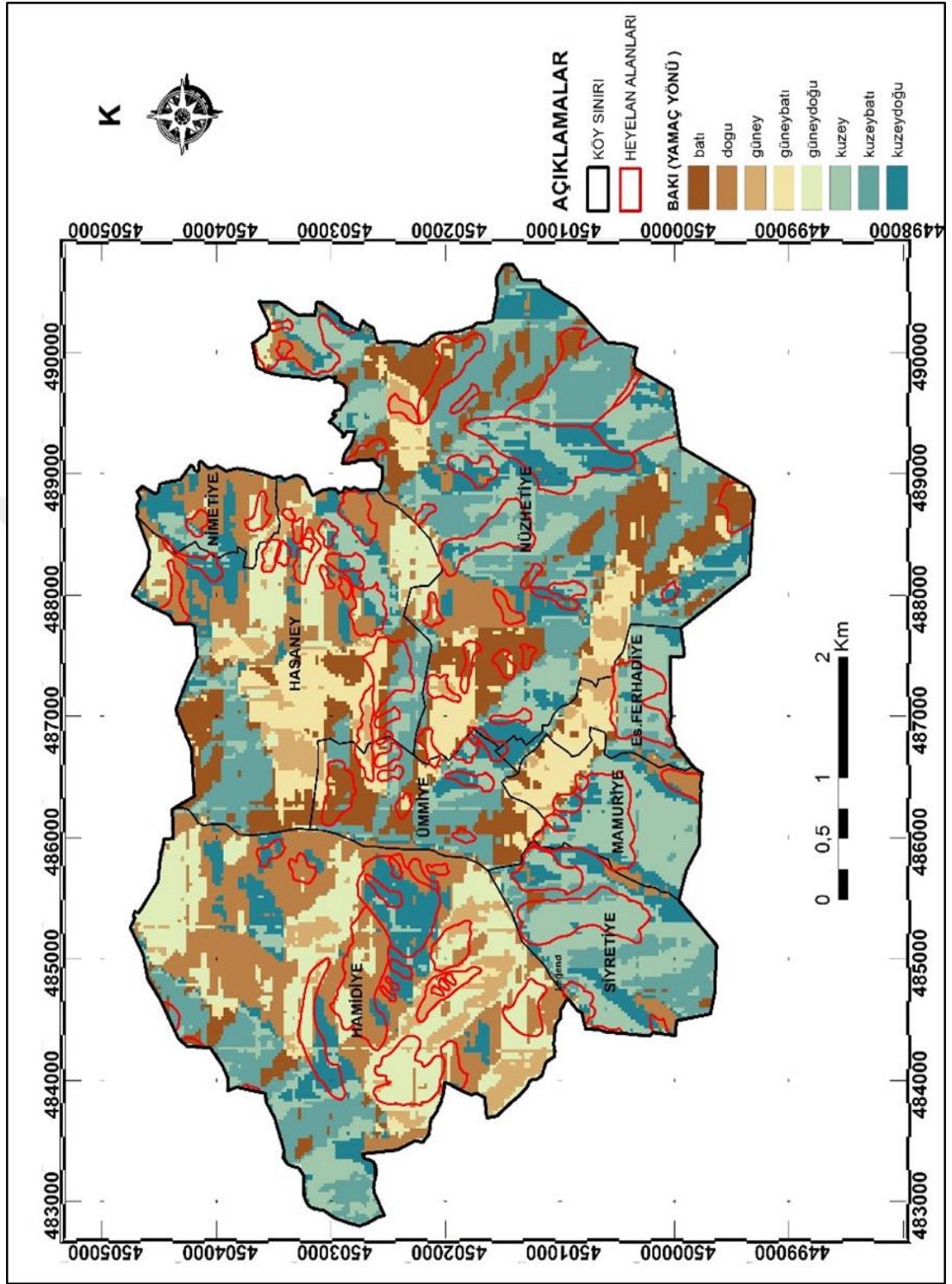
Şekil 8.12. Yükseklik sınıflarının heyelan yoğunluk değerleri

8.4. Bakı (Yamaç Yönü)

Yamaç eğim yönü (bakı), arazi yüzeyinin yönünü gösterir ve yüzeyin herhangi bir noktasındaki teğet düzleminin baktığı yön ile ifade edilir (Dağ, 2007).

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında etkili bir faktör olarak, birçok araştırmacı tarafından etkisi değerlendirilen bakı; Dai ve diğ. (2001)'e göre güneşlenme süresi, yağış vs. gibi etkenlere bağlı olarak heyelanların oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Yapılan bazı çalışmalarda genel olarak nemliliğin daha yüksek olduğu kuzey ve kuzeybatı yönlerinde duyarlılığın fazla olduğu ortaya çıkmaktadır (Yalçın 2008). İnceleme alanında kuzey yönlerde kar örtüsünün daha fazla süre kalması yamaç yönü etkisinin hesaplamalara katılmasını önemli hale getirmiştir (Şekil 8.14).

İnceleme alanının bakı sınıflaması bütün yönlerde yapılmış ve 9 sınıfa ayrılmıştır (Şekil 8.13). İnceleme alanında düz sahalar az miktarda bulunmaktadır.



Şekil 8.13. İnceleme alanı bakı (yamaç yönü) haritası

Bakı ve heyelan arasında ilişkiyi belirlemek için ArcGIS 10.4 programı ile sayısal yükseklik modelinden bakı sınıfları haritası üretilmiş (Şekil 8.13) ve heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmıştır. Çalışma alanındaki bakı sınıflarının ve heyelanların toplam

alan içerisindeki dağılımları (%) ve heyelan yoğunlukları (%) hesaplanarak tablo ve grafikler hazırlanmış, heyelan-bakı arasındaki ilişkiler belirtilmiştir (Tablo 8.4).

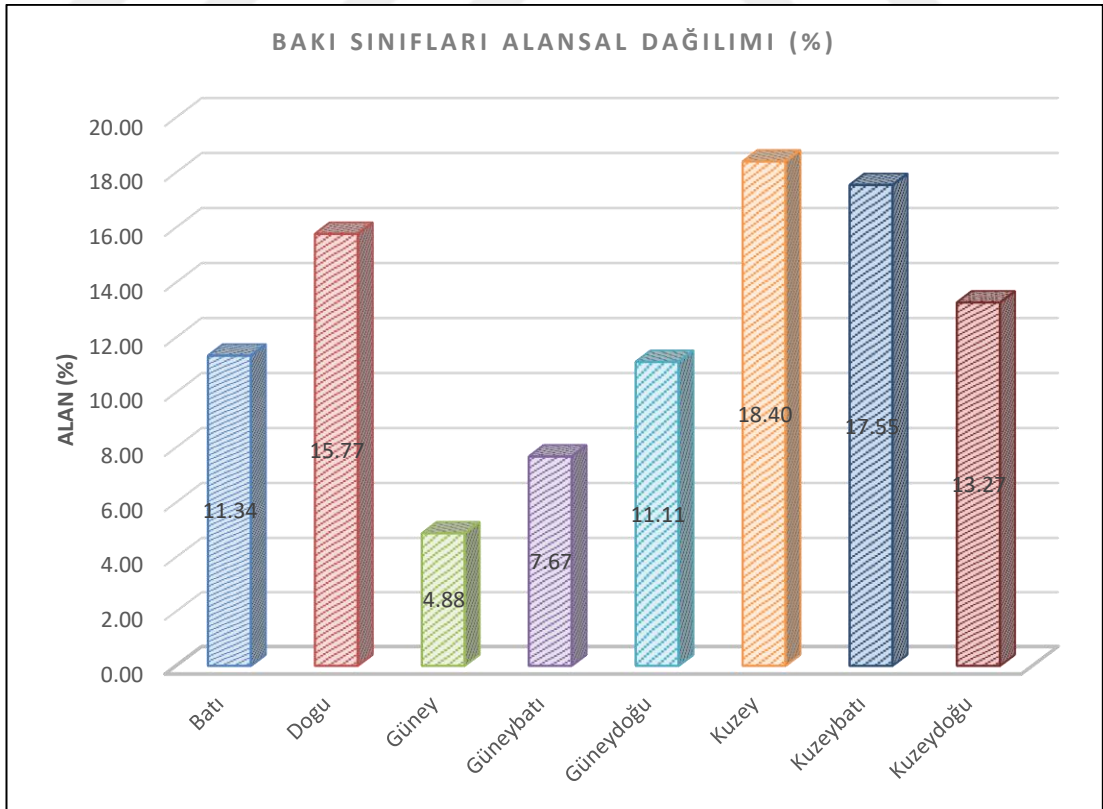
Tablo 8.4. Bakı sınıfları ile heyelan arasındaki ilişkiler

Bakı	Alan (A) (m ²)	% A	Heyelanlı Alan (B) (m ²)	% B	B/A	Sınıf Heyelan Yoğunluk (%)
Batı	3.177.266,41	11,34	209.979,89	3,18	0,07	3,37
Doğu	4.418.090,92	15,77	691.885,02	10,48	0,16	7,98
Güney	1.366.628,72	4,88	297.429,80	4,51	0,22	11,09
Güneybatı	2.149.394,80	7,67	1.002.427,81	15,19	0,47	23,76
Güneydoğu	3.113.885,40	11,11	507.179,10	7,68	0,16	8,30
Kuzey	5.155.716,26	18,40	1.308.092,96	19,82	0,25	12,93
Kuzeybatı	4.916.203,58	17,55	840.456,11	12,73	0,17	8,71
Kuzeydoğu	3.719.027,21	13,27	1.742.749,83	26,40	0,47	23,87
GENEL TOPLAM	28,03 (km ²)	100	6,6 (km ²)	100	1,96	100

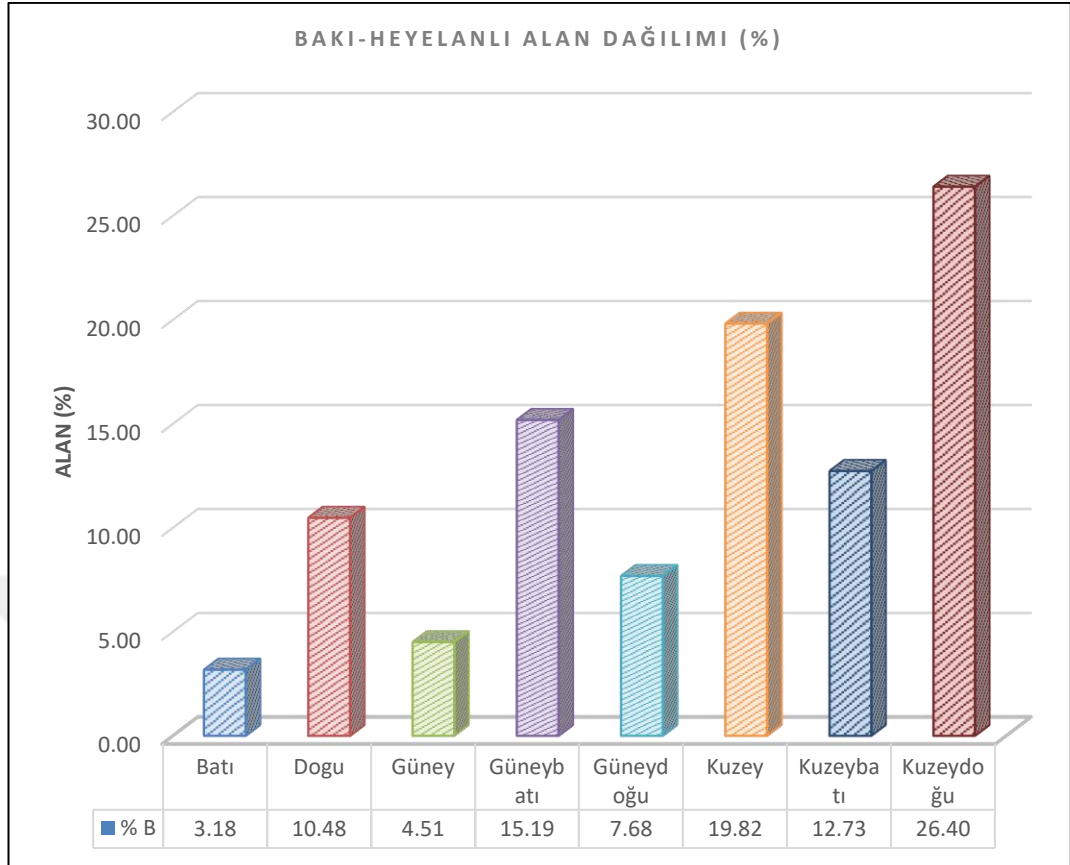
Grafikler incelendiğinde kuzey (%18,40), kuzeybatı (%17,55) ve doğu (%15,77) yönlerine bakan yamaçların daha fazla alan kapladığı görülmektedir (Şekil 8.15). Bakı sınıfları içerisinde en fazla heyelanlı alana sahip yön kuzeydoğu (%26,4) yönüdür (Şekil 8.16). Heyelan yoğunluklarına bakıldığında ise kuzeydoğu yönüne bakan bölgeler %23,8 güneybatı yönüne bakanlar ise %23,7 ile en fazla yoğunluğa sahiptir (Şekil 8.17). Bu yüzdeler çok fazla güneşe maruz kalan yönlerin ayrışmasının kolay olacağı ve yeterince güneş alarak kuruluk sağlayamayan bölgelerin ayrışma zonlarının kalın olacağı gerçeğinin açıklaması olabilir. Belirgin şekilde yoğun olan bu alanlar duyarlılık haritası hazırlama aşamasında dikkate alınmıştır.



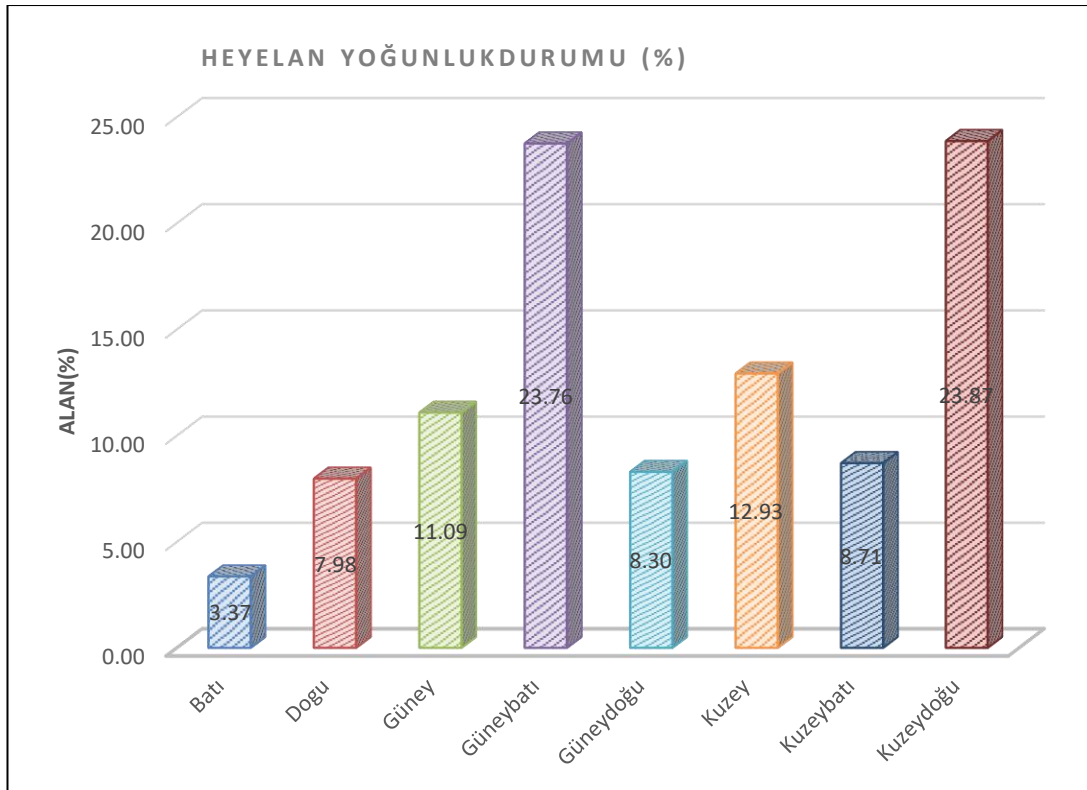
Şekil 8.14. Yamaçların kuzey yönlerinde kalan kar birikintilerinin 10.02.2016 tarihinde çekilen Google Earth uydu görüntüsü



Şekil 8.15. İnceleme alanı bakı sınıflarının alansal dağılımı



Şekil 8.16. İnceleme alanı bakı sınıflarının heyelanlı alan yüzdeleri



Şekil 8.17. Bakı sınıflarının heyelan yoğunluk değerleri

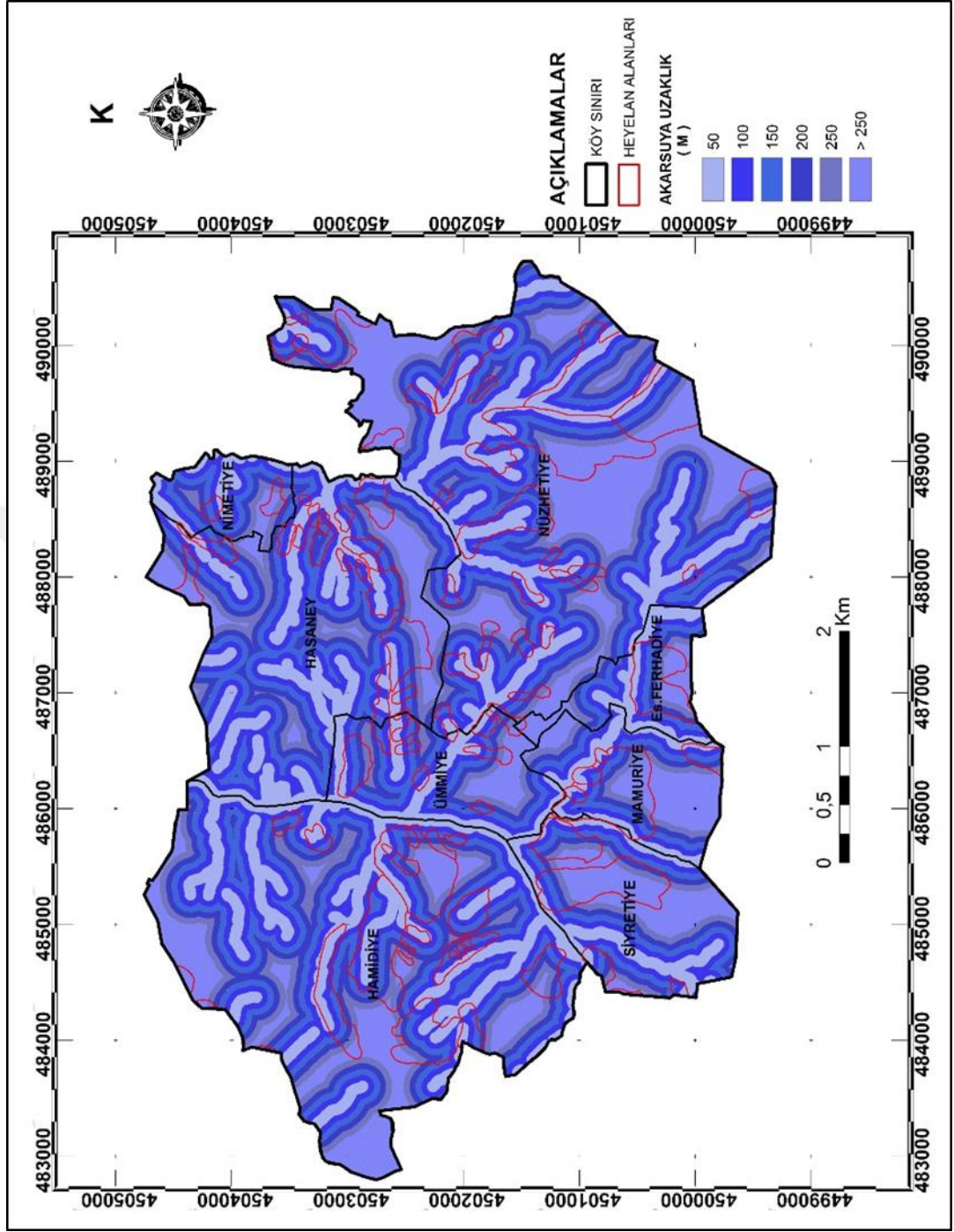
8.5. Akarsuya Uzaklık

Akarsuların yamaç topuğunu erozyona uğratması, yamacı oluşturan malzemenin su seviyesi altındaki kısmını doymun hale getirmesi ve bölgedeki nemliliği etkilemesi bakımından heyelan oluşumuna etki etmektedir (Pachauri ve diğ., 1998; Yalçın, 2008). İnceleme alanı içerisinde derin yataklı birçok akarsu bulunması bu parametrenin heyelan duyarlılık analizinde dikkate alınmasını gerekli kılmıştır (Şekil 8.18).



Şekil 8.18. Bölgedeki ana akarsu olan Hisar dere ve derin vadi yatakları

İnceleme alanının akarsuya uzaklık sınıflaması yatağından itibaren 50'şer metre aralılarla yapılmıştır ve altı sınıfa ayrılmıştır. Akarsuya 250 m uzaklıktan fazla olan bölgelerin heyelana olan etkisinin az olacağı düşünüldüğünden aynı katman olarak haritalanmıştır (Şekil 8.19).



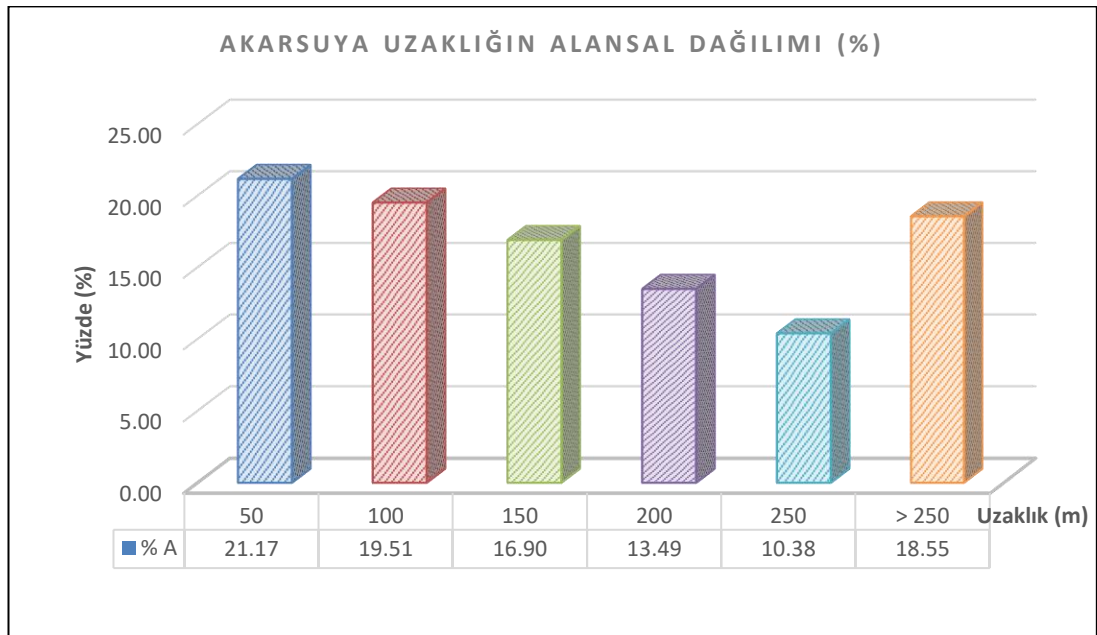
Şekil 8.19. İnceleme alanının akarsuya uzaklık sınıfları haritası

Akarsuya uzaklık ve heyelan arasında ilişkiyi belirlemek için 1/5000’lik hâlihazır haritadan akarsu katmanı ArcGIS formatına dönüştürülmüş ve akarsuya uzaklık haritası üretilmiştir. Üretilen harita heyelan envanter haritası ile karşılaştırılarak akarsuya uzaklık sınıfları üzerindeki heyelanlı alanlar belirlenmiştir (Tablo 8.5). Elde edilen öz nitelik verileri kullanılarak, heyelan yoğunlukları vb. bilgileri içeren tablo ve grafikler hazırlanıp heyelan-akarsuya uzaklık arasındaki ilişki belirlenmiştir.

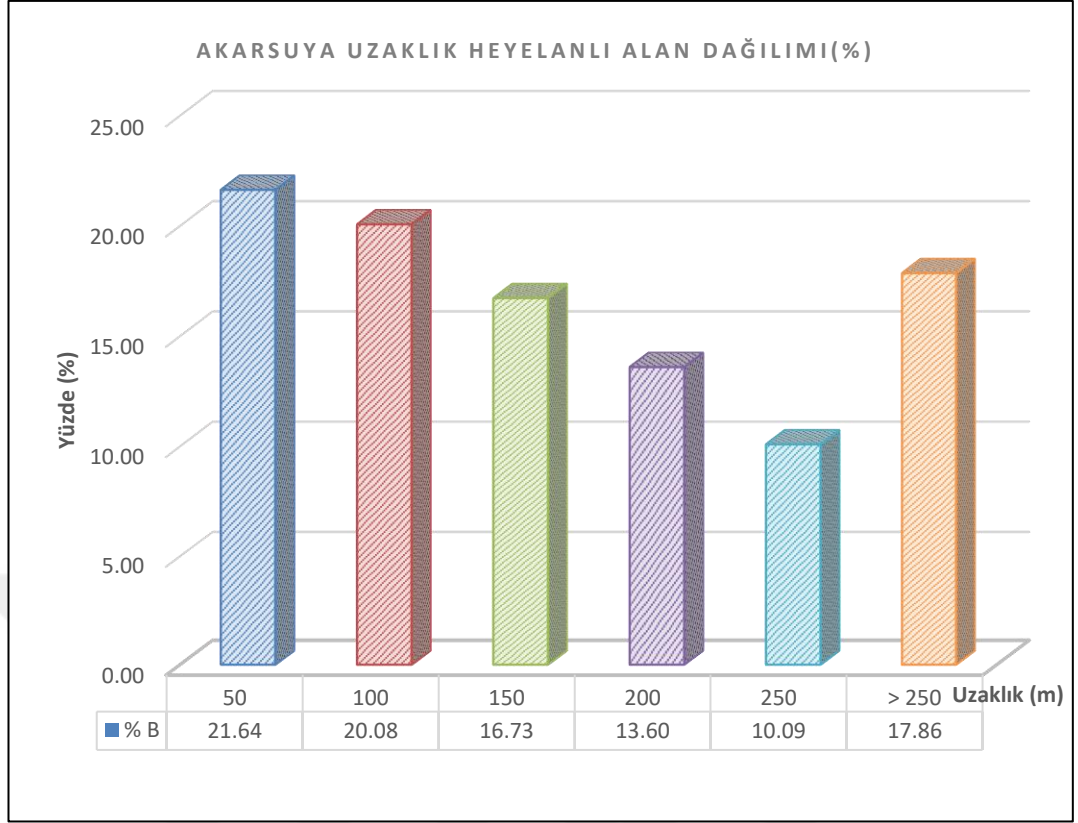
Tablo 8.5. Akarsuya uzaklık sınıfları ile heyelan arasındaki ilişkiler

Akarsuya Uzaklık Sınıfları (m)	Alan (A) (m ²)	% A	Heyelanlı Alan (B) (m ²)	% B	B/A	Sınıf Heyelan Yoğunluk (%)
50	5.933.828	21,17	1.433.254	21,64	0,24	17,08
100	5.470.188	19,51	1.329.648	20,08	0,24	17,19
150	4.738.104	16,90	1.107.911	16,73	0,23	16,54
200	3.781.189	13,49	900.769	13,60	0,24	16,85
250	2.910.698	10,38	668.598	10,09	0,23	16,25
> 250	5.200.208	18,55	1.183.034	17,86	0,23	16,09
GENEL TOPLAM	28,03 (km ²)	100	6,6 (km ²)	100	1,41	100

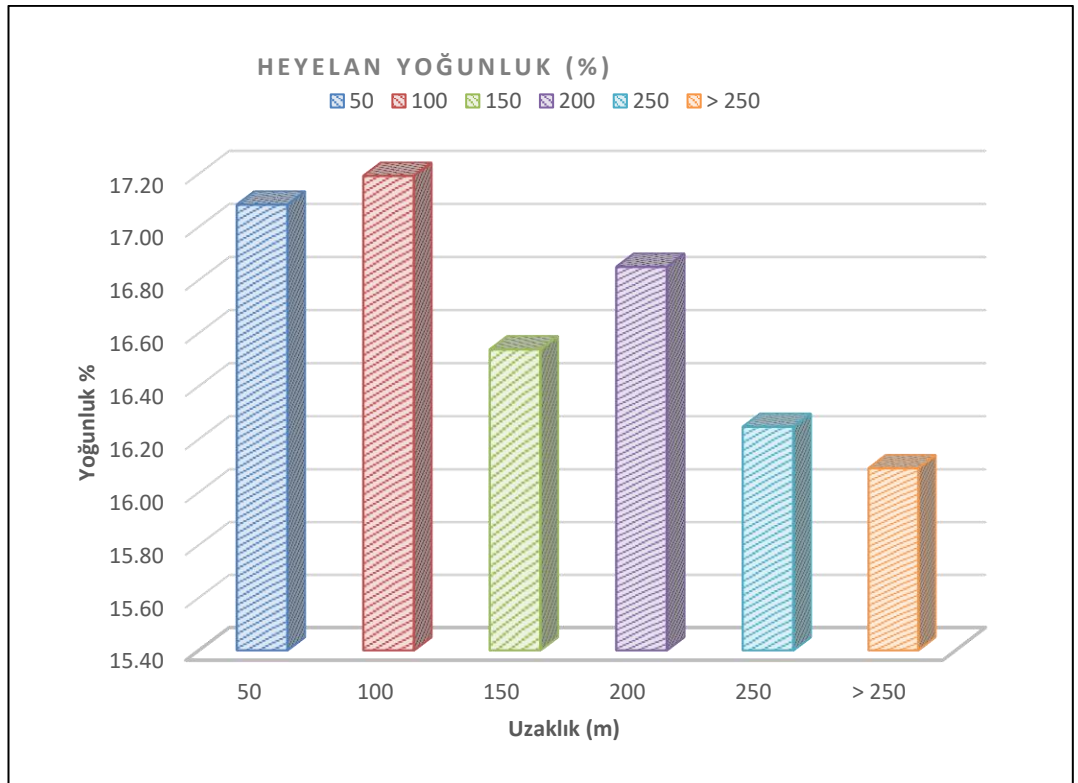
Tablo 8.5 kullanılarak üretilen grafikler incelendiğinde akarsuya 0-50 m mesafedeki alanların, toplam alanın %41'ini kapladığı anlaşılmaktadır (Şekil 8.20). Yoğun drenaj ağı bulunan inceleme alanının heyelanlı alanları incelendiğinde ise uzaklık arttıkça heyelanlı alanların azaldığı görülmektedir (Şekil 8.21). 0-100 m uzaklıktaki heyelanlı alanlar toplam heyelanlı alanların yaklaşık %70'ini oluşturduğu görülmektedir (Şekil 8.21). Heyelan yoğunluk durumu değerlendirildiğinde ise 150 m den sonra yoğunluk değerleri azalma eğilimindedir (Şekil 8.22).



Şekil 8.20. İnceleme alanının akarsuya uzaklık sınıflarının alansal dağılımı



Şekil 8.2131. İnceleme alanının akarsuya uzaklık sınıflarına göre heyelanlı alan yüzdeleri



Şekil 8.22. Akarsuya uzaklık sınıflarının heyelan yoğunluk değerleri

8.6. Yollara Uzaklık

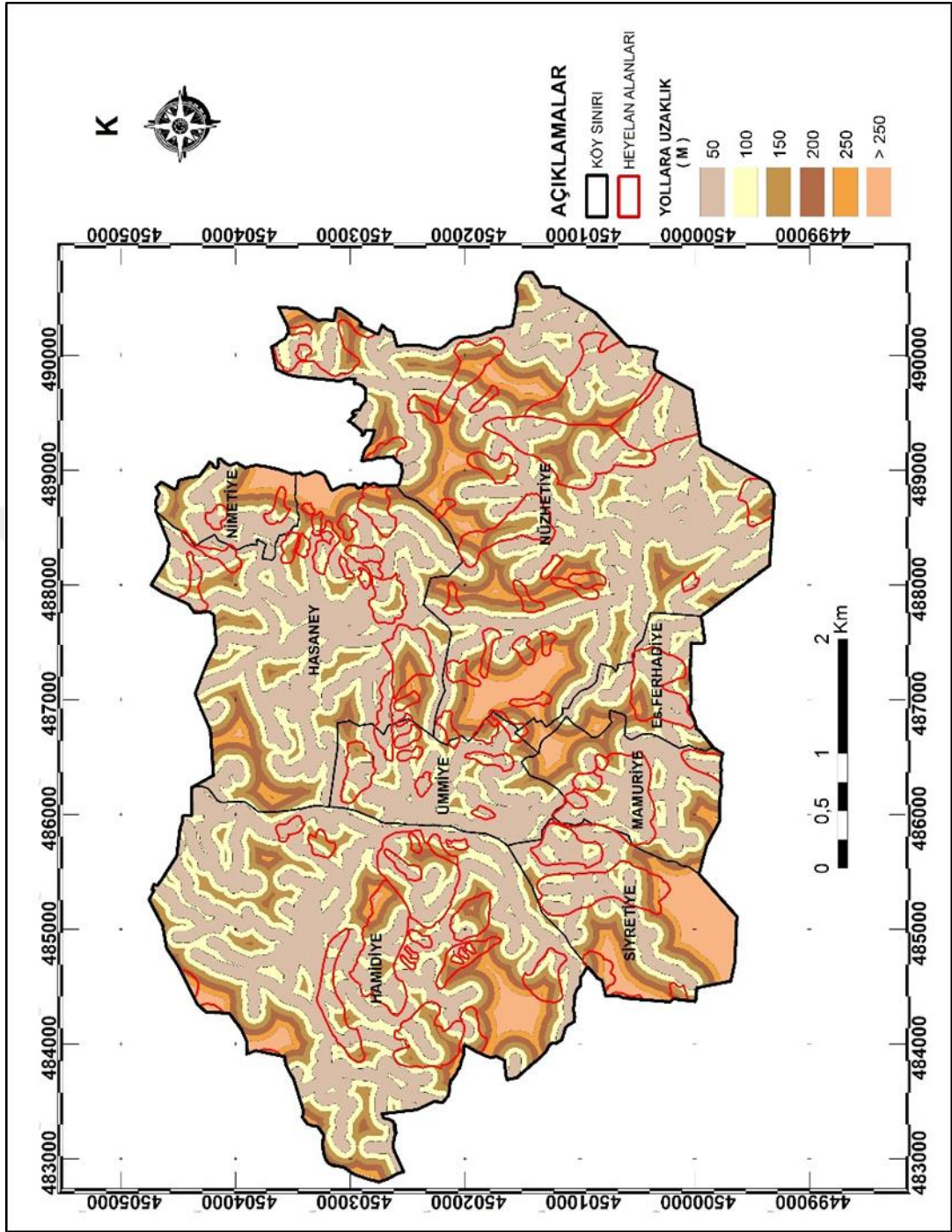
Akarsuya uzaklık parametresinde olduğu gibi yollara uzaklık da heyelan oluşumuna olumsuz etki oluşturmaktadır.

Yamaç kenarlarındaki yolların; hem topoğrafyadaki, hem de yamaç topuğundaki yükleri azalması ve yolun engel, çukur, ya da su akışı için bir geçiş koridoru olarak davranabilmesi heyelan oluşum için olanak sağlamaktadır (Yalçın ve Bulut, 2007; Nefeslioğlu ve diğ., 2008; Ayalew ve Yamagishi, 2005).

Yapılan arazi çalışmaları sırasında; yol kenarlarında oluşan heyelanların olması ve çalışma alanında yol çalışmalarının fazla olması; heyelan duyarlılık analizinde yollara uzaklık değerlendirmesi yapılmasını gerekli hale getirmiştir (Şekil 8.25).

Çalışma alanının yollara uzaklık sınıflaması 50'şer metre aralılarla yapılmıştır ve altı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 8.23). Yollara 250 m ve sonraki bölgelerin heyelana olan etkisinin az olacağı düşünüldüğünden aynı katmanda haritalanmıştır.

Yollara uzaklık ve heyelan arasında ilişkiyi belirlemek için 1/5000'lik hâlihazır haritadan yol katmanı ayırtılarak ArcGIS formatına dönüştürülmüştür. ArcGIS bölgeleme modülü kullanılarak yollara uzaklık haritası üretilmiştir. Üretilen bu harita envanter haritası ile karşılaştırılarak yollara uzaklık sınıfları üzerindeki heyelanlı alanlar belirlenmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak, heyelanlı alanlar, heyelan yoğunlukları vb. bilgileri içeren tablo ve grafikler hazırlanmış ve heyelan–yollara uzaklık arasındaki ilişki belirlenmiştir.



Şekil 8.23. İnceleme alanının yollara uzaklık sınıfları haritası

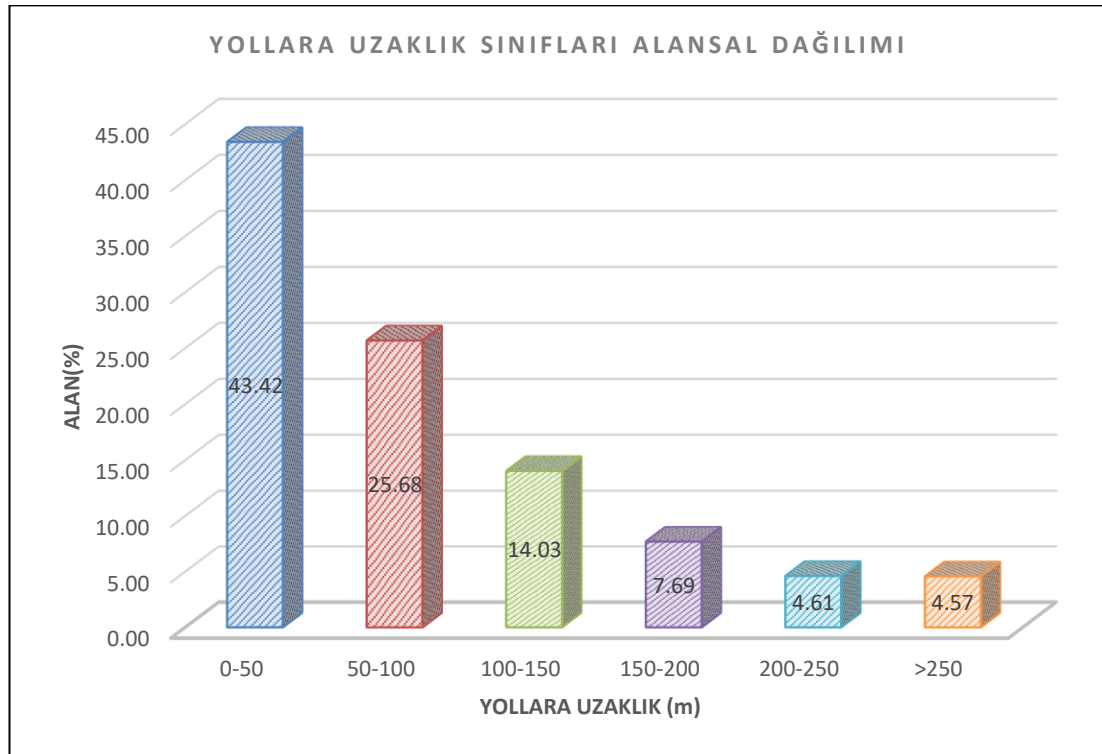
Hazırlanan tablo verileri yardımı ile grafikler hazırlanmış ve heyelan yollara uzaklık ilişkisi detaylandırılmıştır (Tablo 8.6). İnceleme alanın %43,42'si, 0-50 m uzaklık sınıfı içerisinde kalmaktadır (Şekil 8.24). Bu sınıflama içerisinde yollardan uzaklaştıkça heyelanlı alanların azaldığı görülmektedir. 0-50 m aralığında heyelanlı alan %40,64, 50-100 m aralığında heyelanlı alan %28,73, 100-150 m aralığında

%16,52, 150-200 m aralığındaki heyelanlı alanlar %14,03 olarak bulunmuştur (Şekil 8.26).

Heyelan yoğunluk grafiğinde ise 150 m den sonra azalma eğilimi olduğu görülmektedir (Şekil 8.27).

Tablo 8.6. Yollara uzaklık sınıfları ile heyelan arasındaki ilişkiler

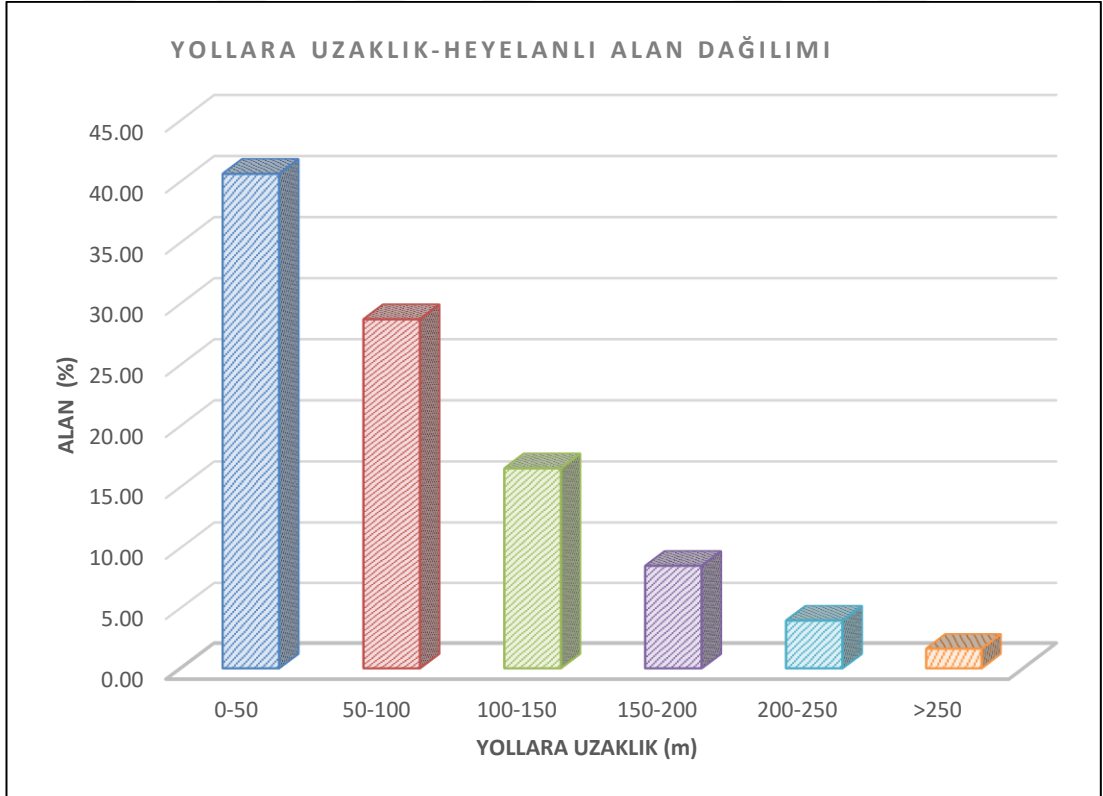
Yollara Uzaklık Sınıfları (m)	Alan (A) (m ²)	% A	Heyelanlı Alan (B) (m ²)	% B	B/A	Sınıf Heyelan Yoğunluk (%)
0-50	12.171.427,47	43,42	2.691.441,71	40,64	0,22	16,84
50-100	7.200.224,70	25,68	1.902.665,39	28,73	0,26	20,13
100-150	3.934.243,33	14,03	1.094.448,29	16,52	0,28	21,19
150-200	2.154.580,02	7,69	563.997,82	8,52	0,26	19,94
200-250	1.291.676,10	4,61	262.779,18	3,97	0,20	15,50
>250	1.282.067,75	4,57	107.883,92	1,63	0,08	6,41
GENEL TOPLAM	28,03 (km ²)	100	6,6 (km ²)	100	1,31	100



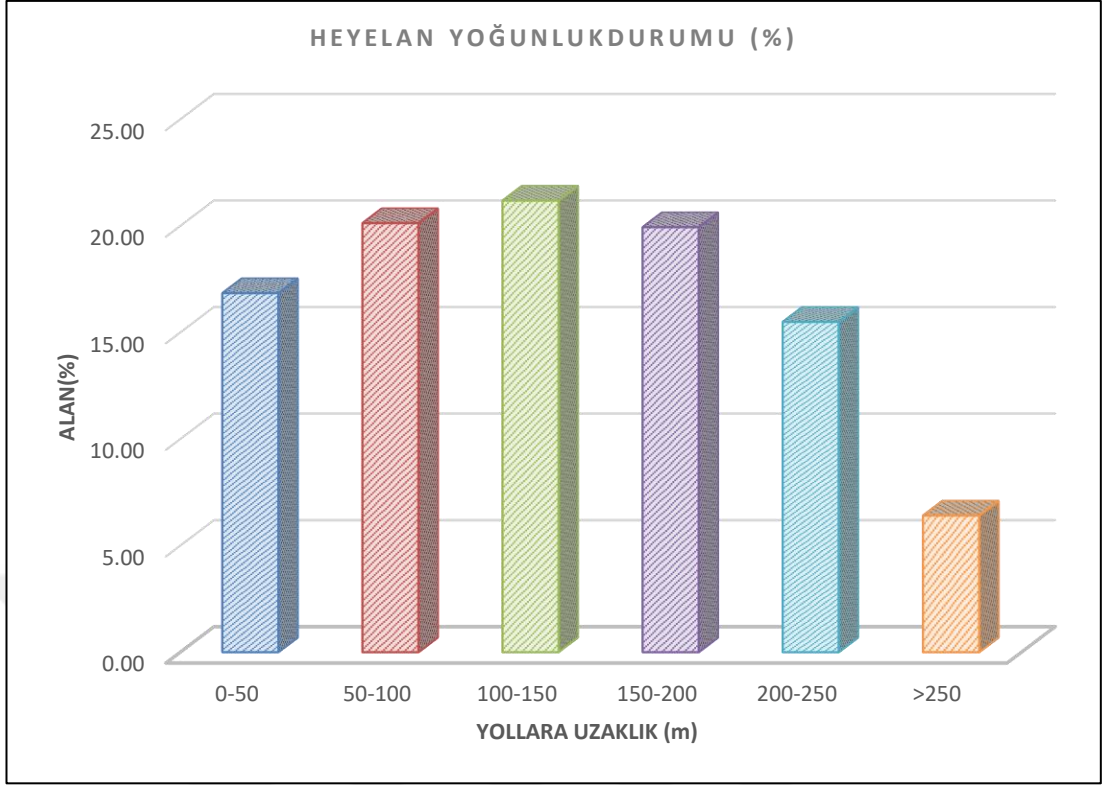
Şekil 8.24. İnceleme alanı yollara uzaklık sınıfları alansal dağılımı



Şekil 8.25. Yol güzergâhında meydana gelen heyelan ve alınan önlemler (mavi; istinat yapıları, kırmızı; heyelan alanı)



Şekil 8.26. İnceleme alanının yollara uzaklık sınıflarına göre heyelanlı alan yüzdeleri



Şekil 8.27. Yollara uzaklık sınıfı heyelan yoğunluk değerleri

8.7. Aktif Faya Uzaklık

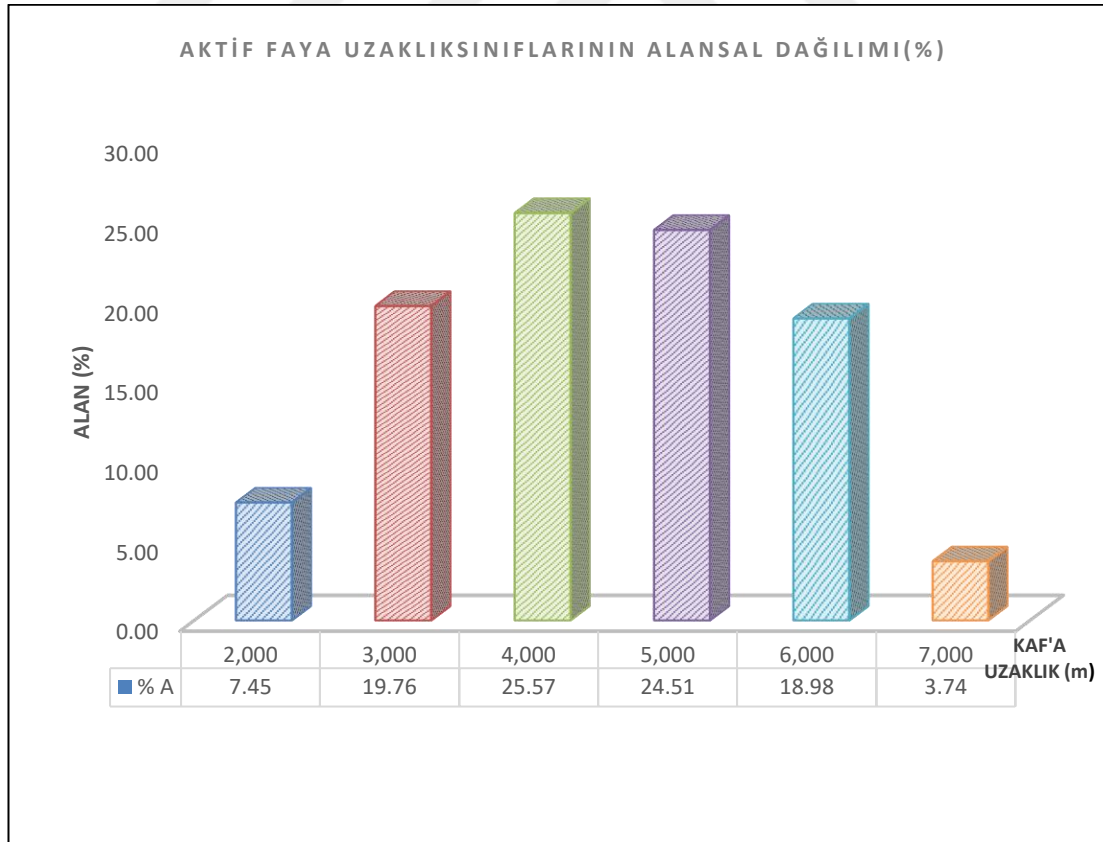
Depremeler, oluşturdukları sismik ivmeyle heyelanları tetikleyen en önemli faktörlerden birisidir. Odaktan itibaren yüzlerce kilometre uzaklıktaki zeminlerde de heyelan, sıvılaşma, yanal yayılma gibi çeşitli deformasyonlara neden olabilir. Aktif fayların bulunduğu bölgeler sürekli bir biçimde gerilmeye maruz kalmaktadır. Kuzey Anadolu Fayı Zonu (KAFZ) boyunca ölçülen yıllık kayma miktarı GPS verilerine göre ortalama 20-25 mm civarındadır (Kalkan ve Gülkan, 2008). KAFZ'nun etki alanı içinde kalan inceleme alanı ve çevresi, tektonik bakımdan çok aktif bir konumda bulunur ve deprem riski de oldukça yüksektir (Gökçeoğlu ve diğ., 2005; Şengör ve diğ., 2005; Yalıtırak, 2010).

KAFZ'nun hemen kuzeyinde yer alan inceleme alanı, aktif faya 1000 m mesafededir (Şekil 8.28). KAFZ'nun kuzey ve güney kolları arasında bulunan inceleme alanı içerisinde ve çevresinde KAF' bağlı ya da değil birçok tali fay bulunmaktadır (Emre ve diğ., 2011). Bölgede meydana gelen depremler heyelanları da tetiklemiş can ve mal kayıplarına sebep olmuştur (Zengince ve Karakaş, 2016).

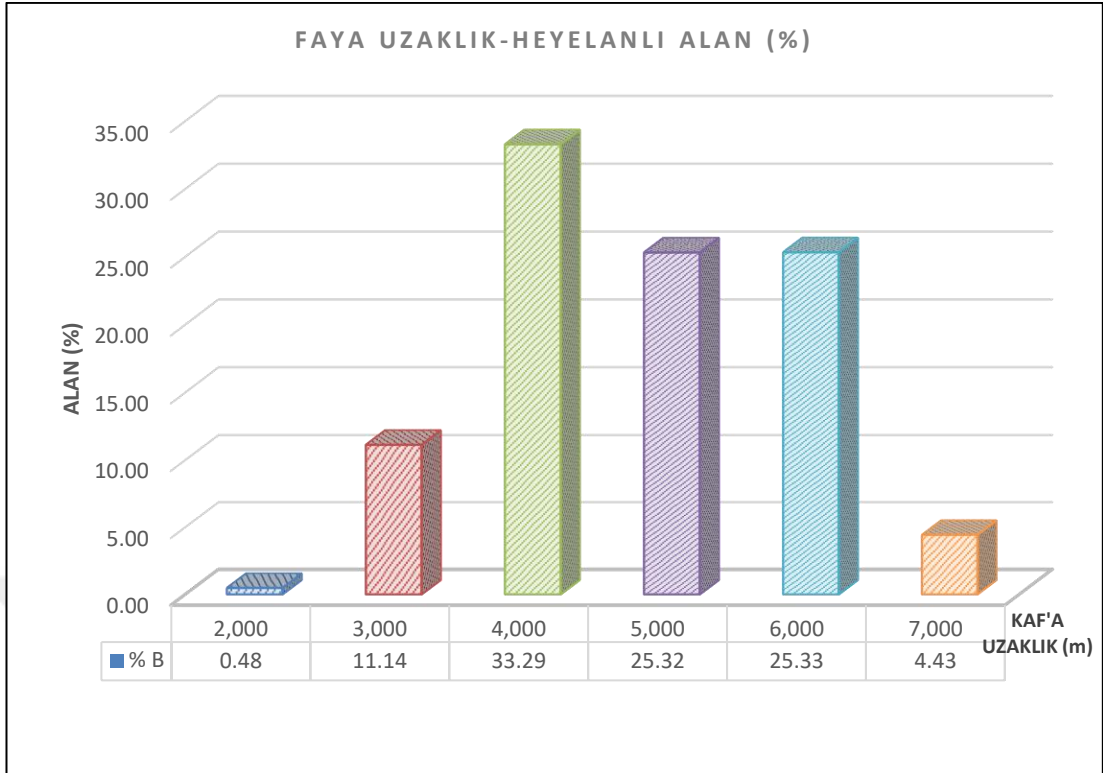
Tablo 8.7. Aktif faya uzaklık sınıfları ile heyelan arasındaki ilişkiler

Aktif Faya Uzaklık (m)	Alan (A) (m ²)	% A	Heyelanlı Alan (B)(m ²)	% B	B/A	Sınıf Heyelan Yoğunluk (%)
2.000	2.087.804,56	7,45	31.598,44	0,48	0,02	1,17
3.000	5.538.811,91	19,76	737.992,20	11,14	0,13	10,28
4.000	7.167.913,70	25,57	2.204.943,19	33,29	0,31	23,74
5.000	6.871.500,22	24,51	1.677.028,08	25,32	0,24	18,83
6.000	5.320.642,24	18,98	1.677.950,49	25,33	0,32	24,34
7.000	1.047.541,72	3,74	293.702,53	4,43	0,28	21,64
GENEL TOPLAM	28,03 (km ²)	100	6,6 (km ²)	100	1,30	100

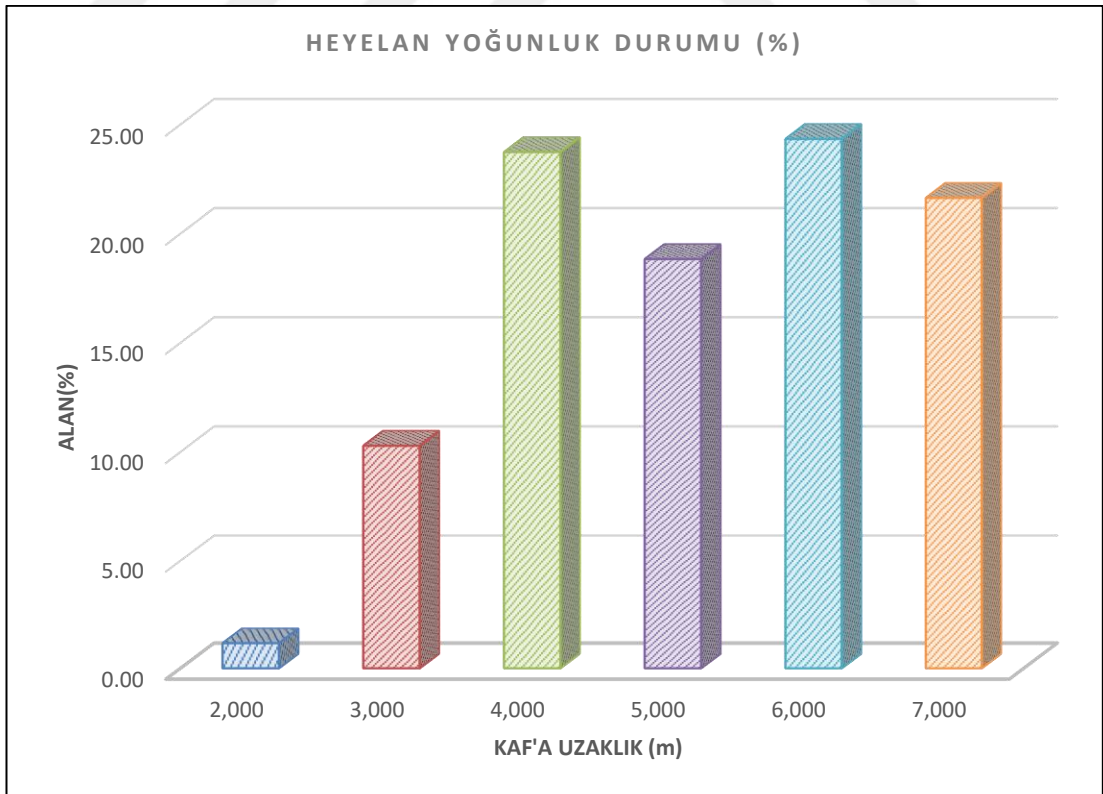
Aktif faya uzaklık tablo verileri kullanılarak grafikler oluşturulmuştur. Buna grafiklere göre faya 2000, 3000, 4000, 5000, 6000 ve 7000 m uzaklıklardaki sınıfların sırasıyla kapladığı alan yüzdeleri; %7,5, %19,76, %25,5, %24,5, %18,9 ve %3,7'dir (Şekil 8.29). Heyelanlı alanlar ve heyelan yoğunlukları değerlendirildiğinde ise 3000-4000 m uzaklık aralığında heyelanlı alanların en fazla (%33,29), 5000-6000 m uzaklık sınıfında ise yoğunluğun en fazla (%24,34) olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 8.30), (Şekil 8.31).



Şekil 8.29. İnceleme alanı aktif faya uzaklık sınıflarının alansal dağılımı



Şekil 8.30. İnceleme alanının aktif faya uzaklık sınıflarına göre heyelanlı alan yüzdeleri



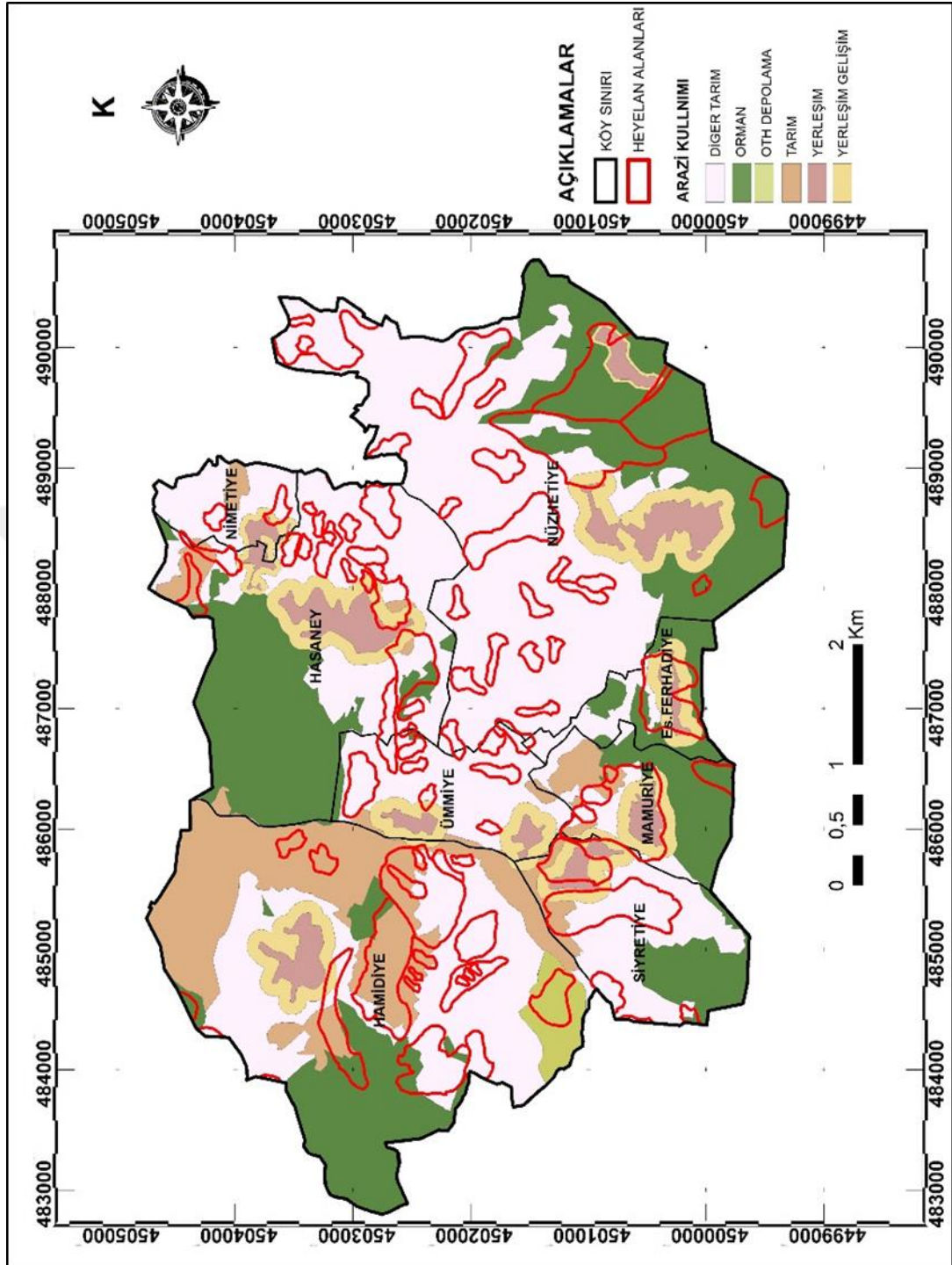
Şekil 8.31. Aktif faya uzaklık sınıflarının heyelan yoğunluk değerleri

8.8. Arazi Kullanımı

Arazi kullanımı parametresi, heyelan duyarlılık çalışmalarında çoğunlukla bitkilere ilişkin özellikler içinde değerlendirilmiş ayrı bir parametre olarak kullanılmamıştır. Bitki örtüsünün yoğun olduğu ormanlık alanlar, seyrek bitki örtüsüne sahip alanlara ya da tarım ve yerleşim alanlarına oranla heyelanlardan daha az etkilenmektedir (Dağ, 2007). Nitekim bitki örtüsünün tahrip edildiği alanlarda heyelan oluşumu daha çok görülmektedir (Kaymaz, 2012). İnceleme alanının arazi sınıflaması, diğer çalışmalardan farklı olarak 1/25000'lik nazım imar planı kullanılarak üretilmiştir ve 6 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflamaya göre inceleme alanı, tarım alanları (TA), diğer tarım alanları (DTA), organize tarım, hayvancılık ve depolama alanları (OTHA), yerleşim alanları (YA), yerleşim gelişim alanları (YGA) ve orman alanları (OA) olarak bölümlenmiştir (Şekil 8.32).

Arazi kullanımı ve heyelan arasında ilişkiyi belirlemek için 1/25000'lik nazım imar planından ilgili katmanlar ArcGIS formatına dönüştürülmüş ve arazi kullanım haritası üretilmiştir. Üretilen harita heyelan envanter haritası ile karşılaştırılarak arazi kullanım sınıfları ile heyelan arasındaki ilişki belirlenmiştir (Tablo 8.8).

Arazi kullanım sınıfları katmanı verileri kullanılarak tablo oluşturulmuş ve bu tablolardan yararlanılarak grafikler elde edilmiştir. İnceleme alanında diğer tarım alanları (%47,75) ile orman alanları (%26,43) en fazla alanları kaplamaktadır (Şekil 8.33). Heyelanlı alanlar değerlendirildiğinde ise yine diğer tarım alanlarında heyelanlı alanların (%50,7) fazla olduğu görülmektedir (Şekil 8.34).

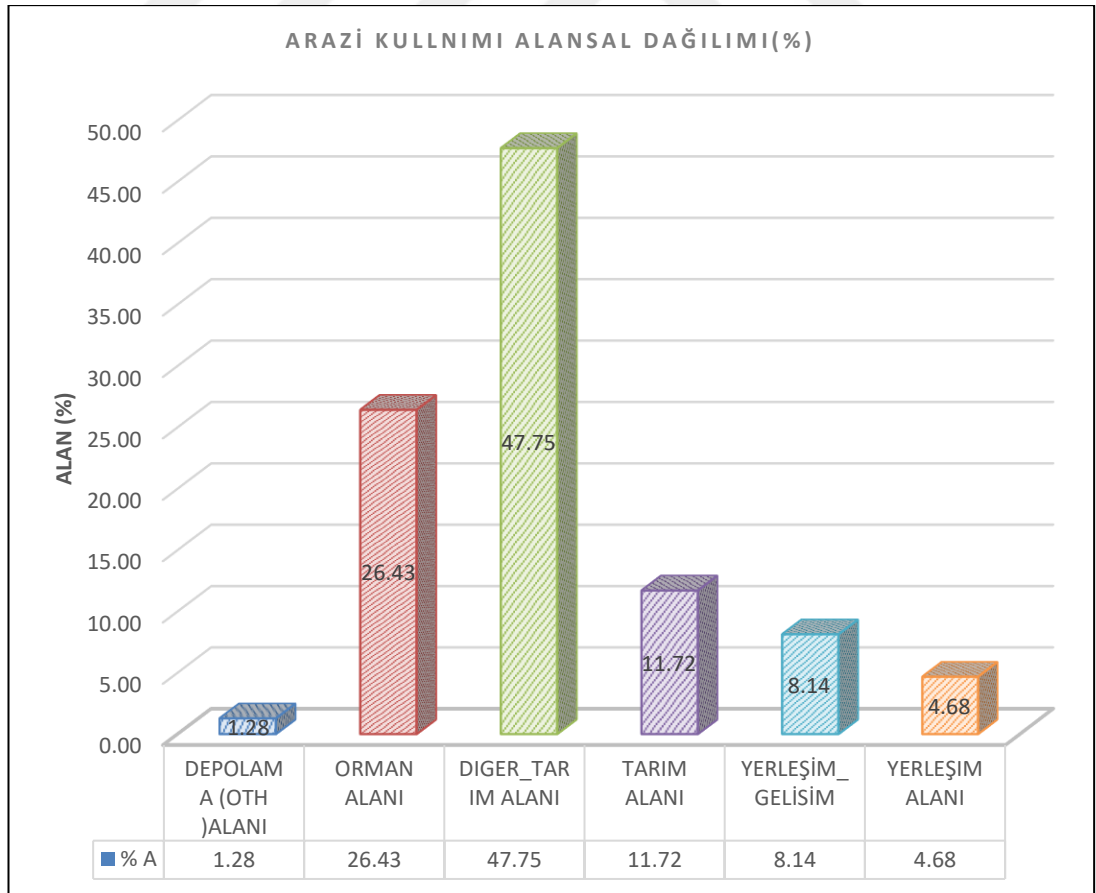


Şekil 8.32. İnceleme alanının arazi kullanım sınıfları haritası

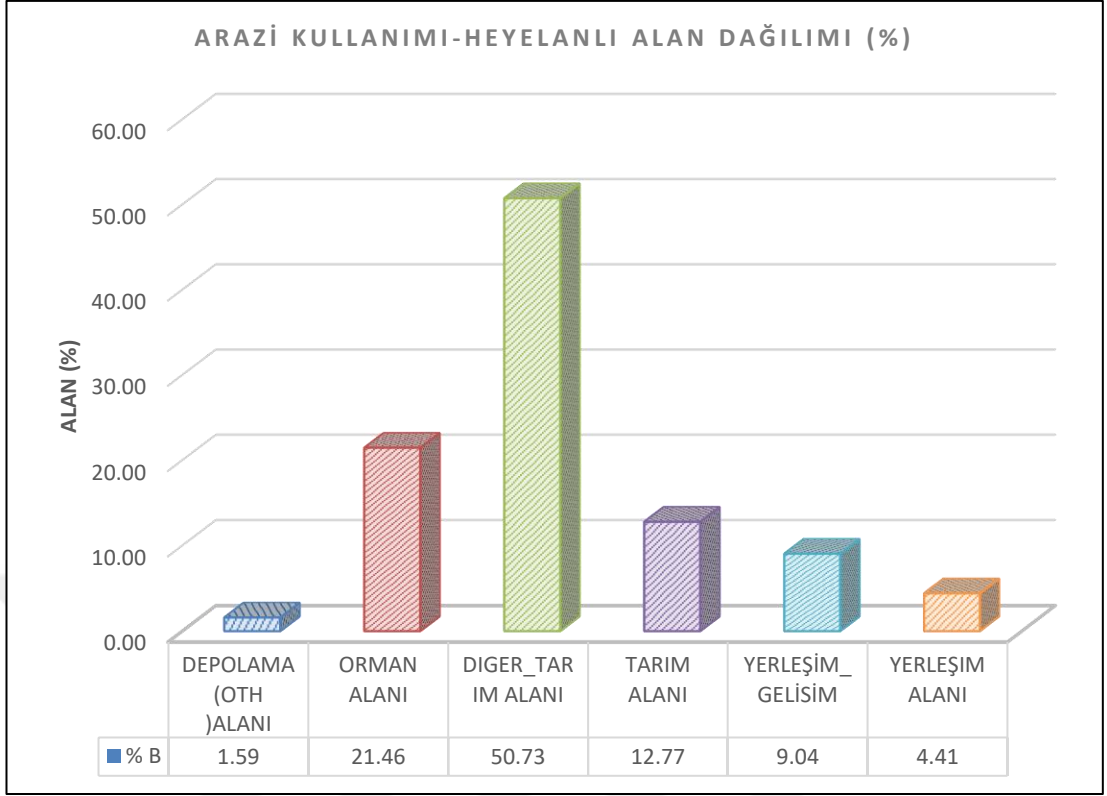
Heyelan yoğunluk değerlendirilmesi yapıldığında ise benzer nitelikte olan tarım, diğer tarım ve organize tarım, hayvancılık ve depolama (OTH) alanları beraber değerlendirildiğinde yoğunluk %27 çıkmaktadır. Her biri ayrı ayrı değerlendirildiğinde ise sonuçlar farklı oranlarda çıkmıştır (Şekil 8.35).

Tablo 8.8. Arazi kullanım sınıfları ile heyelan arasındaki ilişkiler

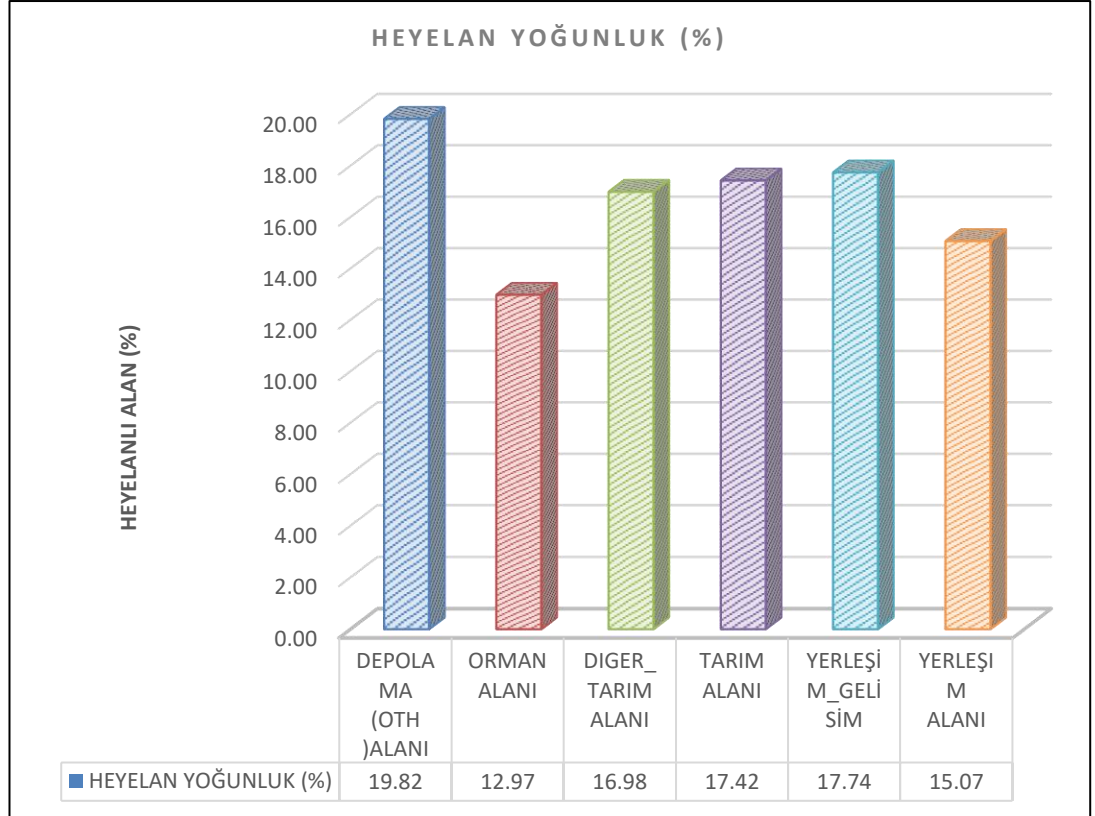
Arazi Kullanım Sınıflaması	Alan (A) (m ²)	% A	Heyelanlı Alan (B) (m ²)	% B	B/A	Sınıf Heyelan Yoğunluk (%)
DEPOLAMA (OTH) ALANI	360.086,01	1,28	105469,0721	1,59	0,29	19,82
ORMAN ALANI	7.409.511,39	26,43	1420966,456	21,46	0,19	12,97
DİĞER_TARIM ALANI	13.385.396,67	47,75	3360076,268	50,73	0,25	16,98
TARIM ALANI	3.284.876,58	11,72	845977,7939	12,77	0,26	17,42
YERLEŞİM_GELİŞİM	2.282.760,73	8,14	598415,5586	9,04	0,26	17,74
YERLEŞİM ALANI	1.311.436,89	4,68	292054,6147	4,41	0,22	15,07
GENEL TOPLAM	28,03 (km ²)	100	6,6 (km ²)	100	1,48	100



Şekil 8.33. İnceleme alanı arazi sınıflarının alansal dağılımı



Şekil 8.34. İnceleme alanının arazi sınıflarına göre heyelanlı alan yüzdeleri



Şekil 8.35. Arazi sınıfları heyelan yoğunluk değerleri

9. HEYELAN DUYARLILIK DEĞERLENDİRMELERİ

Coğrafi Bilgi Sistemi ile elde edilen verileri İntel i3 işlemci ve 8 GB RAM'a sahip bilgisayar ve yapılacak analiz için yeterli olan, ArcGIS 10.4 CBS yazılım programını kullanarak elde edilen veriler sonuç verisine yani; duyarlılık haritasına dönüştürülecektir. Bu yöntemle türlü tematik ve dağılış haritaları üretmek, bunları istenilen şekilde görselleştirmek ve analiz etmek mümkündür.

Heyelan duyarlılık haritasının hangi yöntemle hazırlandığı, veri katmanlarının nasıl ağırlıklandırıldığı, duyarlılık haritalarının sonuçlarının yerleşim alanı ve çevresinde nasıl dağılım gösterdiği vb. konuları tezin bu bölümünde aktarılmıştır.

9.1. Coğrafi Bilgi Sistemi Yöntemi (Niteliksel Yöntem)

Bu çalışmada heyelan oluşumunda etkili olan faktörlerin arazi gözlemleri indeks ve parametre haritalarının karşılaştırılması veya birleştirilmesi esasına dayanan kalitatif (niteliksel) yaklaşımla analizler yapılmıştır (Aleotti ve Chowdhury, 1999).

Bu kapsamda, Gölcük ilçesi güney köylerinin heyelan duyarlılığını ortaya koymak için veri setleri hazırlanmıştır. Heyelan oluşumunda etkili olan parametre detaylarından oluşan veri setleri ve analizlerde; litoloji, eğim, bakı, yükseklik, yollara uzaklık, akarsuya uzaklık, faya uzaklık, arazi kullanımı, kriterleri kullanılarak duyarlılık haritası üretmek amaçlanmıştır. İlgili parametrelere ait bilgiler çoğunluğu belediye arşivi olmak üzere toplanmış ve CBS ortamında uygun katman verisine dönüştürülmüştür. Her bir parametreye ait verilerin alt guruplarına arazi ve literatür çalışmaları da baz alınarak, değerler atanmıştır (Özşahin ve diğ., 2013) ve parametrelerin kendi içerisinde heyelan oluşumuna etki derecesi belirlenmiştir. Son haritayı üretmek için ArcGIS 10.4 programı içerisindeki bindirme (weighted overlay) analiz yöntemi kullanılmıştır. Heyelan oluşturan parametrelerin birbirlerine göre etki yüzdesini de işleme katarak duyarlılık haritası oluşturulmuştur (Tablo 9.1).

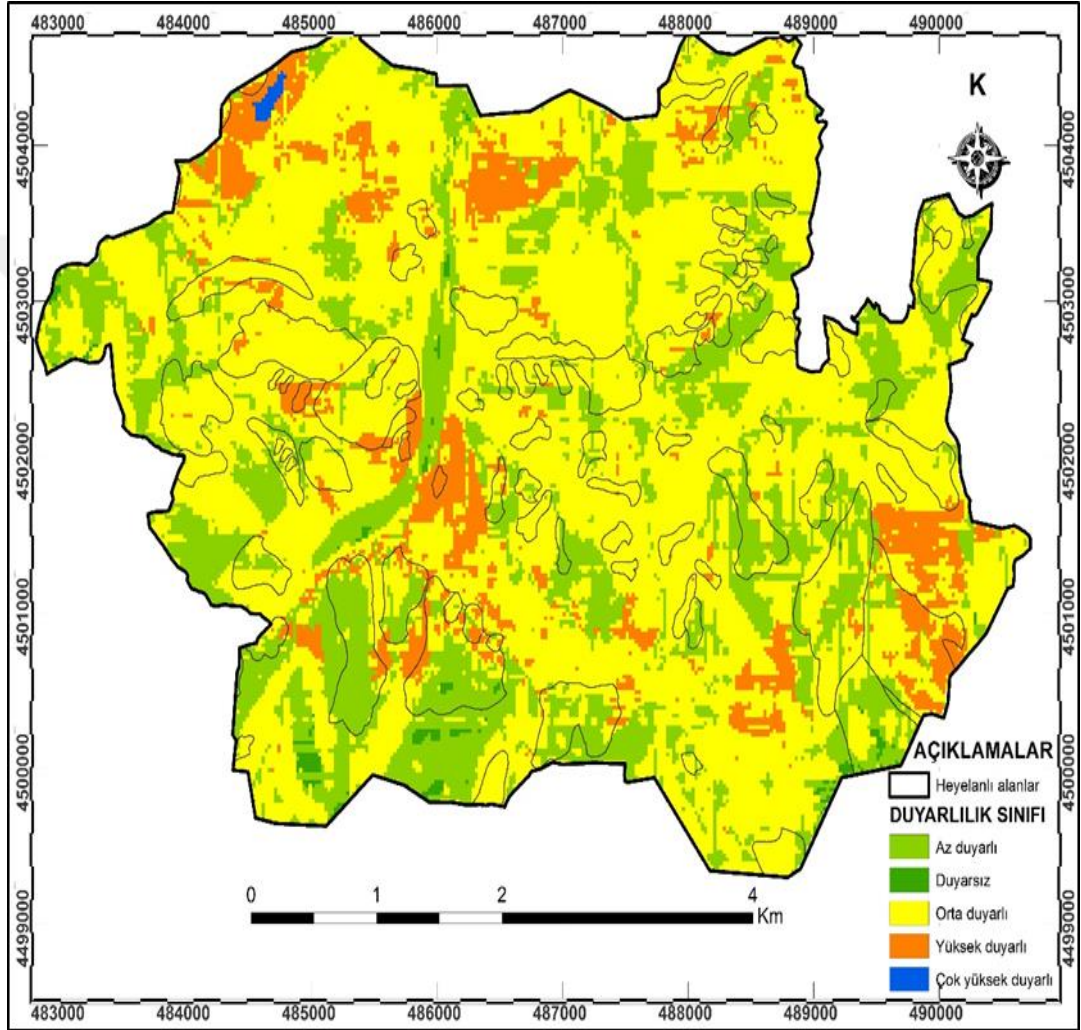
Tablo 9.1. Duyarlılık analizinde kullanılan ağırlıklandırma tablosu

Veri Katmanı	Alt Katman	Etki Derecesi	Senaryo 1 Katman Ağırlık Değeri	Etki Derecesi	Senaryo 2 Katman Ağırlık Değeri	Etki Derecesi	Senaryo 3 Katman Ağırlık Değeri
Litoloji	Sarısu Formasyonu	4	0,25	4	0,15	4	0,2
	Bakacak Formasyonu	3		3		3	
	Aslanbey Formasyonu	6		6		6	
	İncebel Formasyonu	6		6		6	
	İznik Metamorfikleri	3		3		3	
	Pamukova Metamorfikleri	3		3		3	
	Alüvyon	1		1		1	
Eğim Sınıfları (Derece)	0-5	1	0,15	1	0,25	1	0,18
	5-10	2		5		5	
	10-15	3		6		6	
	15-20	4		7		7	
	20-25	5		7		7	
	25-30	6		4		4	
	30-35	7		3		3	
Bakı (Yamaç Yönü)	Batı	7	0,15	4	0,15	4	0,15
	Doğu	6		3		3	
	Güney	2		2		2	
	Güneybatı	4		8		8	
	Güneydoğu	3		4		4	
	Kuzey	10		9		9	
	Kuzeybatı	9		6		6	
Yükseklik Sınıfları (m)	83-100	1	0,1	1	0,05	1	0,05
	100-200	2		2		2	
	200-300	3		3		3	
	300-400	4		4		4	
	400-500	5		5		5	
	500-600	6		6		6	
Arazi Kullanım Sınıflaması	Depolama (oth)	2	0,1	2	0,12	2	0,12
	Orman	1		1		1	
	Diğer tarım	4		4		4	
	Tarım	5		5		5	
	Yerleşim gelişim	3		3		3	
	Yerleşim	3		3		3	
Aktif Faya Uzaklık (m)	2.000	6	0,1	6	0,06	6	0,06
	3.000	5		5		5	
	4.000	4		4		4	
	5.000	3		3		3	
	6.000	2		2		2	
	7.000	1		1		1	
Akarsuya Uzaklık Sınıfları (m)	0-50	6	0,1	6	0,12	6	0,12
	50-100	5		5		5	
	100-150	4		4		4	
	150-200	3		3		3	
	200-250	2		2		2	
	>250	1		1		1	
Yollara Uzaklık Sınıfları (m)	0-50	6	0,05	6	0,1	6	0,12
	50-100	5		5		5	
	100-150	4		4		4	
	150-200	3		3		3	
	200-250	2		2		2	
	>250	1		1		1	

Heyelan duyarlılık haritası üretmek için üç farklı senaryo oluşturularak karşılaştırmalar yapılmış ve en uygun duyarlılık haritası üretilmeye çalışılmıştır.

9.1.1. Heyelan duyarlılık senaryosu 1

Birinci senaryo dâhilinde parametrelere farklı ağırlıklar verilmiştir (Tablo 9.2). Buna göre jeoloji (0,25), eğim (0,15), bakı (0,15), yükseklik (0,10), arazi kullanımı (0,10), akarsuya uzaklık (0,10), yollara uzaklık (0,05) aktif faya uzaklık (0,10)'a verilen değerlerle bir duyarlılık haritası ortaya çıkmıştır (Tablo 9.1).



Şekil 9.1. Senaryo 1 verileri ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritası

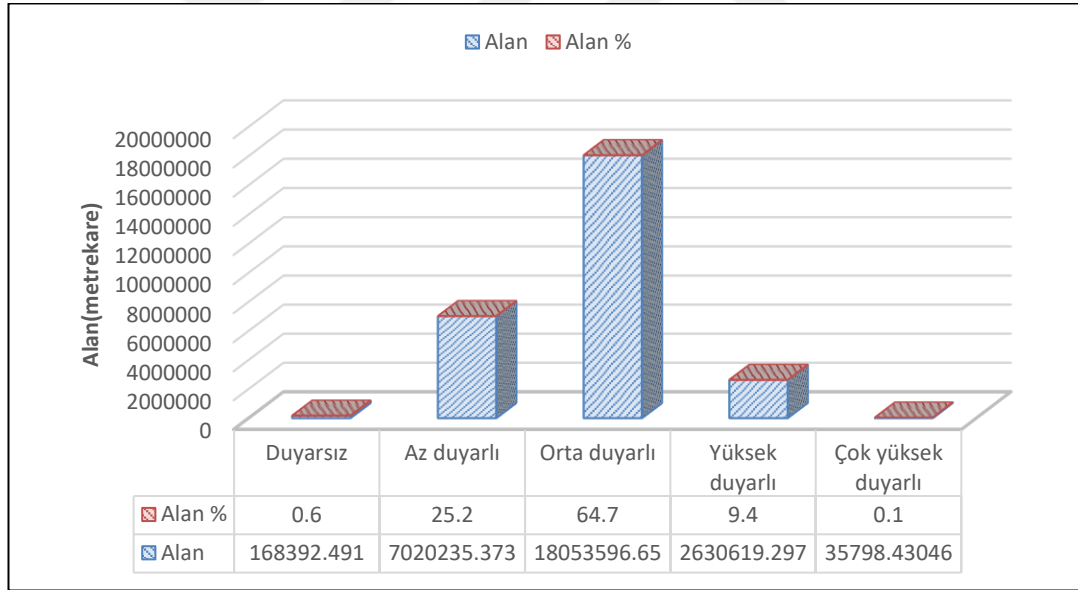
Üretilen heyelan duyarlılık haritasında, pikseller aldığı değerler doğrultusunda bölünerek duyarsız, az duyarlı, orta duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı olmak üzere 5 duyarlılık sınıfı tanımlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, duyarlılık sınıflarının çalışma alanındaki yüzde dağılımları belirlenmiştir (Tablo 9.2).

Tablo 9.2. Duyarlılık haritası içerisindeki heyelanlı alanlar (Senaryo 1)

Duyarlılık Sınıfı	ArcGIS Kod	Alan (m ²)	Alan %	Heyelanlı alan (m ²)	Heyelanlı alan (%)
Duyarsız	2	168392,5	0,6	24565,47	0,37
Az duyarlı	3	7020235	25,2	1855456	28,14
Orta duyarlı	4	18053597	64,7	4193340	63,59
Yüksek duyarlı	5	2630619	9,4	520745,3	7,90
Çok yüksek duyarlı	6	35798,43	0,1	500	0,01

Senaryo 1'e göre inceleme alanının %0,1'i çok yüksek duyarlı, %9,4'ü yüksek duyarlı, %64,7'si orta duyarlı, %25,2'si az duyarlı, %0,6'si ise duyarsız alanlardan oluştuğu görülmektedir.

Şekil 9.2 değerlendirildiğinde, orta duyarlı alanların inceleme alanına hakim olduğu anlaşılmaktadır.



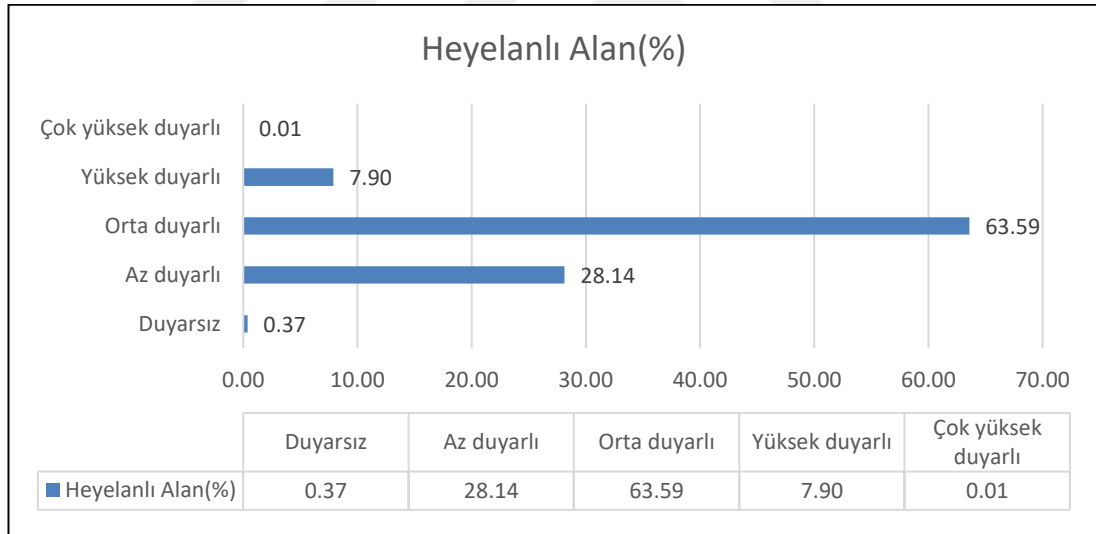
Şekil 9.2. Senaryo 1'e göre heyelan duyarlılık sınıflarının alansal ve % dağılımı

Üretilen heyelan duyarlılık haritasının güvenilirliğini test etmek için heyelan envanter haritası ve heyelan duyarlılık haritasının karşılaştırılması yapılmıştır (Erener ve diğ., 2007). Bu karşılaştırmada, heyelan envanter haritasındaki alanlar, heyelan duyarlılık haritası ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra, mevcut heyelan alanlarının duyarlılık sınıflarına göre dağılımları belirlenmiştir. Mevcut heyelan alanlarının, üretilen heyelan duyarlılık haritasında; %63,5'inin orta duyarlı, %7,91'inin yüksek ve çok yüksek,

%28,14'ünün az duyarlı, %0,37'sinin ise duyarsız alan olduğu belirlenmiştir (Tablo 9.2).

Çok yüksek duyarlı alanların yerleşim yerlerine göre konumu incelendiğinde; Mamuriye köyünün alt bölgeleri, Nüzhetiye Köyü, Sakarbiçki mevkii, Hamidiye kuzeyi (Selimiye köy sınırı) yüksek ve çok yüksek duyarlı alanları içerdiği görülmektedir.

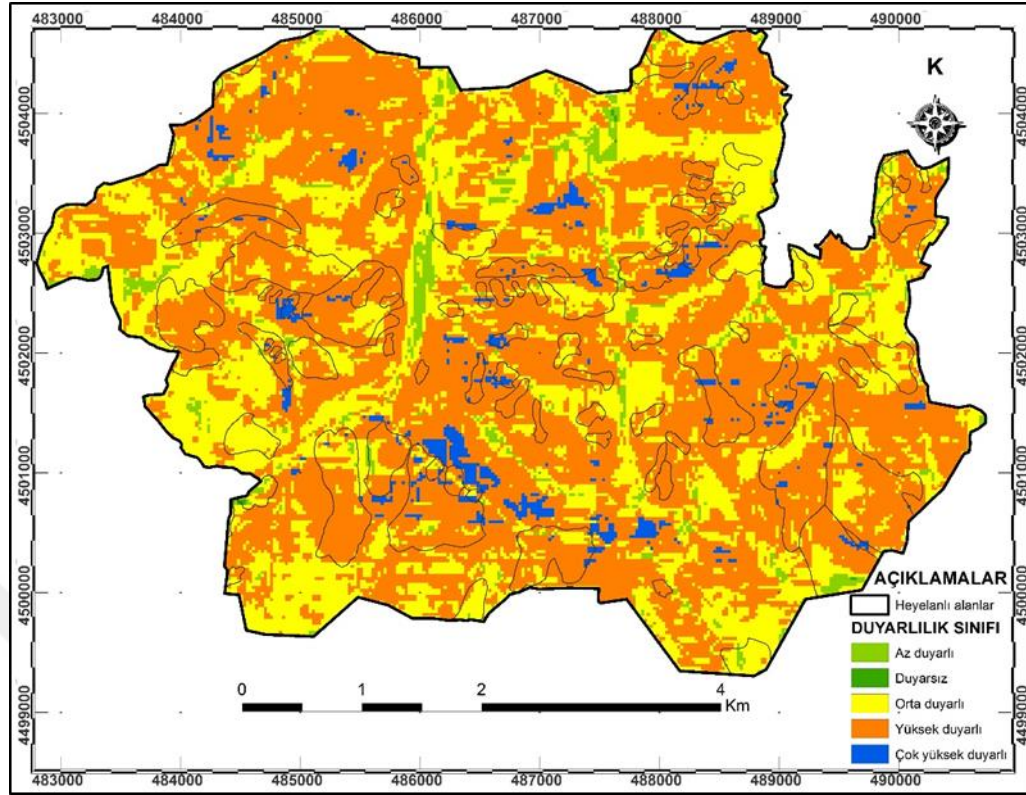
İnceleme alanında duyarlılık haritası ile envanter haritasının karşılaştırılması neticesinde yüksek duyarlı alanların uyuşmaması; bu senaryo ile hazırlanan duyarlılık haritasının doğruluğunu tartışılır duruma getirir. Çıkan bu sonuç değerlendirildiğinde, inceleme alanını oluşturan jeolojik formasyonların sadece ikisinin toplam alanın yaklaşık %90'nı oluşturması ve jeolojik formasyonların heyelan oluşumuna etki derecesinin yüksek olması nedeniyle, diğer parametrelerin etkilerinin ortaya çıkamaması olarak açıklanabilir.



Şekil 9.3. Duyarlılık haritası üzerindeki heyelanlı alan yüzdeleri

9.1.2. Heyelan duyarlılık senaryosu 2

İkinci senaryo dâhilinde de parametrelere farklı ağırlıklar verilmiştir (Tablo 9.3). Buna göre birinci senaryo sonuçları da baz alınarak, jeoloji (0,15), eğim (0,25), bakı (0,15), yükseklik (0,05), arazi kullanımı (0,12), akarsuya uzaklık (0,12), yollara uzaklık (0,10) aktif faya uzaklık (0,06)'a verilen değerlerle bir duyarlılık haritası daha oluşturulmuştur (Şekil 9.4).



Şekil 9.4. Senaryo 2 dâhilinde oluşturulan heyelan duyarlılık haritası

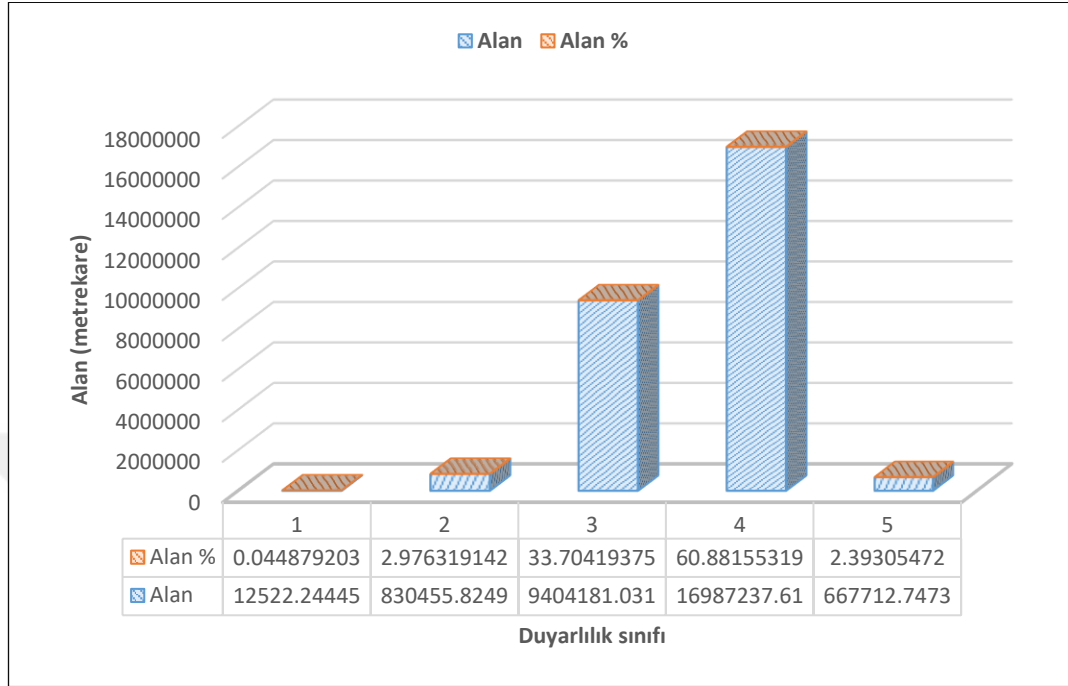
Üretilen heyelan duyarlılık haritasında, pikseller aldığı değerler doğrultusunda bölünerek duyarsız, az duyarlı, orta duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı olmak üzere 5 duyarlılık sınıfı tanımlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, duyarlılık sınıflarının çalışma alanındaki yüzde dağılımları belirlenmiştir (Tablo 9.3).

Tablo 9.3. Duyarlılık haritası içerisindeki heyelanlı alanlar (Senaryo 2)

Duyarlılık Sınıfı	Arcgis kod	Alan (m ²)	Alan %	Heyelanlı alan (m ²)	Heyelanlı Alan (%)
Duyarsız	2	12522,24	0,0448792	3810	0,05
Az duyarlı	3	830455,8	2,9763191	107042	1,62
Orta duyarlı	4	9404181	33,704194	1850209	28,06
Yüksek duyarlı	5	16987238	60,881553	4479261	67,93
Çok yüksek duyarlı	6	667712,7	2,3930547	152732	2,31

Senaryo 2'ye göre inceleme alanının %60,88'i yüksek duyarlı, %2,39'u çok yüksek duyarlı, %33,70'i orta duyarlı, %2,97'si az duyarlı, %0,04'ü ise duyarsız alanlardan oluştuğu görülmektedir (Şekil 9.5).

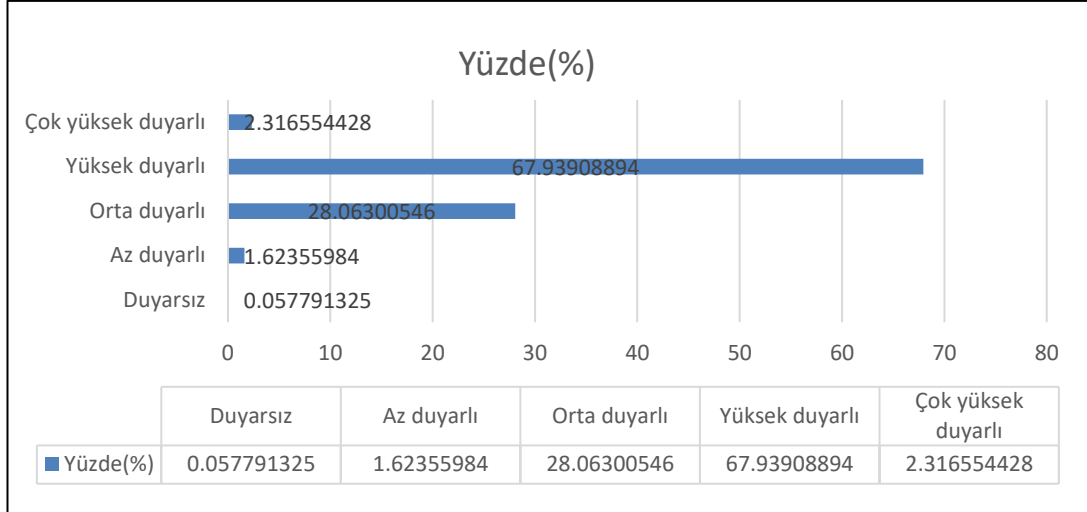
Şekil 9.5 değerlendirildiğinde, yüksek duyarlı alanların inceleme alanına hâkim olduğu anlaşılmaktadır.



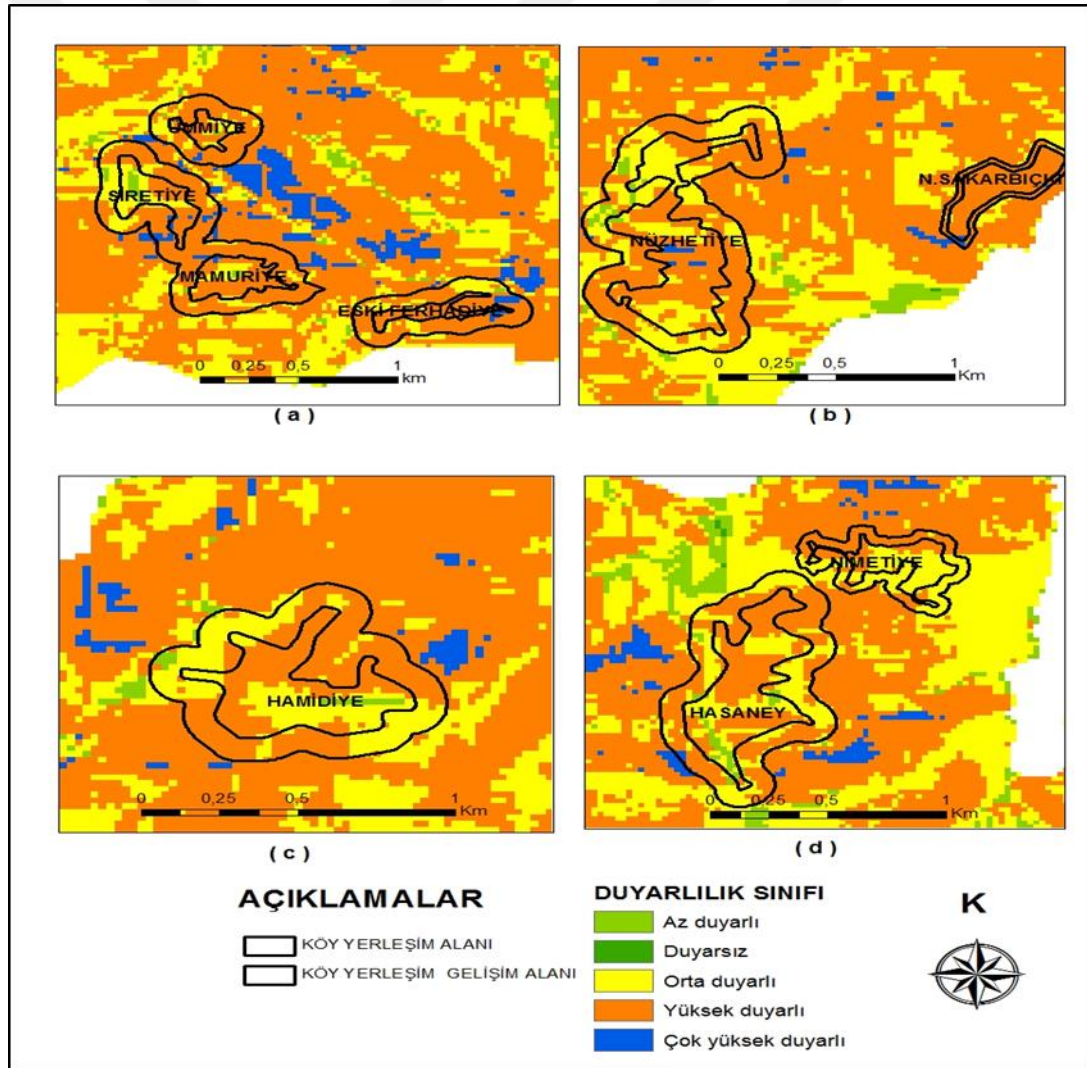
Şekil 9.5. Senaryo 2'ye göre heyelan duyarlılık sınıflarının alansal ve % dağılımı

Üretilen heyelan duyarlılık haritasının güvenilirliğini test etmek için heyelan envanter haritası ve heyelan duyarlılık haritasının karşılaştırılması yapılmıştır (Lee ve Pradhan, 2006). Bu karşılaştırmada, heyelan envanter haritasındaki alanlar, heyelan duyarlılık haritası ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra, mevcut heyelan alanlarının duyarlılık sınıflarına göre dağılımları belirlenmiştir. Mevcut heyelan alanlarının, üretilen heyelan duyarlılık haritasındaki yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarla olan ilişkisine bakıldığında, üretilen heyelan duyarlılık haritasında alanın %70,2'sinin yüksek ve çok yüksek duyarlı alan olduğu belirlenmiştir (Şekil 9.6). Bu durum duyarlılık haritasının doğruluğunu kanıtlayan bir durumdur. Daha çok yoğunlaşmış ve çevre insanların tedirgin olduğu Mamuriye köyü çok yüksek ve çok yüksek duyarlı sınıf içerisinde kalmaktadır.

Çok yüksek duyarlı alanların yerleşim yerlerine göre konumu; Mamuriye köyü merkezi ve köyün kuzeyindeki dere kenarları, Hasaney köyü civarı, Yeni Ferhadiye'nin batı kesimleri, gösterilebilir (Şekil 9.7).



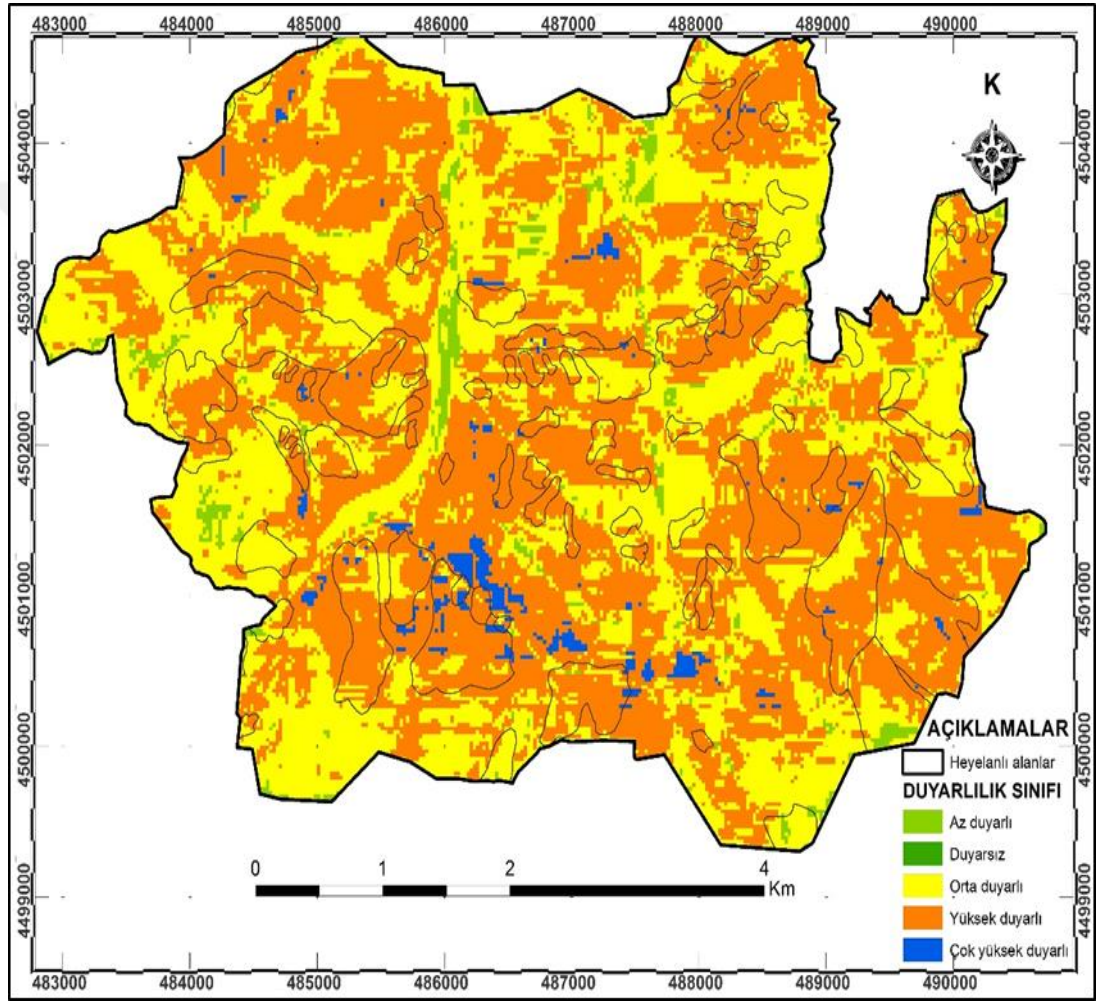
Şekil 9.6. Duyarlılık haritası üzerindeki heyelanlı alan yüzdeleri



Şekil 9.7. Köy yerleşim alanları ve civarı duyarlılık sınıfı (a: Mamuriye, Siretiye, Y. Ferhadiye, Ümmiye, b: Nüzhetiye, N. Sakarbiçki, c: Hamidiye, d: Hasaney, Nimetiye)

9.1.3. Heyelan duyarlılık senaryosu 3

Üçüncü senaryo kapsamında alt katman değerleri değiştirilmeden parametrelerden bazılarının ağırlıkları değiştirilmiştir. Buna göre üçüncü senaryoda, jeoloji %20 ağırlıklı, eğim %18 ağırlıklı, bakı %15 ağırlıklı, yükseklik %5 ağırlıklı, arazi kullanımı %12 ağırlıklı, akarsuya uzaklık %12 ağırlıklı, yollara uzaklık %12 ağırlıklı aktif faya uzaklık %6 ağırlıklı olarak bir duyarlılık haritası daha oluşturulmuştur (Şekil 9.8).



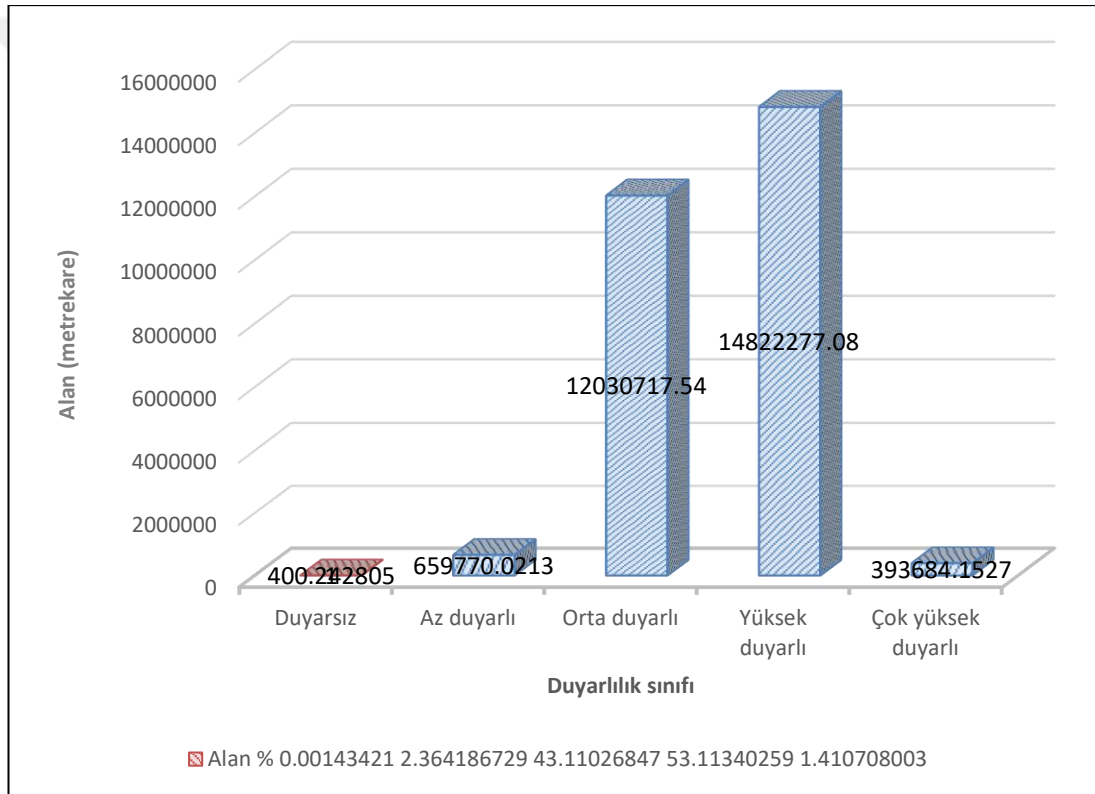
Şekil 9.8. Senaryo 3 dâhilindeki verilerle oluşturulan heyelan duyarlılık haritası

Üretilen heyelan duyarlılık haritasında, pikseller aldığı değerler doğrultusunda ArcGIS analiz modülü tarafından otomatik bölünerek duyarsız, az duyarlı, orta duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı olmak üzere beş duyarlılık sınıfı tanımlanmıştır. Yapılan analiz sonucunda, duyarlılık sınıflarının çalışma alanındaki yüzde dağılımları belirlenmiştir (Tablo 9.4).

Tablo 9.4. Duyarlılık haritası içerisindeki heyelanlı alanlar (Senaryo 3)

Duyarlılık Sınıfı	ArcGIS cod	Alan (m ²)	Alan %	Heyelanlı alan (m ²)	Heyelanlı Alan(%)
Duyarsız	2	400.2428	0,001434	5,04	0,0002
Az duyarlı	3	659770	2,364187	71728,65	1,08
Orta duyarlı	4	12030718	43,11027	2321925	35,21
Yüksek duyarlı	5	14822277	53,1134	4119435	62,46
Çok yüksek duyarlı	6	393684,2	1,410708	81364,94	1,23

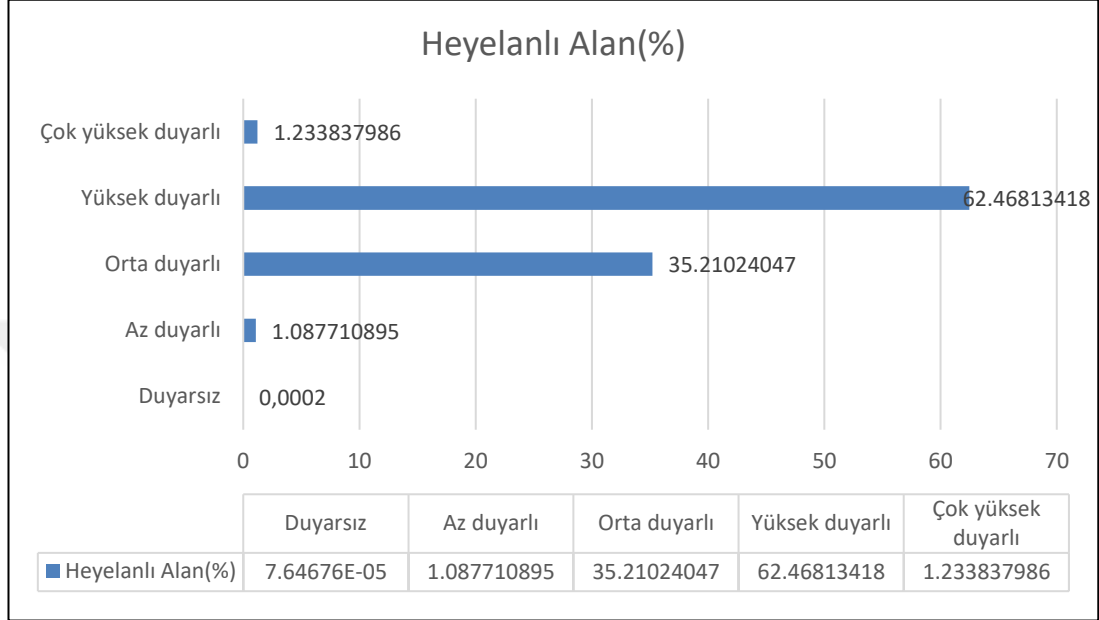
Senaryo 3'e göre inceleme alanının %1,4'ü çok yüksek duyarlı, %53'ü yüksek duyarlı, %43,1'i orta duyarlı, %2,3'ü az duyarlı, %0,001'i ise duyarsız alanlardan oluştuğu görülmektedir (Şekil 9.8).



Şekil 9.9. Senaryo 3 için heyelan duyarlılık sınıflarının alansal ve % dağılımı

Üretilen heyelan duyarlılık haritasının güvenilirliğini test etmek için heyelan envanter haritası ve heyelan duyarlılık haritasının karşılaştırılması yapılmıştır (Lee ve Pradhan, 2006). Bu karşılaştırmada, heyelan envanter haritasındaki alanlar, heyelan duyarlılık haritası ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra, mevcut heyelan alanlarının duyarlılık sınıflarına göre dağılımları belirlenmiştir. Mevcut heyelan alanlarının, üretilen heyelan duyarlılık haritasındaki yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarla olan ilişkisine bakıldığında, yüksek duyarlılık sınıfının %62,4, orta duyarlılık sınıfının %35,2 kalan

alanların ise duyarsız, çok yüksek duyarlı ve az duyarlı sınıflarda kaldığı sonucu ortaya çıkmıştır (Şekil 9.10). Haritaya göre kuzey yönüne bakan (Mamuriye Köyü, Eski Ferhadiye Köyü, Sakarbiçki mevki) alanların yüksek duyarlı sınıfta yer aldığı görülmektedir.



Şekil 9.10. Duyarlılık haritası üzerindeki heyelanlı alan yüzdeleri

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez kapsamında Kocaeli ili Gölcük ilçesi güneyinde yaralan Hamidiye, Mamuriye, Siretiye, Eski Ferhadiye, Nüzhetiye, Nimetiye, Hasaney ve Ümmiye köylerinin heyelan duyarlılığı incelenmiş ve bu bölümde özetlenmiştir:

1. 28,03 km² olan inceleme alanının 6,6 km²'si heyelanlı alanlardan oluşmaktadır. Duman ve diğ. (2005) tarafından tanımlanan 90 heyelanlı alana, arazi çalışmaları sonucu bazıları aynı poligonda olmak üzere 22 alan daha eklenmiş ve heyelan envanter haritası oluşturulmuştur.
2. Heyelanı oluşumuna neden olan etkenlerden; jeoloji, eğim, bakı, yükseklik, yollara uzaklık, akarsu ağına uzaklık, aktif faya uzaklık ve arazi kullanımı parametreleri kullanılmıştır.
3. Arazi gözlemleri, bölgede yapılan jeoteknik çalışmalar ve ağırlıklı olarak Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) programları yardımıyla bölge çözümlenmeye çalışılmış ve heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur.
4. Heyelan duyarlılık analizi, heyelan oluşumunda etkili olan faktörlerin arazi gözlemleri indeks ve parametre haritalarının karşılaştırılması veya birleştirilmesi esasına dayanan kalitatif (niteliksel) yaklaşımlarla analizler yapılmıştır.
5. Üretilen heyelan duyarlılık haritasında, pikseller aldığı değerler doğrultusunda analiz programı tarafından otomatik bölünerek, duyarsız, az duyarlı, orta duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı olmak üzere beş duyarlılık sınıfı belirlenmiştir.
6. Hazırlanan üç farklı senaryo analizi ile elde edilen sonuçlar sırasıyla aktarılmıştır:
 - Heyelan duyarlılık senaryosu 1; Birinci senaryo dâhilinde parametrelere farklı % değerler verilmiştir. Buna göre; jeoloji (0,25), eğim (0,15), bakı (0,15), yükseklik (0,10), arazi kullanımı (0,10), akarsuya uzaklık (0,10), yollara uzaklık (0,05), aktif faya uzaklık (0,10), parametreleri farklı değerler almıştır. Bu değerler doğrultusunda, bindirme analizi (weighted overlay) işlemi ile bir duyarlılık haritası ortaya çıkmıştır.

Senaryo 1'e göre inceleme alanının %0,1'i çok yüksek duyarlı, %9,4'ü yüksek duyarlı, %64,7'si orta duyarlı, %25,2'si az duyarlı, %0,6'si ise duyarsız alanlardan oluştuğu görülmektedir.

Mevcut heyelan alanlarının, üretilen heyelan duyarlılık haritasındaki yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarla olan ilişkisine bakıldığında; %63,5'inin orta duyarlı, yaklaşık %8'inin yüksek ve çok yüksek, %28,1'inin az duyarlı, %0,37'sinin ise duyarsız alan olduğu belirlenmiştir. Çok yüksek duyarlı alanların yerleşim yerlerine göre konumu incelendiğinde; Mamuriye köyünün alt bölgeleri, Nüzhetiye Köyü, Sakarbıçkı mevki, Hamidiye kuzeyi (Selimiye köy sınırı) yüksek ve çok yüksek duyarlı alanları içerdiği görülmektedir.

- Heyelan duyarlılık senaryosu 2; İkinci senaryo dâhilinde de parametrelere farklı ağırlıklar verilmiştir (Tablo 1). Buna göre 1. Senaryo sonuçları da baz alınarak, jeoloji (0,15), eğim (0,25), bakı (0,15), yükseklik (0,05), arazi kullanımı (0,12), akarsuya uzaklık (0,12), yollara uzaklık (0,10) aktif faya uzaklık (0,06)'a verilen değerlerle bir duyarlılık haritası daha oluşturulmuştur.

Senaryo 2'ye göre inceleme alanının %6,88'i yüksek duyarlı, %2,39'u çok yüksek duyarlı, %33,70'i orta duyarlı, %2,97'si az duyarlı, %0,044'ü ise duyarsız alanlardan oluştuğu görülmektedir (Şekil 9.5).

Mevcut heyelan alanlarının, üretilen heyelan duyarlılık haritasındaki yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarla olan ilişkisine bakıldığında, %70,2'sinin yüksek ve çok yüksek duyarlı alan olduğu belirlenmiştir. Yaşayan insanların tedirgin olduğu Mamuriye köyü yüksek ve çok yüksek duyarlı sınıf içerisinde kalmaktadır.

- Heyelan duyarlılık Senaryo 3; Üçüncü senaryo kapsamında alt katman değerleri değiştirilmeden parametrelerden bazılarının ağırlıkları değiştirilmiştir. Buna göre üçüncü senaryoda, jeoloji (0,20), eğim (0,18), bakı (0,15), yükseklik (0,05), arazi kullanımı (0,12), akarsuya uzaklık (0,12), yollara uzaklık (0,12) aktif faya uzaklık (0,06)'a verilen değerlerle bir duyarlılık haritası daha oluşturulmuştur.

Senaryo 3'e göre inceleme alanının %53,1'i yüksek duyarlı, % 1,4'ü çok yüksek duyarlı, %43,1'i orta duyarlı, %2,3'ü az duyarlı, %0,001'i ise duyarsız alanlardan oluştuğu görülmektedir.

Mevcut heyelan alanlarının, üretilen heyelan duyarlılık haritasındaki yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarla olan ilişkisine bakıldığında, yüksek duyarlılık sınıfının

%62,46, orta duyarlılık sınıfının %35,2, kalan kısmın ise duyarsız, çok yüksek duyarlı ve az duyarlı sınıflarda kaldığı sonucu ortaya çıkmıştır (Şekil 9.9).

7. Bu üç senaryonun yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıflarının, heyelanlı alanlarla çakıştırılması ile senaryo 1’de %8, senaryo 2’de %70,2 senaryo 3’de %63,6 sonuçları ortaya çıkmıştır. Buna göre senaryo 2 dahilinde üretilen duyarlılık haritası, %70,2 doğruluk oranıyla en güvenilir harita olarak değerlendirilmiştir.

8. Doğruluk oranı en fazla olan Senaryo 2 ile üretilen duyarlılık haritası incelendiğinde:

- Mamuriye, Siretiye, Ümmiye, Eski Ferhadiye bölgesi yüksek ve çok yüksek duyarlı alanların; genel olarak, İncebel formasyonu içerisinde, dere yataklarına (0-100 m) ve yollara yakın (0-50 m), kuzey yönlerde ve yaklaşık eğimi 10-20°’lerde bulunduğu anlaşılmaktadır.
- Nusretiye köyü ve Sakarbiçki mahallesi bölgesi yüksek ve çok yüksek duyarlı alanların bazılarının köy yerleşik alanı içerisinde ve civarında, tarım alanları üzerinde kuzey ve güney yönlerde bulunduğu görülmektedir.
- Hamidiye köyü ve civarı yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlar genel olarak, 10-20° eğimli, güneye bakan yönlerde ve Sarısu formasyonu içerisinde meydana geldiği anlaşılmaktadır (Şekil 9.7).
- Hasaney ve Nimetiye köyü civarı yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlar genel olarak, kuzey ve güneybatı yönlerinde, 15-20° eğim aralığında, yollara 0-50 m aralığında meydana geldiği görülmektedir.

9. İnceleme alanı için CBS’de heyelan duyarlılık veri tabanı oluşturulduğundan ileride yeni veriler ile yeni ve hızlı biçimde daha güncel ve gerçekçi duyarlılık haritaları üretilerek değerlendirmeler yapılabilecektir.

10. Kütle hareketleri duyarlılık haritalarının gelecekteki arazi kullanım planlaması için bir rehber olacağı, birçok araştırmacı tarafından söylenmektedir. Her türlü yol köprü, konut projeleri vb. çalışmalar öncesi bu haritalar doğrultusunda planlar yapmak, mühendisliğinde bir gereğidir.

11. Türkiye’de heyelan oluşumlarının çok görüldüğü Üst Paleosen-Orta Eosen yaşlı kırıntılılar, ayrışmamış volkanikler ve piroklastiklerin olduğu alan içerisinde kalan inceleme alanını duyarlılık haritasının, planlamalara ve yapılacak her türlü

mühendislik projelerine altlık olarak kullanılması ekonomik açıdan da katkı sağlayacaktır.

12. Köy yerleşik alanı: Köy cami, köy konağı, okul, sağlık ocağı gibi köy ortak yapıları ile köy nüfusuna kayıtlı ve köyde sürekli oturanlar tarafından, mevzuat hükümlerine uygun olarak inşa edilmiş yapıların toplu olarak bulunduğu yerlerdeki binaların en dışta olanlarının dış kenarlarından geçirilen çizginin içinde kalan alan, köy yerleşik (meskun) alanıdır. Köy yerleşik alan sınırından itibaren 100 m. dışında kalan alan ise köy yerleşik alanı civarı olarak tanımlanır; ancak ilgili kurumlar sorumluluk alarak köy yerleşik alanı sınırlarını daha güvenli alanlara kaydırmalıdır.

13. Heyelan oluşumunda doğal sürece ek olarak insan etkisinin tetikleyici ya da süreci hızlandırıcı etkisi göz önüne alınarak bölge insanının bu konuda bilinçlendirilmesi sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Akartuna M., Armutlu Yarımadasının Jeolojisi, *İstanbul Üniversitesi Monografisi*, 1968, **20**, 1-105.

Akıncı H., Özalp A. Y., Temuçin S., Coğrafi Bilgi Sistemleri ve AHP Yöntemi Kullanılarak Planlı Alanlarda Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesi: Artvin Örneği, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 2015, **1**(1-2), 40-53.

Aktuğ B., Referans Sistemlerinin Zamansal Evrimi ve Türkiye İçin Ulusal Bir Model: TURES-96, *Harita Dergisi*, 2005, **133**, 1-26.

Aleotti P., Chowdhury R., Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspectives, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 1999, **58**(1), 21-44.

Aranof S., *Geographic Information System: A Guide to the Tecnology*, 4th ed., Champmen and Hall, New York, 1995.

Ayalew L., Yamagishi H., The Application of GIS-Based Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan, *Geomorphology*, 2005, **65**(1-2), 15-31.

Baeza C., Corominas J., Assessment of Shallow Landslide Susceptibility by Means of Multivariate Statistical Techniques, *Earth Surf. Process and Landforms*, 2001, **26**, 251-263.

Bargu S., İznik-Yenişehir Bursa-Osmaneli Alanının Jeolojisi, *İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*, 1982, **3**, 191-233.

Bill R., Fritsch D., *Geo –Informations System, Band 1, Hardware, Software and Duten*, 4th ed., Herbert Wihmen Verlag GmbH, Kalsruhe, 1991.

Carrara A., Cardinalli M., Detti R., Guzetti F., Pasqui V., Reichenbach P., GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard, *Earth Surf. Process. and Landforms*, 1991, **16**, 427-445.

Chrisman N., *Exploring Geographic Information Systems*, 2nd ed., John Wiley and Sons, New York, 2002.

Cruden D. M., A Simple Definition of a Landslide, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 1991, **43**(1), 27-29.

Cruden D. M., Varnes D. J., Landslide Types and Processes, Landslides: Investigation and Mitigation, *National Academy Press*, 1996, **247**, 36-75.

Çellek S., Sinop-Gerze Yöresinin Heyelan Duyarlılık Analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2013, 335045.

Çil E., Erdemli (Mersin) Yöresinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Heyelan Olası Tehlike Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009, 256640.

Dağ S., Çayeli (Rize) ve Çevresinin İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2007, 276444.

Das H. O., Sonmez H., Gokceoglu C., Nefeslioglu H. A., Influence of Seismic Acceleration on Landslide Susceptibility Maps: A Case Study from NE Turkey (The Kelkit Valley), *Landslides*, 2013, **10**, 433-454.

Destegül U., Armutlu Yarımadasının Potansiyel Yerleşim Alanlarının Coğrafi Bilgi Sitemi ile Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002, 129462.

Doğan B., Yuvacık (İzmit)-Sapanca (Adapazarı) Arası Bölgenin Jeolojisi ve Tektonik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 1998, 78211.

Eker A. M., Dikmen M., Cambazoğlu S., Düzgün Ş. H. S. B., Akgün H., Bartın, Ulus İlçesi İçin Yapay Sinir Ağı ve Lojistik Regresyon Yöntemlerinin Heyelan Duyarlılık Çalışmasına Uygulanması ve Karşılaştırılması, *Gazi Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2012, **27**(1) 163-173.

Emre Ö., Erkal T., Tchepalyga A., Kazancı N., Keçer M., Ünay E., Doğu Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaternerdeki Evrimi, *MTA Dergisi*, 1998, **120**, 233-258.

Robert L. W. and Candace L. J., Landslide Loss Reduction: A Guide for State and Local Government Planning, FEMA, https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1440-20490-1637/fema_182.pdf, (Ziyaret tarihi: 8 Şubat 2018).

Crosier S., Booth B., Dalton K., Mitchell A., Clark K., Getting Started with ArcGIS, Environmental Systems Research Institute (ESRI), http://downloads.esri.com/support/documentation/ao_/1003Getting_Started_with_ArcGIS.pdf (Ziyaret tarihi: 10 Mart 2018).

Ercanoğlu M., Gökçeoğlu C., Assessment of Landslide Susceptibility for a Landslide-Prone Area (North of Yenice, NW Turkey) by Fuzzy Approach, *Environmental Geology*, 2002, **41**, 720-730.

Erendil M., Göncüoğlu M. C., Tekeli O., Aksay A., Kuşçu İ., Ürgün B. M., Tunay G., Temren A., Armutlu Yarımadasının Jeolojisi, *MTA*, **9165**, 5-20, 1991.

Erener A., Kaynia M. A., İsveç'te CBS Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalaması Uygulanması, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, Trabzon, Türkiye, 30 Ekim-02 Kasım 2007.

Erguvanlı K., *Mühendislik Jeolojisi*, 5. Baskı, Seç Yayınları, İstanbul, 1994.

Fitzpatrick C., Maguire D. J., *GIS in Schools: Infrastructure, Methodology and Role*, 2nd ed., Taylor & Francis, New York, 2000.

Gökçe O., Özden S., Demir A., Türkiye’de Afetlerin Mekânsal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, https://www.afad.gov.tr/upload/Node/3491/xfiles/abep_kitap_matbaa_final_04122008_small.pdf (Ziyaret tarihi: 12 Mart 2018).

Gökçe O., Demir A., Özden Ş., Türkiye’de Heyelanlı Yerleşim Birimlerinin Dağılımı ve CBS Ortamında Sorgulanması (Afet Envanteri 1950-2005), 1. *Heyelan Sempozyumu*, Trabzon, Türkiye, 30 Kasım-2 Aralık 2006.

Gökçeoğlu C., Ercanoğlu M., Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametrelere İlişkin Belirsizlikler, *Hacettepe Yerbilimleri Dergisi*, 2001, **23**, 189-206.

Gökçeoğlu C., Sönmez H., Nefeslioğlu H. A., Duman T. Y., Can T., The 17 March 2005 Kuzulu Landslide (Sivas, Turkey) and Landslide Susceptibility Map of its Near Vicinity, *England Geology*, 2005, **81**, 65-83.

Göncüoğlu M. C., Erendil M., Tekeli O., Ürgün B. M., Aksay A., Kuşçu İ., Armutlu Yarımadası’nın Doğu Kesiminin Jeolojisi, *MTA*, **7943**, 20-50, 1986.

Göncüoğlu M. C., Erendil M., Tekeli O., Aksay A., Kuşçu İ., Ürgün B. M., Introduction to the Geology Of Armutlu Peninsula, *Maden ve Tetkik Arama*, ISGB-**92**, 26-36, 1992.

Guzzetti F., Cardinalli M., Reichenbach P., Carrara A., Comparing Landslide Maps: A Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy, *Environmental Management*, 2000, **25**(3), 247-263.

Heywood I., Cornelius S., Carver S., *An Introduction to Geographical Information Systems*, 4th ed., Longman, NewYork, 1998.

Kalkan E., Gülkan P., Yılmaz N., Çelebi M., Reassessment of Probabilistic Seismic Hazard in the Marmara Sea Region, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 2009, **99**(4), 2127–2146.

Karakaş A., İzmit Havzasının Genç Çökellerinin Deprem Esnasındaki Davranışı, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2005, 167869.

Karakaş A., Coruk Ö., Impact of Mass Movements in the Kocaeli Province, *Geology Today*, 2011, **27**(2), 70-73.

Kavzoğlu T., Şahin E. K., Çölkesen İ., CBS Tabanlı Çok Kriterli Karar Analizi Yöntemiyle Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi: Trabzon İli Örneği, *Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, Kocaeli, 12-15 Kasım 2010.

Kavzoğlu T., Çölkesen İ., Şahin E. K., Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesinde Kullanılan Faktörlerin Etkilerinin Araştırılması: Düzköy Örneği, *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, Zonguldak, 16-19 Ekim 2012.

Kaya O., Kozur H., A New and Different Jurassic to Early Cretaceous Sedimentary Assemblage in Northwestern Turkey (Gemlik-Bursa): Implications for the Pre-Jurassic to Early Cretaceous Tectonic Evolution, *Yerbilimleri Dergisi*, 1987, **14**, 253-268.

Kaymaz Ç. K., Camili (Macahel)'nin Coğrafi Etüdü (Artvin-Borçka), Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum, 2012, 328756.

Karayolları Genel Müdürlüğü, Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu, KGM, <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Baskanliklar/BaskanliklarTeknikArastirma/Yeni%20Klas%C3%B6r/Yay%C4%B1mlar/HeyelanTan%C4%B1mlamaK%C4%B1lavuzu.pdf> (Ziyaret tarihi: 30 Ocak 2017).

Klimes J., Escobar V. R., A Landslide Susceptibility Assessment in Urban Areas Based on Existing Data: An Example from the Iguana Valley, Medellin City, Colombia, *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 2010, **10**, 2067-2079.

Koukis G., Ziourkas C., Slope Instability Phenomena in Greece: A Statistical Analysis, *Bulletin of International Association of Engineering Geologists*, 1991, **43**, 105-112.

Lee S., Min K., Statistical Analysis Of Landslide Susceptibility at Yongin, Korea, *Environmental Geology*, 2001, **40**, 1095-1113

Lee S., Pradhan B., Landslide Hazard Mapping at Selangor, Malaysia Using Frequency Ratio and Logistic Regression Models, *Landslides*, 2007, **4**(1), 33-41.

Maguire D. J., Goodchild M. F., Rhind D. W., An Overview and Definition of GIS, Editors; Maguire D. J., *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, 2nd ed., Longman Scientific and Technical, New York, 319-335, 1993.

Munack A., Geographical Information Systems, Editors; Shariff M., Rashid A., *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*, 6th ed., American Society of Agricultural Engineers, Michigan, 448-458, 2006.

Nagarajan R., Roy A. V., Kumar R., Mukherjee A., Khire M., Landslide Hazard Susceptibility Mapping Based on Terrain and Climatic Factors for Tropical Monsoon Regions, *Bulletin of Engineering Geology And The Environment*, 2000, **58**, 275-287.

Nefeslioglu H. A., Gokceoglu C., Sonmez H., An Assessment on the Use of Logistic Regression and Artificial Neural Networks with Different Sampling Strategies for the Preparation of Landslide Susceptibility Maps, *Engineering Geology*, 2008, **97**, 171-191.

Önder F., Göncüoğlu M. C., Armutlu Yarımadasında (Batı Pontidler) Üst Triyas Konodontları, *MTA Dergisi*, 1989, **109**, 147 – 152.

Özalaybey S., Zor E., Tapırdamaz M. C., Tarancıoğlu A., Ç., Erkan B., Karaaslan A., Alpaslan E., Ergin M., Ergintav S., Tan E., Kocaeli İli için Zemin Sınıflaması ve Sismik Tehlike Değerlendirme Projesi, *Uluslararası Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 22-27 Ekim 2007.

Özkan M., Armutlu Yarımadası Doğusunda Yer Alan Ofiyolitik, Metamorfik ve Sokulum Kayaçlarının Birlikteliği ve Kökeni, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2013, 342530.

Özşahin E., Kaymaz Ç. K., Camili (Macahel) Biyosfer Rezerv Alanının (Artvin, Kd Türkiye) Heyelan Duyarlılık Analizi, *International Periodical for the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic*, 2013, **8**(3), 471-493.

Öztürk K., Heyelanlar ve Türkiye'ye Etkileri, *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 2002, **22**(2), 35-50.

URL-1: <http://pages.geo.wvu.edu/~wilson/geol1/lec20/lec204.htm> (Ziyaret tarihi: 14 Temmuz 2018).

Pachauri A. K., Gupta P. V., Chander R., Landslide Zoning in a Part of the Garhwal Himalayas, *Environmental Geology*, 1998, **36**(3-4), 325-334.

Parker H. D., The Unique Qualities of Geographic Information System: A Commentary. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1988, **54**(11), 1547-1549.

Pektezel H., Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Analitik Hiyerarşi Sistemine (AHS) Göre Gelibolu Yarımadası'nın Deprem Duyarlılık Analizi, *International Journal Of Social Science*, DOI: 10.9761/Jasss2911.

Pradhan B., Remote Sensing and GIS-Based Landslide Hazard Analysis and Crossvalidation Using Multivariate Logistic Regression Model On Three Test Areas in Malaysia, *Advances in Space Research*, 2010, **45**, 1244-1256.

Robertson A. H. F., Ustaömer T., Tectonic Evolution of Intra-Pontide Suture in the Armutlu Peninsula, NW Turkey, *Tectonophysics*, 2004, **381**, 175-209.

Sakınç M., Bargu S., İznik Körfezi-İznik Gölü Arasında Kalan Bölgenin Jeolojisi ve Yapısal Özellikleri, *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, 1989, **6**, 45-76.

Soeters R., Van Westen C., Slope Stability: Recognition, Analysis and Zonation, *National Academy Press*, 1996, **213**(8), 129-177.

Şengör A. M. C., Tüysüz O., İmren C., Sakınç M., Eyidoğan H., Görür N., Le Pichon X., Rangin C., The North Anatolian Fault: A New Look, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2005, **33**, 37-112.

Turoğlu H., *Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Esasları*, 4. Baskı, Acar Matbaacılık, İstanbul, 2000.

Highland L., Johnson M., Landslide Types and Processes Report, USGS, <http://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf> (Ziyaret tarihi: 10 Mart 2018).

Vahidnia M. H., Alesheikh A. A., Alimohammadi A., Hosseinali F., Landslide Hazard Zonation Using Quantitative Methods in GIS, *International Journal of Civil Engineering*, 2009, 7, 176-189.

Van Westen C. J., *Application of Geographic Information Systems to Landslide Hazard Zonation*, 2nd ed., ITC Publication, Enschede, 1993.

Van Westen C. J., Rengers N., Terlien M. T. J., Prediction of the Occurrence of Slope Instability Phenomena Through GIS-Based Hazard Zonation, *Geological Rundsch*, 1997, 86, 404-414.

Varnes D. J., Slope Movement Types and Processes, Editors; Schuster R. L., Krizek R. J., *Landslides: Analysis and Control*, 1st ed., Transportation Research Board, Washington, 11-33, 1978.

Yalçın A., Bulut F., Landslide Susceptibility Mapping Using GIS and Digital Photogrammetric Techniques: A Case Study from Ardeşen (NE-Turkey), *Natural Hazards*, 2007, 41, 201-226.

Yalçın A., GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of Results and Confirmations, *Catena*, 2008, 72, 1-12.

Yalçın A., Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin ve CBS'nin Kullanımı, *Sakarya Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2007, 23, 3.

Yaltırak C., Marmara Bölgesi'nin Tarihsel Depremleri, *IV. İstanbul'un Jeolojisi Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 03-08 Kasım 2010.

Yılmaz I., The Effect of the Sampling Strategies on the Landslide Susceptibility Mapping By Conditional Probability And Artificial Neural Networks, *Environmental Earth Science*, 2009, 60, 505-519.

Yılmaz Y., Genç Ş. C., Yiğitbaş E., Bozcu M., Yılmaz K., Kuzeybatı Anadolu'da Geç Kretase Yaşlı Kıta Kenarının Jeolojik Evrimi, *X. Petrol Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 11-15 Nisan 1994.

Yiğitbaş E., Elmas A., Yılmaz Y., Pre Cenozoic Tectonostratigraphic Components of Western Pontides and Their Geological Evolution, *Geological Journal*, 1999, 34, 55-74.

Yomralıoğlu T., *Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar*, 5. Baskı, Güven Kitap Yayın Dağıtım, İstanbul, 2009.

Zengince M., Karakaş A., Gölcük (Kocaeli) Güney Köyleri; Heyelan Tehlikesinin Değerlendirilmesi, *Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16)*, Karabük, Türkiye, 02-03 Mart 2016.

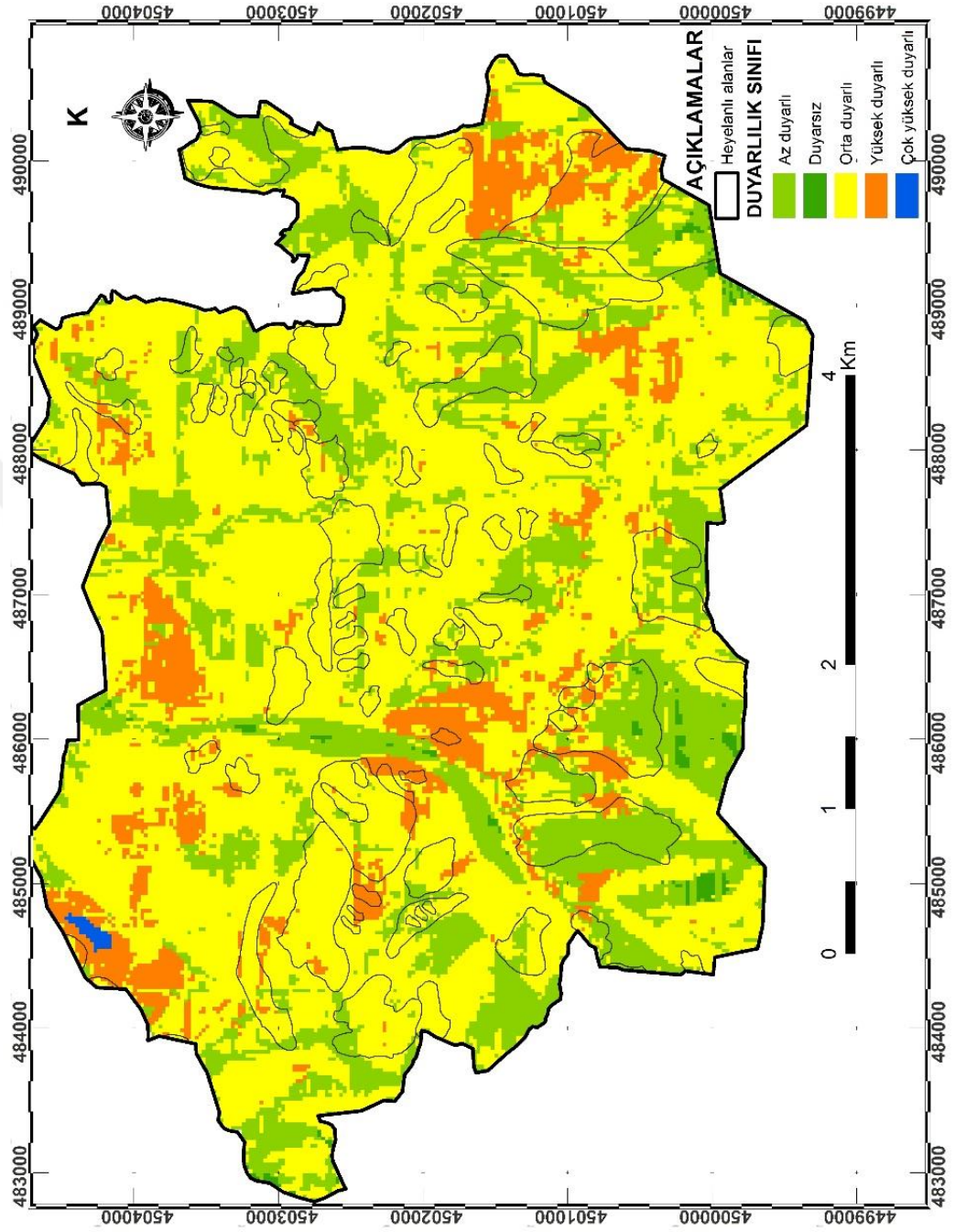
Zengince M., Karakaş A., Kocaeli Gölçük'te Oluşan Heyelanların Nedenleri, Etkileri ve Alınan Önlemler, *Kocaeli Üniversitesi Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 2018, **17**, 39-54.



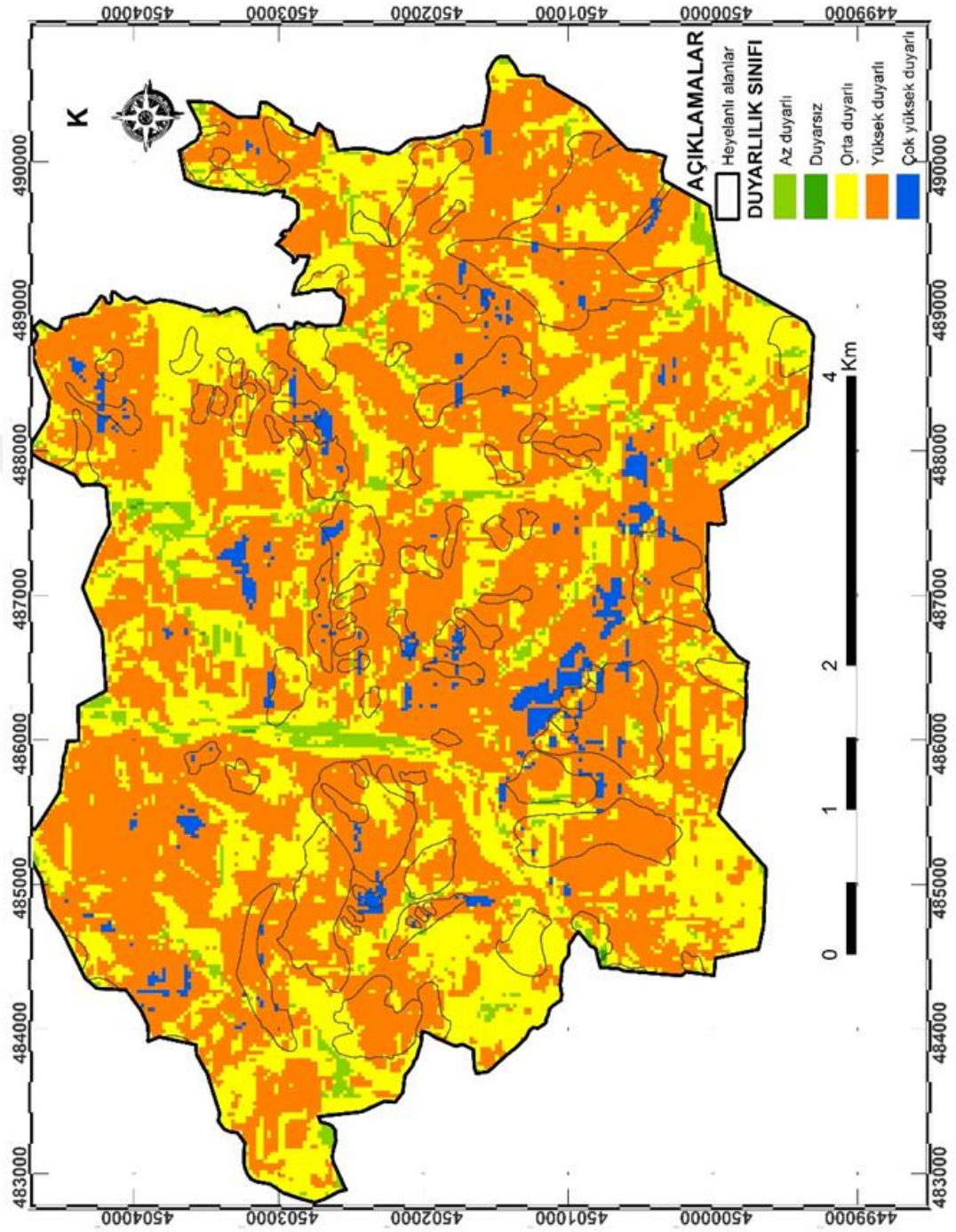


EKLER

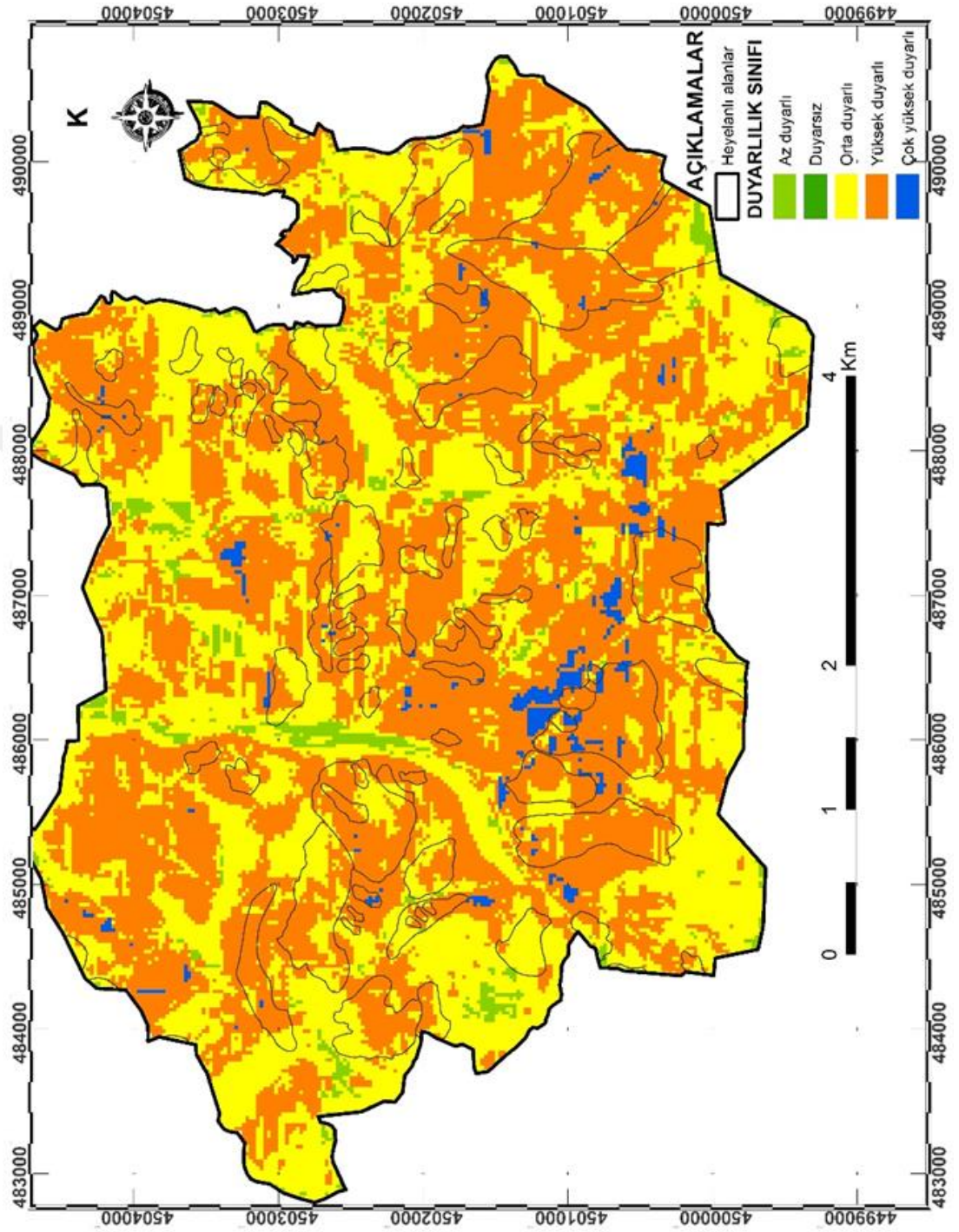
Ek- A



Şekil A.1. Senaryo 1 dahilinde üretilen heyelan duyarlılık haritası



Şekil B.1. Senaryo 2 dahilinde üretilen heyelan duyarlılık haritası



Şekil C.1. Senaryo 3 dahilinde üretilen heyelan duyarlılık haritası

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

Zengince M., Karakaş A., Gölcük (Kocaeli) Güney Köyleri; Heyelan Tehlikesinin Değerlendirilmesi, *Doğal Afet ve Afet Yönetimi Sempozyumu (DAAYS'16)*, Karabük, Türkiye, 2-4 Mart 2016.

Zengince M., Karakaş A., Kocaeli Gölcük'te Oluşan Heyelanların Nedenleri, Etkileri ve Alınan Önlemler, *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 2018, **17**, 39-54.



ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Ordu'nun Kumru ilçesinde doğdu. İlköğretimi Kumru ilçesinde, lise eğitimini Fatsa ilçesinde tamamladı. 2002 yılında Kocaeli Üniversitesini Jeoloji Mühendisliği'ni kazandı. 2007 yılında Kocaeli Üniversitesi'nden mezun oldu ve Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nde işe başladı. İki dönem Kocaeli Jeoloji Mühendisleri Odası Yönetim Kurulu'nda görev aldı. Evli ve iki çocuk babasıdır. Halen Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, Zemin ve Deprem İnceleme Şube Müdürlüğü'nde Kontrol Mühendisi ve Deprem Eğitim Uzmanı olarak görevini sürdürmektedir.

