T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ İLE YAKA (GELENDOST, ISPARTA) BÖLGESİNİN HEYELAN DUYARLILIK İNCELEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet DELİKANLI

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KONYA 2010

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ İLE YAKA (GELENDOST, ISPARTA) BÖLGESİNİN HEYELAN DUYARLILIK İNCELEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet DELİKANLI

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KONYA 2010

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ İLE YAKA (GELENDOST, ISPARTA) BÖLGESİNİN HEYELAN DUYARLILIK İNCELEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet DELİKANLI

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KONYA 2010

Bu tez 10.02.2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç.Dr. Adnan ÖZDEMİR	Doç.Dr. Yaşar EREN	Yrd.Doç.Dr. İhsan ÖZKAN
Danışman	Üye	Üye

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ İLE YAKA (GELENDOST, ISPARTA) BÖLGESİNİN HEYELAN DUYARLILIK İNCELEMESİ

Mehmet DELİKANLI
Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman:.Doç.Dr.Adnan ÖZDEMİR
Yıl: 2010, Sayfa: 110

Jüri: Doç.Dr. Adnan ÖZDEMİR
Dç.Dr. Yaşar EREN
Yrd.Dç.Dr. İhsan ÖZKAN

Bu çalışmada coğrafi bilgi sistemleri eşliğinde lojistik regresyon yöntemi ile Yaka çevresinin (Gelendost, Isparta) heyelan duyarlılık değerlendirmesi yapılmıştır. Analizde kullanılan veriler topografik haritadan ve arazi çalışmalarından elde edilmiştir. İnceleme alanının yamaç açısı, yamaç eğim yönü ve yükseklik verileri GIS temelinde oluşturulan sayısal yükseklik modelinden elde edilmiştir. Jeoloji ve arazi kullanım haritaları ise arazi çalışmalarıyla hazırlanmıştır. Heyelan oluşumunda etkili olan beş önemli faktör seçilerek bunların tematik haritaları coğrafi bilgi sistemleri ile hazırlanmıştır. Heyelan duyarlılık haritası seçilen litoloji, yamaç açısı, yamaç eğim yönü, yükseklik ile arazi kullanım haritalarına göre lojistik regresyon yöntemi ile hazırlanmıştır. Lojistik regresyon yöntemi ArcGIS 9.1 yazılımı ve ArcSDM modülüyle yapılmıştır. Hazırlanan heyelan duyarlılık haritası düşük, orta ve yüksek heyelan duyarlılığı olmak üzere 3 kategori altında sınıflanmıştır. Killi, kireçtaşı ve marnlardan oluşan Göksöğüt formasyonunun yüzeylendiği, 1200 m-1400 m yükseklik aralığında 40-45 derece eğimli ve eğim yönü 315-45 derece

arasındaki yamaçlarda heyelan duyarlılığının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak yörenin heyelan duyarlılık haritası oluşturularak planlayıcı ve olası heyelan tehlikesini azaltıcı çalışmalar için veri tabanı oluşturulmuştur.

Anahtar kelimeler: Coğrafi bilgi sistemleri, heyelan duyarlılığı, lojistik regresyon, yaka heyelanı

ABSTRACT

Msc. Thesis

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT of VICINITY OF YAKA (GELENDOST ISPARTA) USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

Mehmet DELİKANLI

Department Of Geological Engıneering Institute Of Natural And Applied Sciences
University Of Selçuk

Year: 2010, Page: 110
Jury
Supperviser: Assoc. Dç.Dr. Adnan ÖZDEMİR
Assoc. Dç.Dr. Yaşar EREN
Assoc. Yrd.Dç.Dr. İhsan ÖZKAN

In this study, landslide susceptibility assessments in the Yaka (Gelendost, Isparta) were carried out using geographical information systems and logistic regression analysis. The input data were collected from the topographic map and field surveys. The slope angle, slope aspect and elevation of the area in this study were generated using a GIS-based digital elevation model (DEM). Geology and land map were prepared with field surveys. Five important causative factors for landslides were selected and also corresponding thematic data layers were prepared in GIS. The landslide susceptibility map was formulated by designating the relationship of the effecting factors that cause landslides such as lithology, gradient, slope aspect, elevation and land useing to the landslide map, as determined by analysis of the terrain, through the implementation of the logistic regression method. Logistic regression method has been implemented by means of the ArcGIS 9.1 software and the ArcSDM extension. The landslide susceptibility map classifies the area into three

classes of landslide susceptible zones i.e., high, moderate and very low. It was determined that the surface area of the Goksogut formation, which has attained lithological characteristics of clayey limestone with a broken and separated base, and where area landslides occur, possesses an elevation of 1200–1400 m, a slope gradient of 40–45^0 and a slope aspect between 315-45^0. As a consequence, the landslide susceptibility map produced herein is considered a valuable tool for reducing the landslide hazard and for the planning purposes.

Keywords: Geographical information systems, landslide susceptibility, logistic regression, Yaka landslide

TEŞEKKÜR

Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yapmış olduğum yüksek lisans çalışmamın tez konusunun belirlenmesini sağlayan, çalışmalarım süresince beni yönlendirerek destekleyen ve tezin her aşamasında yapıcı eleştirileriyle katkı sağlayan danışman hocam sayın Doç.Dr. Adnan ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER **Sayfa**

ÖZ..... i

ABSTRACT..... iii

TEŞEKKÜR..... v

İÇİNDEKİLER DİZİNİ..... vi

ŞEKİLLER DİZİNİ..... viii

ÇİZELGELER DİZİNİ..... xi

SİMGELER..... xii

1. GİRİŞ 1

1.1. İnceleme Alanı 6

1.2. Morfoloji 7

1.3. İklim ve Bitki Örtüsü 9

1.4. Ekonomik Durum 9

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR..... 11

2.1. Jeoloji ve Hidrojeoloji Çalışmaları 11

2.2. Heyelan Duyarlılığı Konusunda Yapılan Çalışmalar 18

3. MATERYAL ve YÖNTEM 23

3.1. Materyal 23

3.1.1.Çalışma alanının sayısal yükseklik modelinin (DEM) oluşturulması 23

3.1.2. Jeomorfoloji 25

3.1.3. Jeoloji 27

3.1.3.1. Anamas formasyonu (KTa) 30

3.1.3.2. Göksöğüt formasyonu (Tg) 31

3.1.3.3. Alüvyon ve yamaç molozu (Qal ve Qym)..... 34

3.1.4. Yaka çevresinin sismisitesi 34

3.1.5. Hidrometeorolojik veriler 36

3.2. Yöntem 38

3.2.1. Lojistik regresyon ve yöntemi 39

3.2.1.1. Lojistik regresyon analizi 40

3.2.1.2. Verilere LRA modelinin uydurulması ……. 42
3.2.1.3. Uydurulan LRA modelin yorumlanması …….. 43
3.2.2. Olabilirlik ağırlığı yöntemi (Weighyt of evidence) …….. 44
4 ARAŞTIRMA BULGULARI…….. 47
4.1 Heyelan Duyarlılık İncelenmesinde Kullanılan Veriler ……... 47
4.1.1 Heyelan haritasının yapılması …….. 48
4.1.2. Arazi kullanım haritası …… 51
4.1.3. Yamaç eğim haritası …… 51
4.1.4.Yamaç yönelimi (bakı) haritası …… 55
4.1.5.Yükseklik haritası ……. 57
4.1.6. Jeoloji haritası ……. 59
4.1.7. Yamaç profili eğriliği haritası ……. 60
4.1.8. Sediman taşıma kapasitesi indisi haritası …… 63
4.1.9. Rölatif akarsu gücü indisi haritası (SPI) …… 66
4.1.10 Topografik nem indisi haritası ……... 68
4.1.11. Akış yolu uzunluğu haritası …….. 70
4.2. Lojistik Regresyon ve Olabilirlik Ağırlık Yöntemlerinin Uygulanması …….. 72
5.HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ …….. 83
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ……... 96
KAYNAKLAR …… 98
ÖZGEÇMİŞ …….. 110

ŞEKİLLER DİZİNİ **Sayfa**

Şekil 1.1, Çalışma alanı yer bulduru haritası…….. 6

Şekil 1.2, İnceleme alanının kuzeyden güneye doğru panoramik fotoğrafı……. 8

Şekil 3.1, Şekil 3.1, Yaka çevresinin Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) haritası……... 24

Şekil 3.2, Yaka çevresinin kabartmalı topografik yapısı……. 26

Şekil 3.3, Çalışma alanının stratigrafik dikme kesiti …….. 27

Şekil 3.4, Yaka çevresinin jeoloji haritası…….. 28

Şekil 3.5, Çalışma alanı A-A' enine kesiti……... 29

Şekil 3.6, Çalışma alanı B-B' enine kesiti…… 29

Şekil 3.7, Sırataş mevkisinde mostra veren Anamas formasyonu……... 30

Şekil 3.8, Alaardıç Tepesinde mostra veren Göksöğüt formasyonunun güneye eğimli tabakalı yapısı…… 32

Şekil 3.9, Göksöğüt formasyonu killi kireçtaşı ve marnları…… 33

Şekil 3.10, Yaka ve çevresinin sismotektonik haritası……. 35

Şekil 3.11, Yalvaç ve Gelendost meteorolji istasyonları yağış değerleri…. 36

Şekil 3.12, Meteoroloji istasyonlarının aylara göre yağış değerleri……. 37

Şekil 3.13, Aylara göre kümülatif yağış değerleri……... 38

Şekil 4.1, Yaka güneyinde oluşan eski heyelanlardan dolayı arazinin basamaklı yapı özelliği kazanması ……... 48

Şekil 4.2, Yaka heyelanı taç noktası gerisinde oluşan çekme çatlakları …. 49

Şekil 4.3, Yaka heyelanı sonrasında oluşan çamur akıntısının Eğlence deresi içerisinde akması …… 49

Şekil 4.4, Eğlence deresi boyunca çamur akması ve çökelme alanı…… 50

Şekil 4.5, Jeoloji haritasında üzerinde eski heyelan alanları……... 52

Şekil 4.6, Arazi kullanım haritası ve heyelanlar…….. 53

Şekil 4.7, Arazi kullanım sınıflarının alansal dağılımı……. 54
Şekil 4.8, İnceleme alanı eğim haritası……... 54
Şekil 4.9, Yamaç eğimlerinin alansal dağılımı…… 55
Şekil 4.10, Yamaç yönelimi haritası …….. 56
Şekil 4.11, Yamaç yönelimlerinin alansal dağılımı……. 57
Şekil 4.12, İnceleme alanında yüksekliğin alansal dağılımı……... 57
Şekil 4.13, Yükseklik sınıfı haritası …… 58
Şekil 4.14, İnceleme alanı jeoloji haritasının heyelan analizinde kullanılan sınıfları…….. 59
Şekil 4.15, Litolojik birimlerin alansal dağılımı…….. 60
Şekil 4.16, Yamaç plan (a), profil (b) ve tanjansiyel (c) eğriliği indeksi haritaları……. 62
Şekil 4.17, İncelenen alanda yamaç profili eğriliği sınıflarının dağılımı…. 63
Şekil 4.18, Sediman taşıma kapasitesi indisi grafiği…… 64
Şekil 4.19, Sediman taşıma kapasitesi indisi haritası……... 65
Şekil 4.20, Rölatif akarsu gücü indisi değerleri grafiği……... 66
Şekil 4.21, Rölatif Akarsu Gücü indisi Haritası (SPI) 67
Şekil 4.22, İnceleme alanının topografik nem indisi haritası……... 69
Şekil 4.23, Topografik nem indisi değerlerinin inceleme alanında dağılımı ……. 70
Şekil 4.24, Akış yolu uzunluğu haritası……... 71
Şekil 4.25, Akış yolu uzunluğunun dağılımı …….. 72
Şekil 4.26, Lojistik regresyon yöntemi ile belirlenen heyelan duyarlılık haritası…….. 81
Şekil 4.27, Olabilirlik ağırlığı yöntemi ile belirlenen heyelan duyarlılık haritası ……. 82
Şekil 5.1, Lojistik regresyon analizi ile belirlenen olasılık-% toplam alan grafiği……. 85
Şekil 5.2, Olabilirlik ağırlığı yöntemi ile belirlenen olasılık-% toplam alan grafiği……. 85
Şekil 5.3, LRA ile üretilen haritada yamaç açısı-duyarlılık ilişkisi……. 89
Şekil 5.4, LRA ile üretilen haritada yamaç açısı – alan ilişkisi ……. 89
Şekil 5.5, LRA ile üretilen haritada yamaç açısı – heyelanlı alan hücre

sayısı ilişkisi…….. 89

Şekil 5.6, LRA ile üretilen haritada arazi kullanımı - duyarlılık ilişkisi…. 90

Şekil 5.7, LRA ile üretilen haritada arazi kullanımı – alan % ilişkisi……. 90

Şekil 5.8, LRA ile üretilen haritada arazi kullanım sınıflarına göre heyelan hücre sayısi……... 90

Şekil 5.9, LRA ile üretilen haritada yamaç yönelim açısı – heyelan duyarlılık değişimi……. 92

Şekil 5.10, Yamaç yönelim sınıfları içindeki alan % değerleri……... 92

Şekil 5.11, LRA ile üretilen haritada yamaç yönelim sınıfları içindeki heyelan hücre sayısı……... 92

Şekil 5.12, LRA ile üretilen haritada jeolojik birimlerle heyelan duyarlılık değişimi……. 93

Şekil 5.13, Jeolojik birim sınıflar içindeki alan % değerleri……... 93

Şekil 5.14, LRA ile üretilen haritada jelojik birim sınıfları içinde heyelan hücre sayısı…… 93

Şekil 5.15, LRA ile üretilen haritada yükseklik sınıflarına göre duyarlılık. Değişimi…… 94

Şekil 5.16, Yükseklik sınıflarına göre Alan % değerlerinin değişimi…….. 94

Şekil 5.17, LRA ile üretilen haritada yükseklik –heyelanlı hücre sayısı ilişkisi…… 94

Şekil 5.18, Bu çalışma kapsamında üretilen heyelan duyarlılık haritaları (a,b) ile Özdemir (2009) tarafından üretilen heyelan duyarlılık haritası (c)……... 95

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1, Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan yöntemler …….. 19

Çizelge 4.1, Arazi kullanımı sınıflarına göre hesaplanan değerler…….. 74

Çizelge 4.2, Yamaç eğimi sınıflarına göre hesaplanan değerler…….. 74

Çizelge 4.3, Yamaç yönelimi sınıflarına göre hesaplanan değerler……... 74

Çizelge 4.4, Yükseklik sınıflarına göre hesaplanan değerler ……..…… 75

Çizelge 4.5, Ayırtlanan jeolojik birim sınıflarına göre hesaplanan değerler…….. 75

Çizelge 4.6, Profil eğriliği sınıflarına göre hesaplanan değerler…….. 75

Çizelge 4.7, Plan eğriliği sınıflarına göre hesaplanan değerler…… 76

Çizelge 4.8 Yamaç tanjansiyel eğrilik sınıflarına göre hesaplanan değerler ……. 76

Çizelge 4.9, Sediman taşıma kapasitesi indisi sınıflarına göre hesaplanan değerler…….. 76

Çizelge 4.10, Akarsu aşındırma gücü indisi sınıflarına göre hesaplanan değerler…….. 76

Çizelge 4.11, Topografik nem indisi sınıflarına göre hesaplanan değerler.. 77

Çizelge 4.12, Akış yolu uzunluğu sınıflarına göre hesaplanan değerler….. 77

Çizelge 4.13, Lojistik regresyon analizi sonunda belirlenen katsayılar ….. 78

Çizelge 4.14, Üretilen haritalar üzerindeki bir noktanın heyelan duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan katsayılar ve değerler... 79

Çizelge 5.1, Yamaç açısı - heyelan duyarlılığı ilişkisi……. 86

Çizelge 5.2, Arazi kullanımı - heyelan duyarlılığı ilişkisi…….. 86

Çizelge 5.3, Yamaç yönelim açısı - heyelan duyarlılığı ilişkisi…….. 87

Çizelge 5.4, Jeoloji birimleri - heyelan duyarlılığı ilişkisi…….. 87

Çizelge 5.5, Yükseklik - heyelan duyarlılığı ilişkisi…… 87

SİMGELER

$\mathbf{A_f}$: Alan

$\mathbf{A_s}$: Özgül toplama alanı

$\mathbf{A_t}$: Toplam alan

C : Kontrast

e : 2.718

L : Cevap fonksiyonu

$\mathbf{L_s}$: Sediman taşıma kapasitesi indisi

m : Katsayı

$\mathbf{O, O'_v, O_v}$: Odds oranı

p : Bağımsız değişken sayısı

P : Olasılık

$\mathbf{P_f}$: Pirior olasılık

$\mathbf{P_v}$: Belirli bir faktörün alanının toplam alana oranı

SPI : Rölatif akarsu gücü indisi

T : Trasmisivite

$\mathbf{T_v}$: Belirli bir faktörün alanı

$\mathbf{T^v}$: Belirli bir faktörün dışındaki alan

$\mathbf{W^-}$: n sınıf içindeki j'inci parametrenin olamamasını gösteren pozitif ağırlığı

$\mathbf{W^+}$: n sınıf içindeki j'inci parametrenin olabilirliğini gösteren pozitif ağırlığı

$\mathbf{W_t}$:Topografik nem indisi

X : Bağımsız değişken

Y : Bağımlı değişken

α : Sabit katsayı

β : Katsayı, yamaç eğimi

ε : Hata terimi

Π : Çarpım

Σ : Toplam

∩ : Kesişim

1. GİRİŞ

Yer yüzeyi gerek doğal olaylardan gerekse mühendislik faaliyetlerinden dolayı sürekli bir değişim halindedir. Kütle hareketleri, bu faaliyetler sonucunda bozulan dengenin tamamen veya kısmen yeniden tesis oluncaya kadar meydana gelen ve çoğunlukla büyük miktarlarda malzeme (kütle) hareketine sebep olan olaylardır. Kontrol edilemeyen kütle hareketleri can ve mal kayıpları meydana gelebilmektedir. Kütle hareketlerinin oluşumunda arazinin jeoloji özellikleri, jeomorfolojisi, arazi eğimi, değişik kökenli titreşimler, iklim koşulları, bitki örtüsü ve ayrışma etkili olmaktadır (Özdemir 2008). Kayacın litolojisi, süreksizlikleri, kütle üzerinde oluşan ek yükler, yapılan kazılar ve suni titreşimler kütle hareketlerinin oluşmasında oldukça önemli yer tutmaktadır. Kütle hareketi doğal yamaçlarda, teknik bir faaliyet sonucunda oluşturulmuş eğimli yüzeylerde (şevlerde) oluşabildiği gibi yeraltında oluşturulmuş veya oluşmuş boşluklara bağlı olarak da meydana gelebilmektedir. Bu tür hareketler karalarda oluşabildiği gibi denizlerde ve okyanuslarda da oluşabilmektedir. Kısacası doğal yamaçta, açık işletme şevinde, pasa yığınında, temel kazısında, otoyol yarması ve/veya dolgusu ile dolgu baraj gövdesi gibi burada sayılamayacak kadar fazla birçok yerde ve durumda meydana gelebilmektedir. Kütle hareketleri yerleşim alanlarına, rezervuar alanlarına, ulaşım yapılarına, maden işletme sahalarına ve tarıma uygun alanlara zarar verebilmektedir.

Genelde bir kütle hareketi olan heyelan kavramı oldukça geniş olup, toprak, moloz veya kayanın gravite etkisi altında yamaç aşağı hareket etmesine denilmektedir (Nemčok ve ark., 1972; Varnes 1978; Hutchinson 1988; WP/WLI 1990; Cruden 1991; Cruden ve Varnes 1996). Heyelanlarda akma, kayma, devrilme veya düşme v.b gibi hareketler çoğunlukla bir veya birkaçı bir arada oluşabilmektedir (Varnes 1978; Crozier 1986; Hutchinson 1988; Cruden ve Varnes 1996; Dikau ve ark. 1996).

Heyelanlar doğal jeolojik olaylar olup, farklı zararlara ve çevresel değişimlere neden olmaktadır (Glade 1997). Heyelanlar her yıl dünyanın farklı bölgelerinde milyarlarca dolar zarara ve can-mal kayıplarına neden olmaktadır (Gorsevski ve ark. 2000). Gelişmekte olan ülkelerde gelirin %0.5 heyelanlarda kaybolmaktadır (Chung ve ark. 1995). Türkiye de doğal afetlerden depremler, taşkınlar ve heyelanlar ençok zarar veren afetler arasında gelmektedir. Türkiye'de 1959-1994 yılları arasında

heyelanlardan dolayı 76995 yapı zarar görmüş veya yıkılmıştır (Ildir 1995), Buna ilave olarak tarım alanları ile birçok yolun zarar görmesine de neden olmuştur (Duman ve ark. 2005). Şev-yamaç duyarlılığı ve heyelanlar ile tehlikeleri üzerine yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Sidle ve ark. 1985, 1992; Dietrich ve ark. 1986, Montgomery ve Dietrich 1988, 1989, 1994; Carrara ve ark, 1995; Dietrich ve ark. 1992, 1993, Pack 1995; Akgün ve Bulut 2006, Gökceoğlu ve ark. 2005). Son yıllarda heyelan ve heyelan duyarlılığı ile tehlikesinin belirlenmesi üzerine yapılmış çok sayıda çalışma yayınlanmıştır (Duman ve ark. 2005; Ulusay ve ark. 2006; Gökceoğlu ve ark. 2005; Teoman ve ark. 2004; Dunning ve ark. 2006; Ayenew ve Barbieri 2005; Mathew ve ark. 2007; Akgün ve Bulut 2006; Gupta ve Joshi 1990; Pachauri ve Pant 1992; Maharaj 1993; Anbalagan ve Singh 1996; Gökceoğlu ve Aksoy 1996; Turrini ve Visintainer 1998; Pachauri ve ark. 1998; Wachal ve Hudak 2000; Donati ve Turrini 2002; Carrara ve ark. 1991 a,b; Jade ve Sarkar 1993; Atkinson ve Massaari 1998; Fernandez ve ark. 1999; Guzzetti ve ark. 1999; Baeza ve Corominas 2001; Lee ve Min 2001; Pistocchi ve ark. 2002; Ercanoğlu ve ark. 2004; Süzen ve Doyuran 2004a; Ayalew ve Yamagishi 2004, Gritzner ve ark. 2001; Clerci ve ark. 2002; Ercanoğlu ve Gökceoğlu 2004).

Kütle hareketleri, esas alınan kriterlere göre çok farklı şekillerde sınıflanabilmektedir. Kütle hareketleri kayma hareketinin mekanizması, kayma hareketinin hızı, kayma yüzeyinin şekli, geometrisi ile kayan malzemenin tane boyu, örselenme derecesi ve yaşı gibi değişik bakış açılarına göre sınıflanabilmektedir. Kütle hareketlerinin asıl nedeni çok genel bir yaklaşımla yerçekimidir. Ancak, olayı kolaylaştıran ve çabuklaştıran iç ve dış nedenler vardır. Bunlar dış nedenler ve iç nedenler olarak sınıflanabilmektedir. Dış nedenler arasında şev ve yamaç eteklerinde yapılan kazılar, şev ve yamaç topuklarının su tarafından oyulması, aşınma ile şev eğiminin artması, şevin ve şev üst örtüsünün kaldırılması, ağaçların kesilmesi ve bitkilerin koparılması, yüzey sularının sızmasının kolaylaştırılması, çatlak veya fissurlarda suların iklime bağlı olarak donması, depremler, suni olarak yapılan patlatmalar sayılabilir. İç nedenler arasında ise boşluk suyu basıncının artması, şev malzemesinde içsel sürtünme açısı ile kohezyonun azalması sayılabilir. Kısacası arazinin eğiminin çok farklı yollarla değişmesi genelde artması, şiddetli ve/veya uzun sürekli yağış, depremler, hızlı kar erimeleri, beşeri faaliyetler kütle hareketlerini

tetikleyebilmektedir. Ayrıca kütle hareketleri jeolojik, morfolojik, fiziksel ve suni faaliyetler olarak da sınıflanmaktadır. Jeolojik nedenler arasında, zayıf plastik malzeme, hassas malzeme, göçebilen malzeme, bozunmuş malzeme, kesilmiş, kırıklı, çatlaklı, fissurlu malzeme, olumsuz yönde süreksizliklerle ayrılmış malzeme, permeabilitedeki zıtlık, sıkılıktaki zıtlıktır sayılmaktadır. Morfolojik nedenler arasında ise tektonik veya volkanik yükselme (şevde dikleşme), erime, yıkanma, borulanma gibi iç erozyon, şev topuğunda erozyon, şev veya şev üstünün morfolojik olarak yüklenmesi, bitki örtüsünün kalkması (yangın, kuraklık vb.), fiziksel nedenler arasında ise aşırı yağış, eriyebilen bağlayıcı maddelerin yıkanması (ince tanelerin yıkanması), hızlı kar-buz erimesi (hidrostatik basınç artışı), uzun süreli yağış (tanelerin üzerinde basınç artışı) , su seviyesinde ani düşüş, deprem, erime, donma-çözülme ve şişme-büzülme, suni nedenler arasında ise şev topuğunda kazı, şevin veya şev üstünün yüklenmesi, su seviyesinin düşürülmesi, bitki örtüsünün kaldırılması, sulama, yeraltı kazıları, yapay titreşim (trafik, kazık çakma, patlatma vb.), tesisat, kanalizasyon, havuz vb. yapılardan su sızıntısıdır.

Ani olarak oluşan heyelanlar olmasına rayanında genelde heyelanların oluşacakları yerler, hangi şartlarda oluşacağı ve ne büyüklükte ne yönde ve ne hızda oluşacağı gibi hareketin öncesi ile ilgili bilgiler çoğunlukla belirli bir hata ile kestirilebilmektedir. Bundan dolayı çok daha büyük alanları etkileyen ve büyük afetlere sebebiyet veren depremler ve sel hareketlerine rağmen çoğunlukla yukarıda sayılan bilgiler ışığında heyelanları önleme ve zararlarını azaltma çalışmaları nispeten başarılı olabilmektedir. Heyelanların zararlarının önüne geçilebilmesi veya azaltılabilmesi için heyelan olabilecek yerlerin belirlenmesi ve risk haritalarının çıkarılması gerekmektedir.

Heyelanların doğrudan yol açtığı veya önlenmesi ve iyileştirilmesi ile ilgili yapılan dolaylı çalışmaların dünya ekonomisine getirdiği yükün yılda yaklaşık olarak 50 milyar dolar olduğu tahmin edilmektedir (Bell 1999). Ülkemizde 1959 ile 1994 yılları arasında doğal afetlerden etkilenen yapılar ele alındığında heyelanlardan kaynaklanan kayıplar % 27 ile depremlerden sonra ikinci sırayı almaktadır (Ildır 1995). Bununla ilgili olarak ayrıca Ergünay (1999), ülkemizin son yıllarda yaşadığı yıkıcı depremleri de göz önünde bulundurarak, 70 yıllık zaman dilimi içerisinde

doğal afetlerden etkilenen yapıların % 61'inin depremlerden ve yine ikinci sırada olmak üzere % 20'sinin heyelanlardan meydana geldiğini belirtmiştir.

Dünyada nüfusun artması, bu nüfusun ihtiyaçlarını karşılamak için sanayi tesislerinin kurulması, sanayi tesislerinin tüketim ve malzeme sahalarına yakınlığı ile buralarda çalışan veya bu ürünleri tüketenlerin bir arada yaşama istekleri nüfusun belirli bölgelerde toplanmasına neden olmaktadır. Yoğun nüfusun araziyi ormansızlaştırması, iklim değişimi ile bölge yağış rejiminin değişime uğraması heyelanların oluşumuna katkıda bulunmaktadır. Bu döngü gittikçe nüfusu artan merkezlerin büyümesine, bu merkezler arasında ulaşımın sağlanabilmesi içinde gereken yol-otoyolların, demiryolların yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Gerek çok yoğun nüfusun belirli bölgelerde yerleşmeye çalışması, buralarda yerleşime uygun olmayan alanlara da yerleşilmeye kalkışılması, gerekse bu nüfusa hizmet verecek yol, boru hattı, malzeme sahası gibi yapı sahalarının ve çevresinin heyelan duyarlılığının belirlenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu anlamda ülkemizde ve dünyanın birçok bölgesinde heyelan duyarlılık haritaları yapılmaktadır (Gökçeoğlu ve Aksoy 1996; Karakaya 2003; Süzen ve Doyuran 2004 b; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu 2004; Çörekcioğlu 2004; Çan ve ark. 2005; Yeşilnacar ve Topal 2005; Özdemir 2009).

Heyelan arazilerinin önceden belirlenmesi hem planlayıcıları hem de mühendisler tarafından bu alanların daha uygun şekilde alanlarda kullanılması için planlanmasını kolaylaştırmaktadır.

Heyelanlara sebep olan birçok etken bulunmaktadır. Bunlar arasında jeoloji, topografya ve tetikleyici etken olarak da depremler ile uzun süreli yağışlar ve hızlı kar erimleri sayılabilir. Bezende bunların tüm birleşimi sonucunda heyelanlar oluşabilmektedir. Isparta ve yöresinde oluşan küçük kütle hareketleri ile çok sayıda can ve mal kaybı olmuştur (Nurlu ve ark.1997).

Bu çalışmada Isparta ili Gelendost ilçesinin 3 km güneyinde yer alan Yaka beldesi güneyinde oluşan Yaka heyelanı çevresinin heyelan duyarlılığının incelenmesi amaçlanmıştır. Heyelan duyarlılık incelemesinde coğrafi bilgi sisteminin kullanılması hedeflenmiştir. Heyelan duyarlılık incelemesi durum analizi ve lojistik regresyon analizi yapılarak gerçekleştirilecek ve bunların karşılaştırılması yapılacaktır. Bu şekilde oluşturulan heyelan duyarlılık haritaları ile olası heyelan

zararlarının önlenmesi, zararlarının azaltılması ve incelenen alanda yerleşim ile arazi kullanım planlamalarının yapılması bakımından oldukça önemli olabilmektedir.

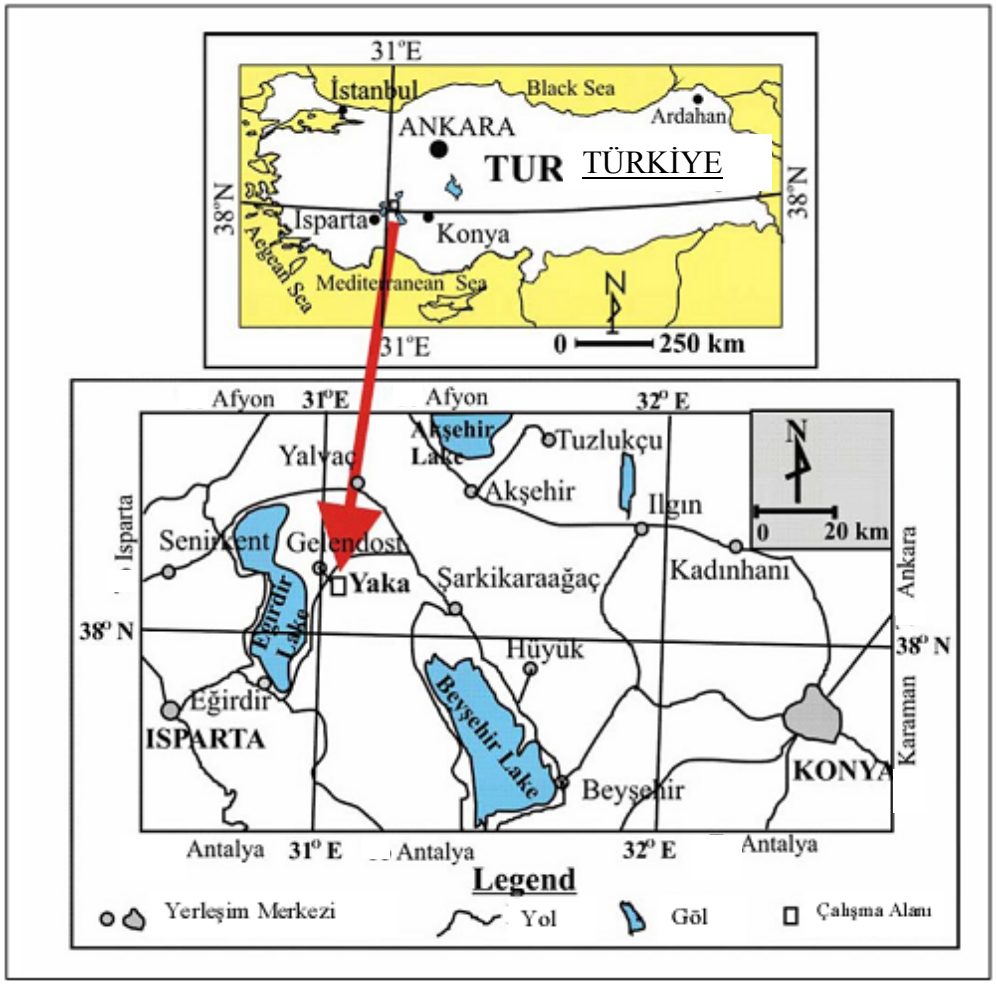
Yaka'da yakın zaman içinde ilk küçük heyelan Alaardıç sırtında 2006 Mart ayında oluşmuştur. İkinci büyük heyelan ise aynı yamaçta 19 Şubat 2007 yılında meydana gelmiştir. Bu ikinci heyelan Yaka heyelanı olarak isimlendirilmiştir. Yaka heyelanının geriye doğru ilerleyen yapıda olduğu belirlenmiştir. Uzun etkili yağış ve hızlı kar erimesini takiben oluşan heyelan sonucunda çamur akıntısı meydana gelmiş ve oluşan çamur akıntısı Eğlence Deresi içinde yaklaşık 750 m kadar eğim aşağı Yaka beldesine doğru akmıştır. Çamur akıntısı Eğlence Deresi içinde hareketi esnasında dere içerisindeki bitki ve ağaçlar ile tarım alanlarına zarar vermiştir. Yaka Beldesi'ne 850 m kadar yaklaşmış olan çamur akıntısı dere içerisinde depolanmıştır. Alaardıç sırtı orta ve üst kesimlerinde hemencecik hareket edebilecek konumda ve özelliklerde oldukça büyük kütleler de bulunmaktadır. Bu kütlelerin ve dere içerisinde depolanmış kütlenin hareket etmesi ile oluşacak olan çamur akıntısını yaka içerisindeki kanalın deşarj etmesi mümkün görülmemektedir. Kanalın tıkanması veya taşması durumunda hemencecik kanal çevresinde bulunan evlerin bu çamur akıntısından zarar görebileceği değerlendirilmektedir.

Bu iki kütle uzun sureli yağışlar ve hızlı kar erimeleri ile kolayca hareket edebilecek durumda olup oluşacak çamur akıntıları ile de Yaka tehlike altına girebilecektir.

İlk bölümde çalışma alanının genel özellikleri ve ulaşılabilirliği hakkında bilgiler verilmiş, ikinci bölümde ise Coğrafi Bilgi Sistemleri-Geographic Information System (GIS) esasli heyelan araştırmaları hakkında yapılan çalışmalara değinilmiştir. Veri üretme ile üretilen verilerin kullanılacağı analizler 3. bölümde, üretilen heyelan duyarlılık haritalarının değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlar 4. bölümde , Yapılan çalışmalar hakkında genel olarak değerlendirme ile elde edilen sonuçlar 5. bölümde ve son bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

1.1. İnceleme Alanı

Çalışma alanı Isparta ili Gelendost ilçesinin 2 km güneyinde Yaka ve çevresindeki 20 km^2'lik alanı kapsamaktadır (Şekil 1.1). İncelenen alana Konya-Isparta asfalt yolundan yılın her gününde ulaşmak mümkündür. İncelenen alan, yakınında bulunan önemli yerleşim merkezlerinden Eğirdir'e 45 km, Isparta'ya 79 km ve Konya'ya ise 170 km mesafededir. İncelenen alan Universal Transverse Mercator (UTM) koordinat sistemine göre 327000 m ile 331000 m doğu boylamları ve 4215000 m ile 4220000 m kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Projeksiyon uygulaması Dünya coğrafik Sistemi- World geographic System (WGS)-1984 36^0 N 'e göre yapılmıştır. Yaka kasabasının nüfusu 3000 civarındadır.

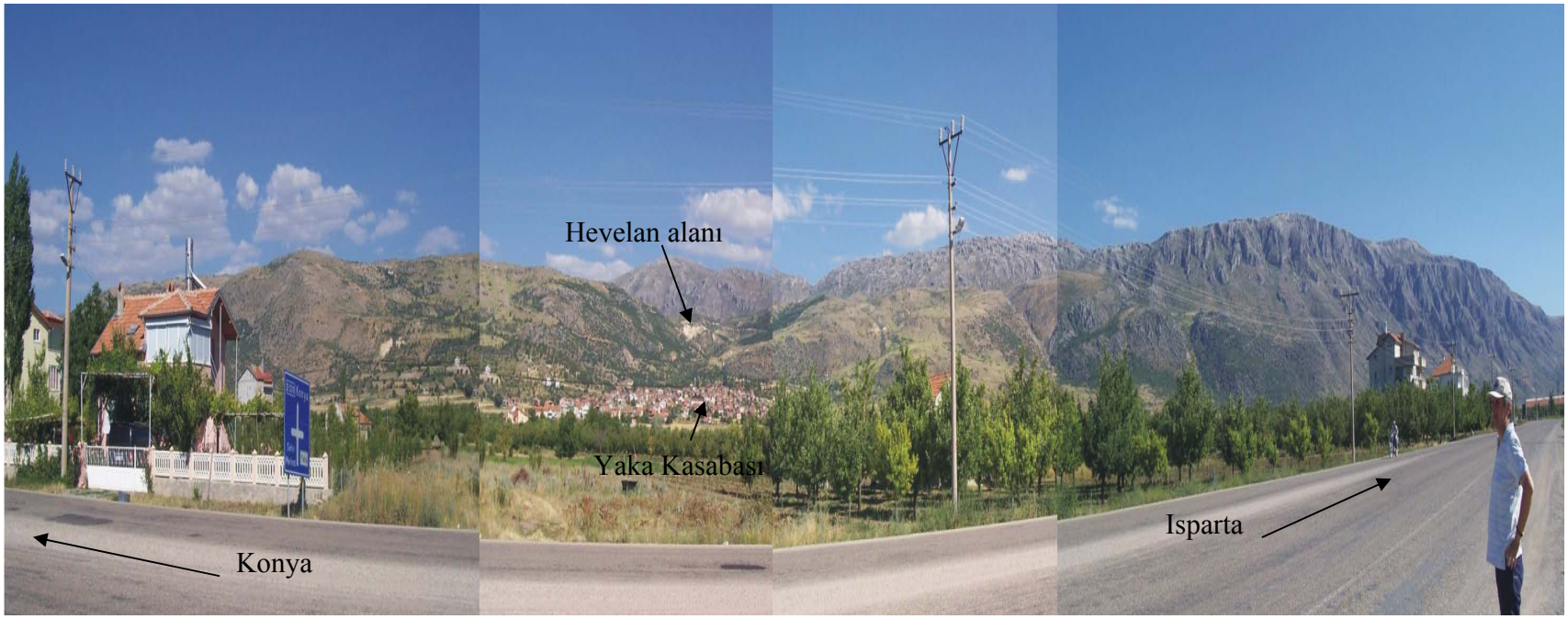


Şekil 1.1, Çalışma alanı yer bulduru haritası

1.2. Morfoloji

Çalışma alanı ve çevresinin genel morfolojik yapısı doğu batı doğrultusunda uzanan yükseltiler ile bunların arasında bulunan ova kesiminden oluşmaktadır. Bu çalışma kapsamında incelenen alan sözü edilen doğu-batı yükseltilerin kuzey yamacında yer almaktadır. İncelenen alanın güneyinde Üçkuyu Kırları ve Sırataş tepeleri doğusunda ise Alaardıç tepe ve Korubaşı tepesi yer almaktadır. Doğuda Sultandağları yükseltisi, güneyinde ise Anamasdağı yükseltileri yer almaktadır. Özellikle Sultandağ metamofikleri ve Anamasdağ karbonatları ile Neojen çökeller arasında olan dokanaklar boyunca tektonizmanın da etkili olduğu oldukça sarp ve keskin bir topografya gözlenmektedir (Soyaslan 2004). Çalışma alanında kuzeyden güneye doğru Bağarası tepe, Katmercibaşı tepe (1361 m), Korubaşı T. (1403 m), Keçikırı T. (1380 m), Alaardıç T. (1436), Sarıtaş T. (1456), Kara mağara T. ve Üç kuyu kırları (1868 m) bazı önemli tepelerdir. Bu tepeler arasında genelde kuzeye akışlı dereler yer almaktadır. Bunlar arasında en önemlileri Eğlence deresi ile Söğütlü deredir.

İncelenen alanda üç farklı jeomorfolojik yapı gözlenmeketdir. Güneyde yüksek röliyefli, kuzeydeki düşük röliyefli kesim arasında orta kesimde geçiş özelliği gösteren bölge yer almaktadır (Şekil 1.2). Orta kesimde yer alan Eğlence Deresi kuzeybatıya akışlı olup, Gelendost ovasına boşalmaktadır. Bu alanda daha birçok küçük dere olup bunlarda sadece kar erime zamanları ile yağışlı mevsimlerde su akışı gözlenmektedir. Derelerin akış yönü genelde kuzey ve kuzey batıyadır. Arazide deniz seviyesinden yükseklik 948 m ile 1869 m arasında değişmektedir. Arazideki hakim yükseklik 1300 m ile 1500 m arasında değişmektedir.



Şekil 1.2, İnceleme alanının kuzeyden güneye doğru panoramik fotoğrafı.

1.3. İklim ve Bitki Örtüsü

İncelenen alan Türkiye'nin göller bölgesi olarak bilinen kesiminde yer almaktadır. Bu bölge Akdeniz iklimi ile Orta Anadolu karasal iklimi arasında geçiş bölgesini oluşturmaktadır. Bölgede iklim ne Akdeniz bölgesindeki kadar ılık ne de orta Anadolu bölgesindeki kadar soğuk ve az yağışlıdır. Yörede yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılık ve yağışlıdır. Sonbahar ve ilkbaharda zaman zaman yağış alabilen bölge, kış aylarında da yağışlı dönemler geçirebilmektedir.

Bölge genelde bitki örtüsü bakımından fakir olmasına rağmen incelenen alanın doğu-batı doğrultulu dağ silsilesinin kuzey yamaçlarında olması nedeniyle, gerek kuzeye bakan yamaçların bitki örtüsü bakımından daha zengin olması, gerekse sözü edilen dağlardan süzülen suların kuzey yamaçlarında kaynak olarak çıkması ile küçük havzalarda bitki örtüsünün oluşmasına katkıda bulunmaktadır. Nispeten tabanı geniş vadilerdeki alüvyonun geliştiği kesimler ziraat için kullanılmaktadır. Özellikle geniş tatlı eğimli sırtlarda ise tarım ziraatı yapılmaktadır.

Çalışma alanı bitki örtüsü bakımından genelde fakirdir. Ovalar ve düşük kotlu topografyanın yayvan olduğu kesimler genellikle tarım arazileri olduğu için bu kesimlerde buğday, arpa, yulaf gibi tahıl ürünleri, şeker pancarı, haşhaş, ayçiçeği gibi tarla ürünleri, sebze, meyve ağaçlarından oluşan otsu ve odunsu flora gözlenmektedir.

1.4. Ekonomik Durum

Yörede tarım ve hayvancılığın yoğun ekonomik faaliyetler arasında olduğu görülmektedir. Vadi içlerinde, ova kesiminde sulu tarım ile daha çok meyvecilik, daha yüksek kesimlerin yayvan ve nispeten düz sırtlarda ise çoğunlukla tahıl tarımı yapılmaktadır. Sonuç olarak yörenin ekonomisi genelde tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır denilebilir**.**

Yaka çevresinin coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak heyelan duyarlılık incelemesinin yapılabilmesi için yapılan çalışmalar iki grupta toplanabilir. Bunlardan birincisi bölge jeolojisi ve heyelan duyarlılık incelemeleri ile ilgili olarak yapılan çalışmaların özetlenmesidir. Daha sonra bu inceleme kapsamında yapılacak olan çalışmalar ve çalışma yöntemleri verildikten sonra belirlenen yöntemin uygulanması

için derlenen veriler ile yöntemin uygulamasına ilişkin detaylara yer verilecektir. Uygulanan yöntemden elde edilen sonuçların değerlendirilip yorumlanmasına ise çalışmanın son bölümlerinde yer verilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Jeoloji ve Hidrojeoloji Çalışmaları

İnceleme alanı ve çevresinde çok farklı amaçlar için birçok jeoloji ve hidrojeoloji çalışması yapılmıştır (Abdüsselamoğlu 1958; Özgül 1976, 1971; Dumont ve Kerey ,1975; Özgül 1976; Demirkol ve ark. 1977; Topçam ve ark. ,1977; Demirkol ve Sipahi 1979; Akay 1981; Koçyiğit 1983, 1984; Boray ve ark. 1985; Demirkol ve Yetiş 1985; Eren 1990; Özgül ve ark. 1991; Yağmurlu 1991; Aydın 1993; DSİ XVIII. Bölge Müdürlüğü 1994; Karagüzel ve ark. 1995; Şenel ve ark. 1996; Hacettepe Üniversitesi Çevre Uygulama ve Araştırma Merkezi 1999; Altınkale 2001; Elitok 2001; Soyaslan 2004). Soyaslan (2004) tarafından özetlenen bu çalışmalar az değişikliklerle aşağıda verilmiştir.

Blumenthal (1963), tabanda yer alan Devoniyen yaşlı şistleri Seydişehir şisti olarak tanımlamış, bunların üzerine Üst Paleozoyik yaşlı kireçtaşı ve kalkşist ara katkılı masif kireçtaşlarının geldiğini belirlemiştir.

Abdüsselamoğlu (1958), temelde metamorfik şistler ve ara katkılı kuvarsit ve kireçtaşı merceklerinin bulunduğunu belirtmiştir. Bu birimlerin üzerine Jura yaşlı dolomit ve kireçtaşılarının uyumsuz olarak geldiğini ve Sultandağının kuzeydoğuya yatık bir antiklinal yapıdan oluştuğunu tespit etmiştir.

Özgül (1971), Paleozoyik ve daha genç yaşta kaya birimlerini kapsayan ve birbirinden farklı havzaları temsil eden birliklerin faylı dokanakla bir arada bulunduğunu ifade etmiştir. Bu birliklerden "Hadım Birliği" ile "Geyikdağı Birliği"ni yerli (otokton), "Güney İç Anadolu Birliği" ile "Orta Toros Birliği"ni yabancı (allokton) birlikler olarak belirtmiştir.

Özgül ve ark. (1971), Geyikdağı birliğinin birbirinden değişik ortam koşullarını yansıtan ve birbirleriyle tektonik ilişkili gözüken farklı istiflerden (Sultandağı Birimi, Homa-Akdağ Birimi, Kırdağ-Anamasdağ Birimi ve Barladağı Birimi) oluştuğunu ifade etmişlerdir.

Dumond ve Kerey (1975), Eğirdir gölü güneyinin temel jeolojik özelliklerini ortaya çıkarmak ve orta ve batı Torosların ilişkisini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada, bölgedeki kaya birimlerini stratigrafik ve tektonik özellikleri açısından birbiriyle farklılık gösteren ayrı birliklere ayırarak incelemişlerdir. Karacahisar Birliği, Ofiyolitli Birlik ve Dulup Birliği olarak ayırtlanan bu birliklerin Miyosen yaşlı çökellerle trangressif olarak örtüldüğünü ifade etmişlerdir.

Özgül (1976), Torosların bazı temel jeolojik özellikleri konulu incelemesinde Torosların Kambriyen-Tersiyer aralığında çökelmiş kaya birimlerini kapsadığını ve burada birbirlerinden değişik havza koşullarını yansıtan birlikler ayırtlamıştır. Ayırtlanan bu birliklerden Bolkardağı Birliği, Geyik Dağı Birliği, Alanya Birliği, Bozkır Birliği ve Antalya Birliği olarak adlandırıldığı bu birliklerin stratigrafik ve metamorfik özellikleri, kapsadıkları kaya birimleri ve güneydeki yapısal konumlarıyla birbirlerinden ayrıldığı sonucuna varmıştır.

Demirkol ve ark. (1977), "Yalvaç-Akşehir Dolayının Jeolojisi" adlı çalışmasında, Yalvaç (Isparta) – Akşehir (Konya) çevresinde tabanda Alt (?) – Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe kireçtaşının bulunduğunu ve dereceli olarak Üst Kambriyen – Alt Ordovisiyen yaşlı, Sultandede formasyonuna geçtiğini, bunların üzerine ise Üst Jura yaşlı Hacıalabaz kireçtaşının daha üstte ise Neojen yaşlı birimlerin açılı uyumsuzlukla yer aldığını belirtmiştir. Neojen'de, akarsu fasiyesli Bağkonak formasyonu, taşkın ovası fasiyesli Göksöğüt formasyonu ile gölsel Yarıkkaya formasyonu'nu ayırtlamıştır.

Demirkol ve ark. (1977), çalışmada bölgede otokton ve allokton birimlerin yer aldığını belirleyerek Kaledoniyen, Hersiniyen ve Alpin oronjenezlerine bağlı olarak KB-GD eksenli kıvrımların geliştiğini vurgulamıştır.

Topçam ve ark. (1977), Devlet Su İsleri Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı adına yaptıkları "Hoyran-Gelendost ve Yalvaç Ovaları Hidrojeolojik Etüd" isimli çalışmada bölgenin 1/200.000 ölçekli hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır. Bu çalışmada şist ve mermerler (Paleozoyik), kireçtaşı (Mesozoyik), ofiyolitik karmaşık (Paleosen-Eosen), kil, marn, kireçtaşı (Eosen-Miyosen), kil, kum, az çakıllı konglomera (Pliyosen) ve Alüvyon (Kuvaterner) birimleri haritalanmıştır. Bölgede yer altı suyu taşıyan birimleri Mesozoyik ve Neojen yaşlı kireçtaşları ile Pliyosen ve Kuveterner yaşlı kum ve

çakıllar olduğu belirtilmiştir. Hoyran, Gelendost ve Yalvaç ovaları için yapılan yeraltısuyu bilançosu sonucunda çalışma alanındaki toplam beslenim miktarı 41,5 x 10^6 m^3/yıl, boşalım miktarı ise 41,0 x 10^6 m^3/yıl bulunmuştur. Emniyetli verim Hoyran Ovasında 8,5 x 10^6 m^3/yıl, Gelendost Ovasında 13 x 10^6 m^3/yıl, Yalvaç Ovasında 6,5 x 10^6 m^3/yıl bulunmuştur. Çalışma alanındaki yüzey ve yeraltısuyu kalitesinin sulama suyuna uygun sular (C_2S_1) sınıfında olduğu belirtilmiştir.

Demirkol ve Sipahi (1979), Bağkonak-Çimendere-Muratdağı (Isparta) yöresinde bölgenin genel jeolojisine yönelik çalışma yapmışlardır. İnceleme sahasının Kambriyen'den Neojen'e kadar değişen metamorfik ve sedimanter kaya birimlerinden meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Paleozoyik'in Alt (?)-Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe formasyonu, Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen yaşlı Sultandede formasyonu, Mesozoyik'in Üst Jura yaşlı Hacıalabaz kireçtaşlarından, Senozoyik'in Bağkonak formasyonu, Göksöğüt formasyonu, Yarıkkaya formasyonundan meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Akay (1981), Beyşehir yöresinde Kambriyen yaşlı kayaların Orta Kambriyen-Alt Ordovisiyen yaşındaki Seydişehir şistleri üzerine bindirmiş olduğunu ve bindirme sonrasında da Üst Liyas-Alt Dogger karbonatlarının hem Kambriyen yaşındaki kayaları, hem de Seydişehir şistlerini açısal uyumsuzlukla örttüğünü ifade etmişlerdir.

Koçyiğit (1983), Hoyran Gölü (Isparta Büklümü) dolayının tektonik gelişiminde birbirini izleyen çekme ve sıkışma türü 6 tektonik evreye ayırmıştır. Birinci evrede (Liyas-Maestrihtiyen), duraylı uzun bir dönem ve Hoyran karbonat platformunun geliştiğini; ikinci evrede (Maestrihtiyen-Lütesiyen), gittikçe artan çekme tektoniği evresi ile karbonat platformunun parçalanmaya başladığını; üçüncü evrede (Üst Lütesiyen sonunda) sıkışma tektoniğinin egemen olduğunu; dördüncü, sıkışma tektoniğine bağlı yükselme, çekme tektoniğinin baskın olduğunu, beşinci evrede (Orta Oligosen sonunda) daha az yeğinlikte ikinci bir sıkışma tektoniği evresi olduğunu; altıncı evrede (Orta Oligosen sonu- Güncel) günümüze kadar egemen olan çekme tektoniği dönemi olduğunu ifade etmiştir.

Koçyiğit (1984), Güneybatı Türkiye ve yakın dolayındaki tektonik gelişim dönemlerini, eski tektonik, geçiş ve yeni tektonik dönem olmak üzere 3 döneme ayırmıştır. Geçiş dönemi Alp dağoluşumu kuşağının birçok kesiminde de

gözlendiğini ifade etmiştir. Yeni tektonik dönemde ise, çekme tektoniği denetiminde gelişen karasal tortullaşma, onunla yaşıt kıta içi volkanizma ve blok faylanma ile belirginlik kazandığını belirtmiştir. Bölgenin, verev atımlı normal faylarla sınırlı çok sayıda ve değişik boyutta bloğa bölünmüş olup, bunların birçoğu depremselliği yüksek olan alanlar olduğunu ifade etmiştir.

Boray ve ark. (1985), Isparta büklümünün kuzeyinde Şuhut-Çay, Yalvaç-Gelendost ve Sultandağ sahalarındaki Neojen ve Kuvaterner çökellerini incelemişlerdir. Bölgede neotektonik dönemin Üst Miyosen'de başladığını ifade etmişlerdir. Neojen çökellerin karasal, akarsu ve göl fasiyesinde olup, Üst Miyosen-Pliyosen yaşta olduğunu ve daha eski kayalar üzerinde uyumsuz olarak yer aldıklarını belirtmektedirler. Bölgedeki bu çökellerde tektonik şekil değiştirme ile yaklaşık K-G uzanımlı kıvrımlar ve ters faylar ile bölgenin kuzeyinde küçük bir alanda D-B uzanımlı normal fayların oluştuğunu ortaya koymuşlardır. Bölgede Üst Miyosen'den beri devam eden bir sıkışmadan ve bu nedenle Isparta Büklümü'nün kuzey kesiminde D-B yönlü daralmadan bahsetmektedirler.

Demirkol ve Yetiş (1985), Sultandağ kuzeybatısında, temelde Sultandede formasyonunun (Üst Kambriyen-Alt Ordovisiyen), bunu açısal uyumsuzlukla karbonatların (Maestrihtiyen öncesi), ve daha sonra da pelajik ve neritik çökellerin (Maestrihtiyen-Lütesiyen) açısal uyumsuzlukla önceki birimleri üzerlediğini belirtmişlerdir. Bölgede Üst Miyosen'de başlayan yeni bir tektonik etkinlik dönemi içinde hızlı bir karasal ve gölsel kırıntılı depolanma evresinden ve bunlara ilave olarak Kaledoniyen ve Alpin dağ oluşumu hareketleri ile gelişmiş yapı şekillerinden bahsetmektedirler.

Eren (1990), Engilli (Akşehir) ve Bağkonak (Yalvaç) yerleşim merkezleri arasında Sultandağları orta kesiminin tektonik tarihçesini aydınlatmaya yönelik yaptıkları çalışmada incelenen sahasının tabanında yer yer mermerleşmiş, fakat genelde metamorfik kireçtaşı ve dolomit, üst kesiminde ince fillit ve metakumtaşı aratabakalı yumrulu kireçtaşlarından oluşan Alt (?)-Orta Kambriyen yaşlı Çaltepe formasyonunun yer aldığını ve bunun üzerinde ise metakumtaşı, fillit ardalanmalı, intraformasyonal çakıl içerikli metakonglomeralardan oluşan Üst Kambriyen -Alt Ordovisiyen yaşlı Sultandede formasyonunun bulunduğunu belirtmiştir. Üst kesimlerde ise tektonik olarak yer alan Hoyran Ofiyolitine ait şeyl, grovak

piroklastik konglomera-breş ara katkılı diyabazik bileşimli yastık lavlar, Üst Jura-Üst Kretase yaşlı kireçtaşı olistolitine ait kireçtaşı ve dolomitler ile bu birimleri açısal uyumsuzlukla örten Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı genellikle alüvyal yelpaze çökellerini karakterize eden moloz ve çamur akmaları ile örgülü nehir çökellerinden oluşmuş Bağkonak formasyonu ve Yarıkkaya formasyonunun yer aldığını ifade etmiştir. Sultandağları Masifi'nde üç ayrı dağ oluşum hareketinin etkileri ve bu hareketlere bağlı kıvrımlı ve bindirmeli yapılardan söz etmiştir. Hoyran Napı'nın GD'dan KB'ya sürüklenmiş olabileceğini vurgulamıştır. Yörenin Kaledoniyen ve Hersiniyen dağ oluşum hareketleri ile kıvrımlı ve bindirmeli iç yapısını kazandığını, Alpin hareketlerle naplı bir yapıyı bünyesine ekleyip sonra yoğun olarak genç-tektonik hareketlerle Üst Miyosen ve sonrası blok faylanmaların etkisinde kaldığını belirtmiştir.

Yağmurlu (1991), Yalvaç-Yarıkkaya Neojen havzasını çevreleyen Neojen öncesi kaya birimlerinin genellikle Ordovisiyen yaşlı meta-sedimentitler ile Triyas-Kretase yaşlı karbonatlı kayalardan ve ofiyolit karmaşığından oluştuğunu belirtmiştir. Genellikle alüvyon ve gölsel tortullardan oluşan Yalvaç-Yarıkkaya yöresindeki Neojen istifi 5 formasyona ayırmış ve bu tortul istifin toplam kalınlığının 800 metreye ulaştığını ifade etmiştir.

Aydın (1993), "Eğirdir Gölü Su Kalite Modellemesi" isimli çalışmasında Eğirdir Gölü'nün potansiyel kirliliğinin izlenmesi ve gelecek yıllardaki gelişiminin tahmini için bir matematik model geliştirilmiştir. Bölge hakkında genel bilgiler verilmiş, gölün jeolojik yapısı, hidrolojisi ve iklimini ele alarak su bilanço değerleri ve su derinliği-alan-hacim eğrileri oluşturmuştur. Göl havzasındaki yerleşimlerin gelecek yıllara göre nüfus tahminleri yapılarak, kirlilik miktarlarını belirlemiş, tarımsal alanlar ve bunlardan gelebilecek kirlilik değerleri ve kirletici kaynaklardan ileri gelen yıllık yükleri hesaplanmıştır. Farklı su kalite parametrelerine göre halen temiz durumda olan Eğirdir Gölü'nün "Oligotrofik" bir yapı gösterdiği belirtilmiştir.

DSİ XVIII. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ (1994), "Eğirdir Gölü Hidrolojisi Planlama Raporu" isimli çalışmada Eğirdir Gölü'nün su potansiyelinin belirlenmesi ve gölün bilinçli olarak işletilmesinin sağlanması amaçlanmıştır. Eğirdir Gölü'nün su geliri, 1962-1994 yılları arasındaki Yılanlı derivasyonunun devreye girdiği ve tüm sulama projelerinin işletmede olduğu kabul edilerek yıllık ortalama 907 hm^3

bulunmuştur. Kovada kanalına verilen suyun yıllık ortalaması ise 303.86 hm^3 olarak bulunmuştur. Bütün sulama projelerinin devreye girmesi halinde sulanacak alanlara verilecek yıllık su miktarı 350 hm^3 iken, yapılan planlama çalışmaları sonucunda bu miktarın verilemeyeceği görülmüş olup tüm projelere verilebilecek olan yıllık ortalama sulama suyu 326 hm^3 olarak belirlenmiştir. Projelerin tam gerçekleşmesi durumunda gölün yıllık geliri ortalama 907 hm^3 olarak belirlenmiştir. Bunun yıllık 30 hm^3'ü Isparta içme suyuna, 326 hm^3'ü sulamalara, 515 hm^3'ü buharlaşacak, 36 hm^3'ü de dolusavak çıkışı şeklinde Kovada kanalına verileceği öngörülmüştür.

Karagüzel ve ark. (1995), "Eğirdir Gölü'nün Hidrolojisi" isimli raporlarında Eğirdir Gölü'nün su potansiyelinin belirlenmesi ve su seviyesinin düşümüne neden olan etkenleri araştırmışlardır. Eğirdir Gölü su potansiyelinin gelecekteki işletim şeklini belirlemek üzere yaptıkları bilanço hesaplarında, 1966-1975 yılları arasındaki kurak periyottaki su düşümünün sebebinin, gölden boşalımın, beslenmeden fazla olması nedeniyle olduğunu ve 1976-1985 arasındaki su yükselmesinin ise yağışın artması ve enerjiye verilen suyun azalmasından kaynaklandığı ifade etmişlerdir.

Şenel ve ark. (1996), Isparta Büklümü doğusunda yer alan otokton ve allokton birimlerin stratigrafisine yönelik çalışma yapmışlardır. Otokton konumlu kayaların genelde platform tipi çökellerden oluştuğunu, bunların üzerinde naplar halinde bulunan kütlelerin [Antalya napları (Lefevre, 1967), Antalya birliği (Özgül, 1976), Antalya kompleksi (Woodcock ve Robertson, 1977)] okyanusal kabuk, yamaç, havza, kıyı ötesi platform, rift ortamlarını temsil ettiğini ifade etmişlerdir. Bölgede yapısal olarak, en altta Beydağları-Karacahisar otoktonu, bunun üzerinde Antalya napları ile kuzeyden güneye doğru bunlar üzerine bindirmiş Anamas-Akseki otoktonunun yer aldığını, Geç Tersiyer-Kuvaterner yaşlı çökellerin otokton ve allokton kütleler üzerinde stratigrafik örtüler halinde bulunduğunu beyan etmişlerdir.

Hacettepe Üniversitesi, Çevre Uygulama ve Araştırma Merkezi (1999), "İçmesuyu Kaynağı Olarak Eğirdir Gölü'nün Korunması Projesi" isimli rapor dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm çalışma alanının fiziksel yapısı, nüfus profili, iklimi, jeolojik, hidrojeolojik, hidrolojik yapısı ve kirletici kaynakları konularında yapılmış çalışmaların genel bir değerlendirilmesinden oluşmaktadır. İkinci bölümde mevcut yasal ve idari yapı özetlenmiştir. Üçüncü bölümde koruma-kullanma dengesinin gerekçeleri ile mevcut sorunların açılmasına yönelik öneriler

sunulmuştur. Son bölümde ise bütün değerlendirmelerin sonucunda havzada uygulanması gereken genel ve özel hükümlerin esaslarına göre hazırlanan planlama ve uygulamadan oluşmaktadır.

Altınkale (2001), "Eğirdir ve Burdur Göllerinin Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal Karşılaştırması" adlı çalışmasında, göller arasındaki yeraltısularının gölsuları ile karşılaştırmalı hidrojeokimyasal özelliklerinin araştırılarak, göllerin tektonik oluşumuna bir yaklaşım getirmeyi amaçlamıştır. Hidrolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi yanında duraylı izotoplar (D ve ^{18}O) ve Trityum (^{3}H) yardımıyla göller ve yeraltısuyu kaynaklarının beslenme alanlarını ve kökenlerinin belirlenmesi, su-havza kayaç ilişkilerinin saptanması ve suların bağıl yaşlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Eğirdir ve Burdur gölleri arasında bulunan Atabey Ovası'nın her iki göl ile olan sınırında geçirimsiz birimler bulunması nedeniyle, ovanın hem Eğirdir hem de Burdur Gölü ile olan sınırı geçirimsiz bariyer özelliğinde olduğunu, bu nedenle Eğirdir ve Burdur göllerinin birbiriyle irtibatı olmadığı ve aradaki Atabey Ovası'nın da göller ile hidrojeolojik bağlantısının bulunmadığı belirtmiştir. Eğirdir ve Burdur Gölleri sularının birbirlerinden farklı özelliklerde olduğunu ve iki gölün hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri bakımından birbirlerinden ayrıldığını ifade etmiştir.

Elitok (2001), Bölgede yer alan kaya birimlerini Sultandağ kesimi ve Anamasdağ kesimi olmak üzere iki farklı bölümde incelenmiştir. Bu araştırmasında bölgedeki en yaşlı birimden başlayarak en genç birime kadar, birimlerin birbirleriyle olan dokanak ilişkilerini tam bir istif olarak görememiştir. Bölgenin güney kesimindeki birimlerin (Anamasdağ kesimi) kendi aralarında bir istif sunduğunu, doğu kesimindeki birimlerinde (Sultandağ kesimi) kendi aralarında bir istif sunduğunu belirtmiştir. Ancak iki farklı istifin birbirleriyle olan ilişkileri napların altında kaldığı için gözlenemediğini ifade etmiştir.

Soyaslan (2004), Eğirdir Gölü su toplama havzası içerisinde yer alan Hoyran ve Yalvaç-Gelendost ovalarında yapılan çalışmada, incelenen alanda stratigrafik ve petrografik özelliklerine göre 8 farklı birim ayırtlanmış ve 1/200 000 ölçekli jeoloji haritasında gösterilmiştir. Bu birimler alttan üste doğru Sultandede Formasyonu, Hacıalabaz Formasyonu, Anamas Formasyonu, Hoyran Ofiyoliti, Neojen istifi oluşturan Bağkonak, Yarıkkaya ve Göksöğüt Formasyonları ile tüm birimleri

uyumsuz olarak örten yamaç molozu ve alüvyonlardır. Yalvaç-Gelendost emniyetli kullanılabilicek yeraltısuyu miktarı Yalvaç-Gelendost ovalarında 63.71 x 10^6 m^3/yıl ve Hoyran Ovası'nda 24.93 x 10^6 m^3/yıl olarak bulunmuştur. Çalışma alanında yer alan alüvyon birimin serbest akifer ve kireçtaşlarının ise karstik akifer özelliği taşıdıkları belirlenmiştir. Akiferlere ait hidrojeolojik parametreler (K, T, S) belirlenmiştir. Yalvaç ovasında permeabilite katsayısı 5.60 x 10^{-7} - 6.47 x 10^6 m/s, transmisibilite katsayısı 6.21 x 10^{-5} - 2.46 x 10^{-4} m^2/s, depolama katsayısı % 3.74 x 10^{-3} – 4.28 x 10^{-3}, Hoyran havzasında permeabilite katsayısı 1.41 x 10^{-4} – 6.15 x 10^{-2} m/s, transmisibilite katsayısı 8.98 x 10^{-3} – 6.16 m^2/s, depolama katsayısı % 3.82 x 10^{-5} - 5.34 x 10^{-3}, Tokmacık-Çaltı ovasında permeabilite katsayısı 4.29 10^{-5} - 3.46 10^{-4} m/s, transmisibilite katsayısı 8.98 x 10^{-3} – 5.19 x 10^{-2} m^2/s, depolama katsayısı % 2.58 x 10^{-5} – 4.50 arasında değişen değerler bulunmuştur. Yeraltısuyu akım modellemesinde, çalışma alanının tabanında kireçtaşından oluşan karstik bir akifer, bunun üzerinde geçirimsiz Hoyran ofiyoliti ve Neojen tortullardan oluşan yarı veya az geçirimli su depolama özelliğine sahip iki akifer ve en üstte serbest akifer özelliğindeki alüvyon tabaka yer almaktadır. Yeraltısuyu boşalımının serbest yüzeyli akifer ile özellikle kiraçtaşlarından Eğirdir Gölü'ne doğru ve yıllık toplam 114 x 10^6 m^3 olduğu belirlenmiştir. Yüzey suyu ve yeraltısuyu örneklerindeki ağır metal miktarlarının özellikle içme suları açısından sınır değerleri aştığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre, çalışma alanındaki yüzey suyu ve yer altı sularında ağır metal kirliliğinden söz etmek mümkündür tespiti yapılmıştır.

2.2. Heyelan Duyarlılığı Konusunda Yapılan Çalışmalar

Heyelan duyarlılık çalışmaları konusunda uygulanan yöntemler Çizelge 1.1' de verilmiştir (Aleotti ve Chowdhury 1999). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında takip edilen yöntemler öncelikle nitel ve nicel yöntemler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Soeters ve van Westen 1996; Aleotti ve Chowdhury 1999; Guzzetti ve ark. 1999). Niteliksel yöntemler arazide yapılan jeomorfolojik gözlemler ve değerlendirmeler ile belirlenen indeksler kullanılarak yapılmaktadır. İndeks veya parametrelere dayanan haritalar indeks haritalarının çakıştırılması veya birleştirilmesi ile yapılabildiği gibi mantıksal analiz yöntemlerinin uygulanması ile

de yapılabilmektedir. Niteliksel yöntemlerde veriler arazi çalışmaları ile derlenir, hava fotografları ile desteklenir. Arazi ve hava fotoğrafları ile özellikle de yer bilimleri konusunda ve diğer konularda uzman kişilerin bilgi ve tecrübelerine dayalı olarak incelenen alanın zon haritaları yapılarak jeomorfolojik haritalarla birlikte değerlendirilerek heyelan duyarlılık haritaları yapılır. Niceliksel yöntemler istatiksel analiz, jeoteknik yaklaşım ile yapay sinir ağları ve/veya bulanık mantık yöntemleri olmak üzere üç farklı şekilde uygulanabilmektedir. Heyelan duyarlılık çalışmalarında istatiksel analiz yöntemleri ikili değişkenli analiz, çok değişkenli analiz ve matris analizi, jeoteknik yaklaşım ise deterministik ve olasılık yaklaşımı olarak uygulanabilmektedir. Nicel metodlar heyelanı kontrol eden faktörler ile heyelan arası ilişkiyi sayısal tanımlamalarla ifade edebilmeleri nedeniyle nitel metodlara göre araştırıcıların farklı yaklaşımlarından kaynaklanan hataları minimize edebilmektedir. Nicel metod uygulaması sonrası elde edilen haritalar genellikle heyelan duyarlılık haritalarıdır (Carrara ve Merenda 1976; Anbalagan 1992; Soeters ve Van Westen 1996; Wachal ve Hudak 2000; Van Westen et.al. 2003).

Çizelge 1.1, Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan yöntemler (Aleotti ve Chowdhury, 1999'dan değiştirilerek).

Heyelan duyarlılık incelemesi	Niteliksel yöntemler	Jeomorfolojik gözlem ve değerlendirmelere göre yapılan haritalar	
		İndeks ve parametrelere göre yapılan haritalar	
	Niceliksel yöntemler	Yapay sinir ağları	
		Bulanık mantık	
		İstatistiksel yaklaşım	İki değişkenli parametre analizi
			Çok değişkenli parametre analizi
		Jeoteknik yaklaşım	Deterministik yaklaşım
			Olasılık yaklaşımı

Bu çalışmada heyelan duyarlılık incelemesi niceliksel yöntemlerden çok değişkenli parametre analizi olan ağırlıklı heyelan oluşumu ve Lojistik regresyon yöntemi ile yapılacağından sadece bu yöntemlerin uygulanması ile ilgili önceki çalışmalara yer verilmiştir.

Mathew ve ark. (2007), Garhwal Himalaya (Hindistan) bölümünde heyelan duyarlılık haritalamasında lojistik regresyon analizinin uygulanması ve geçerliliği konulu incelemede litoloji, jeomorfoloji, arazi kullanımı, arazi örtüsü, yamaç eğimi,

yamaç eğim yönü ile drenaj yoğunluğu gibi parametreler kullanılmıştır. Heyelan tehlike haritalarının oluşturulmasında çok parametreli istatiksel yöntemlerden lineer regresyon, diskirminant ile lojistik regresyon analizinin yaygınca kullanıldığı vurgulanmıştır. Lojistik regresyon yönteminin sürekli kategorik değişkenlerin kullanılması halinde diskirminant yönteminden daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Gorsevski ve ark. (2000), Lojistik regresyon ve GIS kullanılarak heyelan tehlikesinin belirlenmesi çalışmasında incelenen alanda sayısal yükseklik modeli (DEM) ile yükseklik, eğim, plan ve profil eğrilik, akış yolu uzunluğu, ve özgül tutum alanı gibi parametreler kullanılarak heyelan tehlike haritalaması yapılmıştır. Orman yolu ve orman gelişim alanlarının planlamasında kullanılabilecek heyelan tehlike haritası üretilmiştir.

Ayalew ve Yamagishi (2005), Orta Japonya'da heyelan duyarlılık haritasının yapımı için GIS esaslı lojistik regresyon metodunun uygulanması konulu çalışmada, 87 heyelan sahası ve buralardaki litoloji, tabakalanma-yamaç eğimi ilişkisi, çizgisel yapılar, eğim, yönelim, yükseklik, ve yol ağı bağımsız değişken, heyelanın olduğu yerler bağımlı (1), heyelanın olmadığı yerler ise bağımlı ancak (0) değişken olarak alınmıştır. Elde edilen lojistik regresyon katsayılarının yorumlanması yol ağının heyelan oluşumunda önemli etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Yine heyelan duyarlılığı üzerinde yamaç eğimi ile yamaç yöneliminin yükseklikten daha etken olduğunu ortaya konulmuştur.

Zhu ve Huang (2006), bölgesel ölçekte heyelan duyarlılık haritalaması için GIS esaslı lojistik regresyon metodu isimli çalışmada çift lojistik regresyon analizi uygulaması yapılmıştır. İncelenen alana uygulanan lojistik regresyon sonucunda yükseklik, yollara nehirlere ve yerleşim alanlarına yakınlık heyelanı tetikleyen ana faktörler olduğu tespit edilmiştir. İlk analizde %80 yakınlıkla duyarlılık haritası elde edilmiştir. Yol ve yerleşim alanları tüm inceleme alanında yüksek heyelan duyarlılıkta olan bölgelerdir. Bazı heyelan olmayan alanlar yanlışlığı bilinerek yüksek ve orta heyelan duyarlılık alanı olarak bölümlendirilmiştir. Daha sonra ikinci lojistik regresyon analizi yüksek heyelan duyarlılıktaki alana heyelan olan ve heyelan olmayan hücrelere uygulanmıştır. İkinci lojistik regresyon analizinde, uygulama yapılan alanda sadece mühendislik ve jeolojik özelliklerin önemli olduğu kabulü

yapılmıştır. İkinci lojistik regresyon yöntemi ile heyelan olmayan alanların belirleme güven aralığını arttırmıştır. Lojistik regresyon parametrelerinin hesaplanmasında heyelan yoğunluğu nominal değişkenlerin sayısal değişkenlere transfer edilmesinde kullanılmıştır.

Duman ve ark. (2005), Çekmece bölgesinin (İstanbul, Türkiye) Heyelan duyarlılık haritalaması için lojistik regresyon analizinin uygulanması konulu çalışmada arazi ve hava fotograflarından yararlanarak heyelan alanları belirlenmiştir. İncelenen alanın yaklaşık %19,2'sinin derin kayma yüzeyli heyelan alanı olduğu belirlenmiştir. Heyelanların yaklaşık %32'sinin geçirgen kumtaşı aratabakalı ve geçirgen olmayan kiltaşı, siltttaşı ve çamurtaşı tabakaları içinde oluştuğu vurgulanmıştır. Lojistik regresyon yönteminin uygulanmasında ise 37 değişken kullanılmıştır. Bunlar yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yükseklik, akarsu aşındırma indeksi, plan ve profil eğrilik yarıçapı, jeoloji, jeomorfoloji ile kayaların rölatif permeabilite kullanılmıştır. Yaklaşık 25 değişken heyelan oluşumunda önemli derecede etken olduğu belirlenmiştir. Litoloji, akarsu aşındırma indeksi, yamaç eğiminin diğer faktörlerden daha baskın şekilde heyelan oluşumunda etken oldukları tespit edilmiştir. Heyelan oluşumunda etken olan 25 değişkene ait regresyon katsayıları belirlenmiştir. Belirlenen katsayılarından %83,8 oranında mevcut heyelanlarla uyum sağlayan heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur.

Akgün ve Bulut (2006), Arsin Yomra (Trabzon Kuzey Türkiye) bölgesinin GIS temelinde heyelan duyarlılığı adlı çalışmada, arazi ve topografik harita üzerinde yapılan detaylı incelemelerle çalışılan alana ait heyelan envanteri çıkarılmış, heyelan tetikleyici faktörler olarak da yamaç açısı, yamaç eğim yönü, drenaj ağına ve yollara uzaklık ile jeoteknik birimler olarak tanımlanan bozuşmuş litoloji birimleri belirlenmiştir. İncelenen alanın heyelan duyarlılık incelemesinde lojistik regresyon ve ağırlıklandırılmış lineer birleşim istatiksel yöntemleri uygulanmıştır. Heyelan duyarlılığının belirlenmesinde ağırlıklandırılmış lineer birleşim yönteminin lojistik regresyon yönteminden daha uygun olduğu belirlenmiştir. Jeoteknik birimlerin, ve yamaç açısının heyelan oluşumunda çok önemli etkenler arasında olduğu tespit edilmiştir.

Ercanoğlu ve Gökçeoğlu (2002), Bu çalışmada Yenice çevresinin heyelan duyarlılık haritası bulanık mantık yöntemi ile yapılmıştır. Arazi çalışmaları ile

heyelan envanterinin oluşturulması, heyelan oluşumunda etkili olan faktörlerin ağırlıklarının faktör analizi ile belirlenmesi, daha sonrada coğrafi bilgi sistemleri eşliğinde yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, litoloji bozuşma derinliği, yer altı su durumu, arazi kullanımı vb. gibi parametreler bulanık mantık yaklaşımı ile değerlendirerek heyelan duyarlılığının belirlenmesi çalışması yapmışlardır.

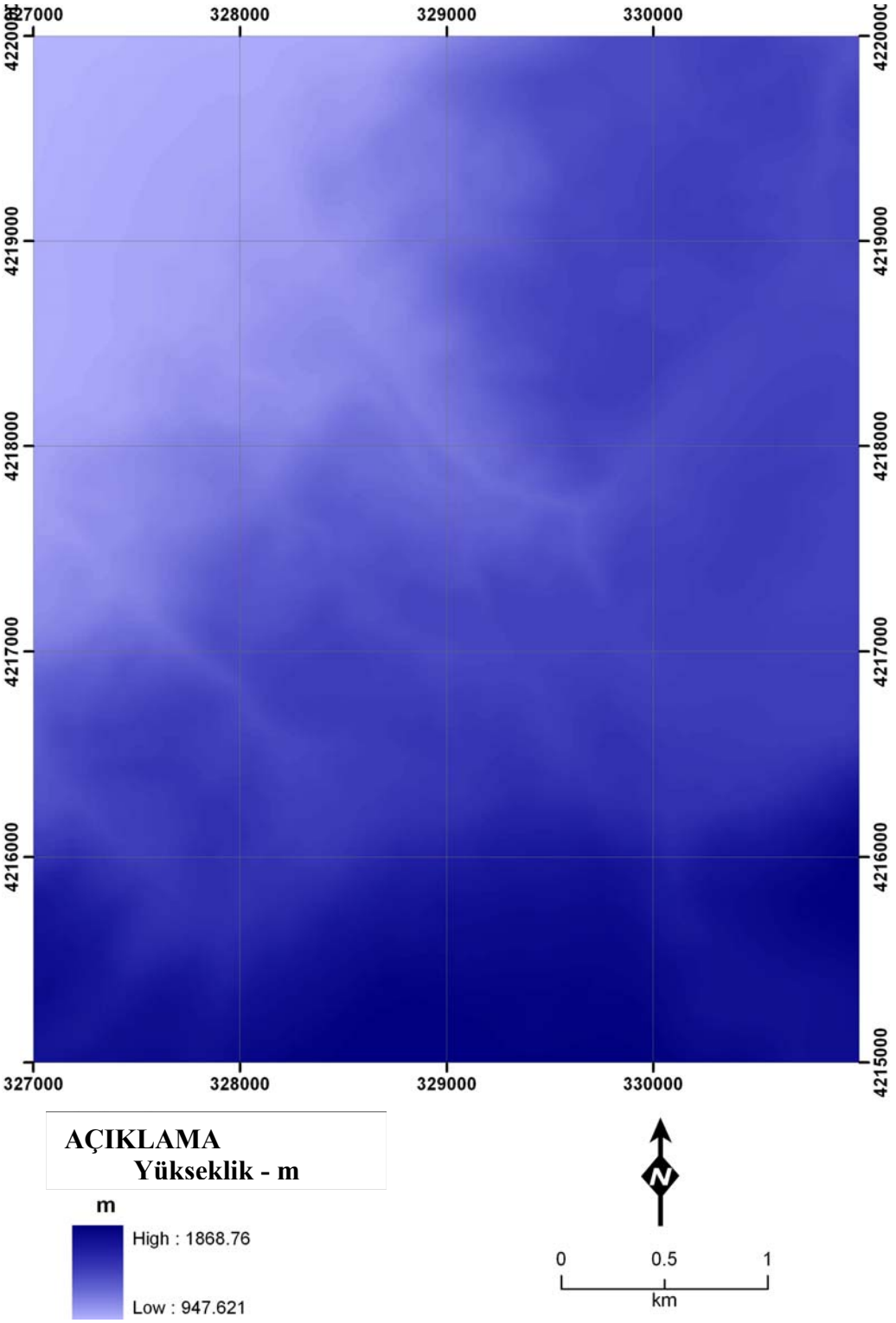
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışma, Isparta ili Gelendost ilçesi Yaka beldesinin yaklaşık 20 km^2'lik çevresini kapsamaktadır. Çalışmada Yaka beldesi çevresini içerisine alan Harita Genel Komutanlığınca hazırlanan 1/25000 ölçekli Afyon L26d1 topografik haritası kullanılmıştır. Bu harita öncelikle detayına daha sonra değinilecek olan yöntemle sayısallaştırılmıştır. Arazi incelemeleri ile çalışma alanının jeoloji, heyelan ve arazi kullanım haritaları çıkarılmıştır. Yörenin iklim ve yağış değerleri meteoroloji genel müdürlüğünden temin edilmiştir. Derlenen tüm bu verilerin aşağıda verilecek olan yöntem kullanılarak Yaka heyelanının oluştuğu yerin ve çevresinin heyelan duyarlılığının belirlenmesi çalışması gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Çalışma alanının sayısal yükseklik modelinin (DEM) oluşturulması

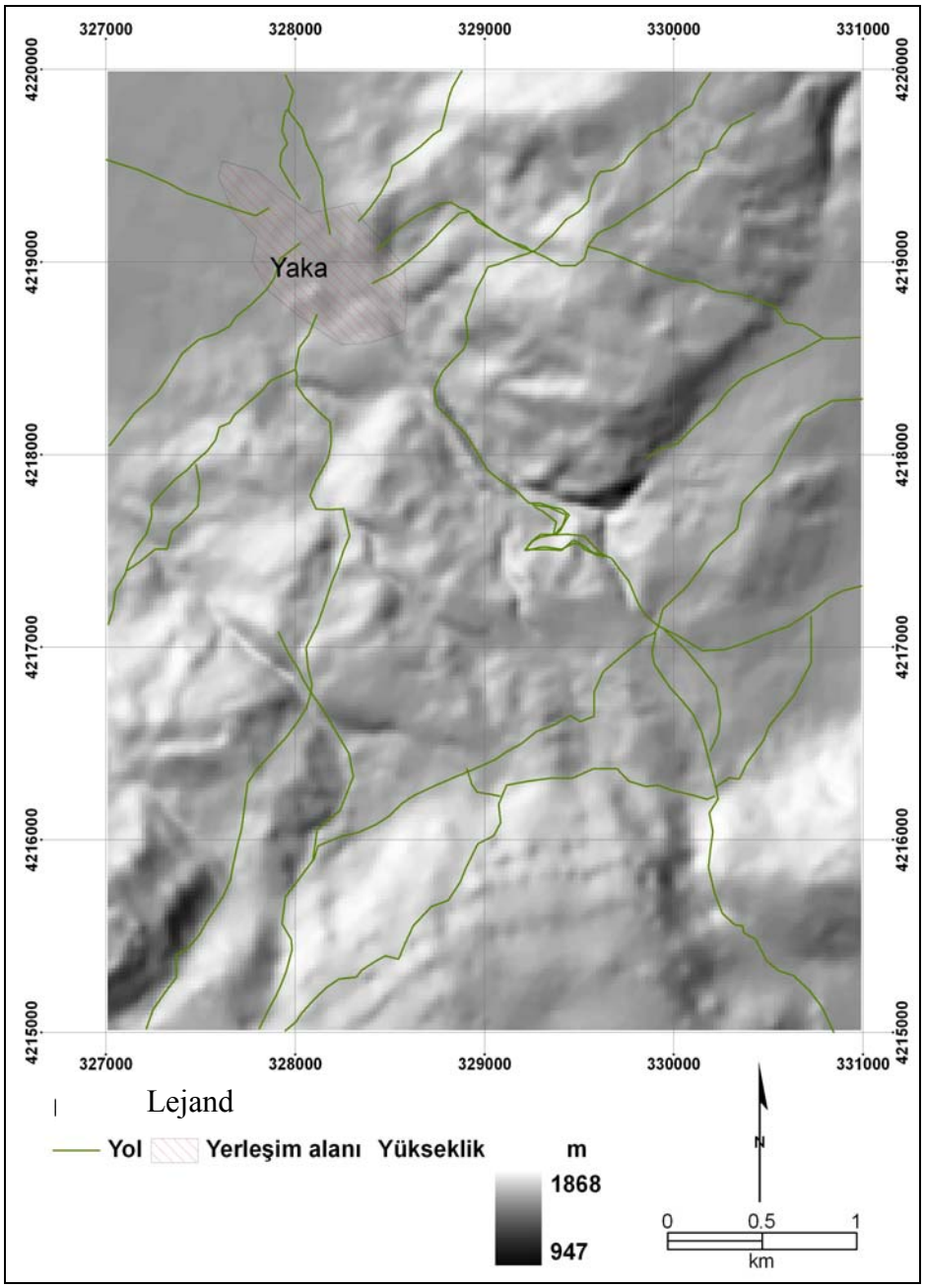
Çalışma alanının sayısal yükseklik modeli harita genel komutanlığınca hazırlanan 1/25000 ölçekli topografik haritanın sayısallaştırılması ile gerçekleştirilmiştir. Harita önce coğrafi bilgi sistemi yazılımı olan ArcGIS9.1'e girilerek daha sonrada bilinen koordinatların tanıtılması ile harita gerçek konumuna taşınmıştır. Aynı koordinatlarda oluşturulan şekil dosyası içerisine eş yükselti eğrileri çizilmiştir. Bu şekil dosyası daha sonra raster formatına dönüştürülmüştür. Heyelan incelemelerinde inceleme alanının büyüklüğüne, yapılacak olan çalışmanın ölçeğine, hassasiyetine ve işlemlerde kullanılacak olan bilgisayarın kapasitesine bağlı olarak genelde hücre aralıkları 5m ile 100 m arasınada alınabilmektedir. 1/25000 ölçekli incelemelerde bu aralık genelde 10m ile 30m arasında değişmektedir. Bu durum ve kllanılacak bilgisayar kapasitesi düşünülerek hücre aralığı 20 m olarak seçilmiştir. Bu seçime bağlı olarak inceleme alanı için 201 x 251 = 50451 hücre oluşturulmuştur. İnceleme alanının sayısal yükseklik modeli Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1, Yaka çevresinin Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) haritası.

3.1.2. Jeomorfoloji

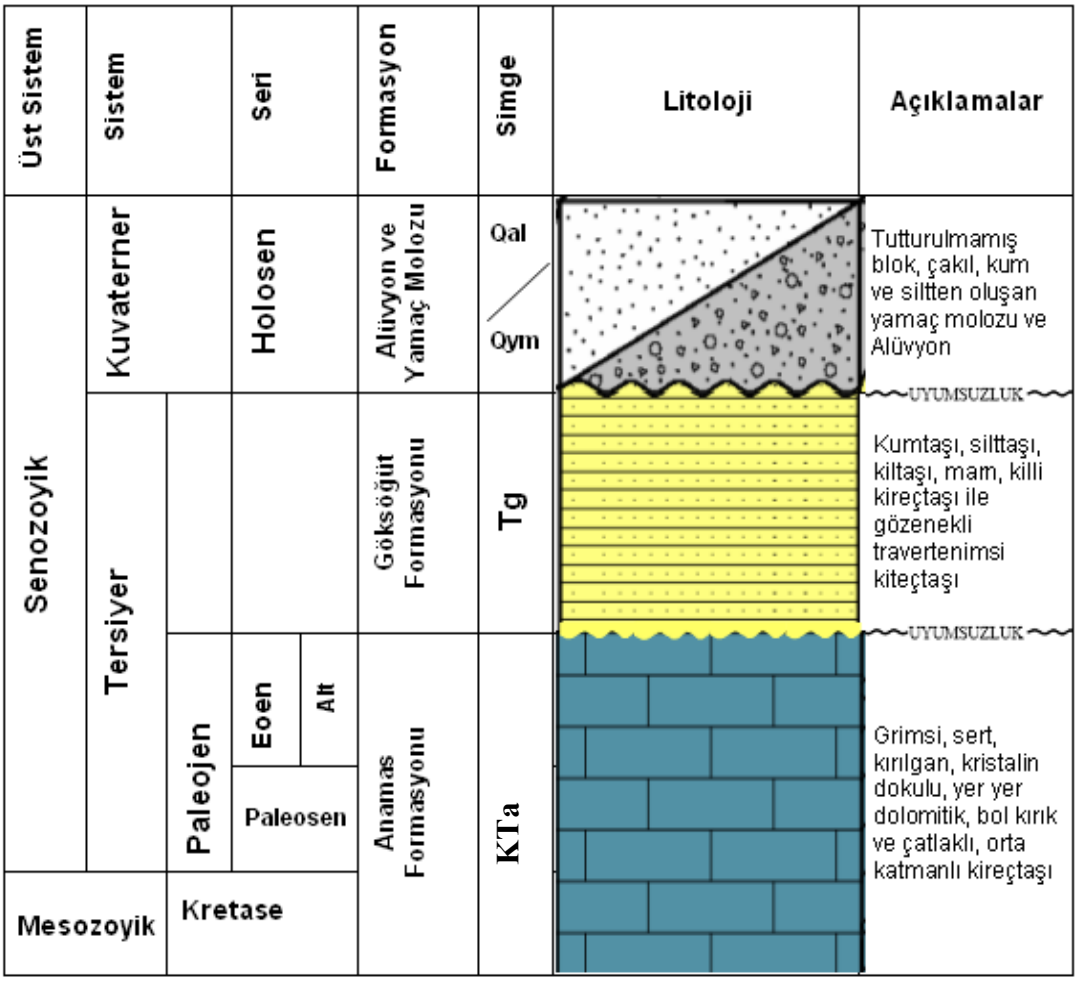
İnceleme alanı fazlaca engebeli topografik yapıya sahiptir. İncelenen alanın jeomorfolojik özelliklerinin oluşmasında farklı jeoloji ve litoloji yapısı ile faylanmaların oldukça etken olduğu görülmektedir. İncelenen alan dendritik drenaj ağına sahiptir. Sahada kuzeyden güneye gidildikçe çok sayıda kademeli teras niteliğinde yapılar gözlenmektedir. İncelenen alanın kuzeyinde alüvyonların bulunduğu kesimler oldukça düz topografik yapıya sahip iken yamaç molozları alüvyonlar ile daha yaşlı ve rijit litolojilerin yer aldığı kesimler arasında bulunmaktadır. İncelenen alanın orta kesimi nispeten yumuşak, dayanımı düşük kayaçlarla, daha güney kesimde ise sert sağlam kayaçların bulunması jeomorfolojik yapının bu özelliklere göre şekillenmesini sağlamıştır. İncelenen alanın en yüksek seviyelerini kireçtaşlarının yüzeylendiği güney kesim oluşturmaktadır. Yüksek kesimlerin fazlaca yağış alması, kırıklı çatlaklı kayaçların suyu güneye doğru boşaltmaları sonucunda genelde güney-kuzey veya güney-kuzeybatı doğrultulu derin vadilerin oluşmasına neden olmuştur. Bu vadiler çoğunlukla ilkbahar aylarında su bulundurmaktadırlar. Bölgede oluşan çok sayıda heyelan arazinin basamaklı bir yapı kazanmasına neden olmuştur. Pekişmemiş, zayıf dayanımlı, ayrışmış bozuşmuş birimlerden aşındırılan sedimanlar vadi kenarlarında veya daha güneyde bulunan ovaya taşınarak orada depolanmaktadır. İncelenen alanın ortasında yer alan Eğlence deresi gerek su boşalımının sağlanmasında gerekse malzeme taşınmasında oldukça önemli bir rol oynamaktadır. DEM haritasından çıkarılan arazinin üç boyutlu haritası Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2, Yaka çevresinin kabartmalı topografik yapısı.

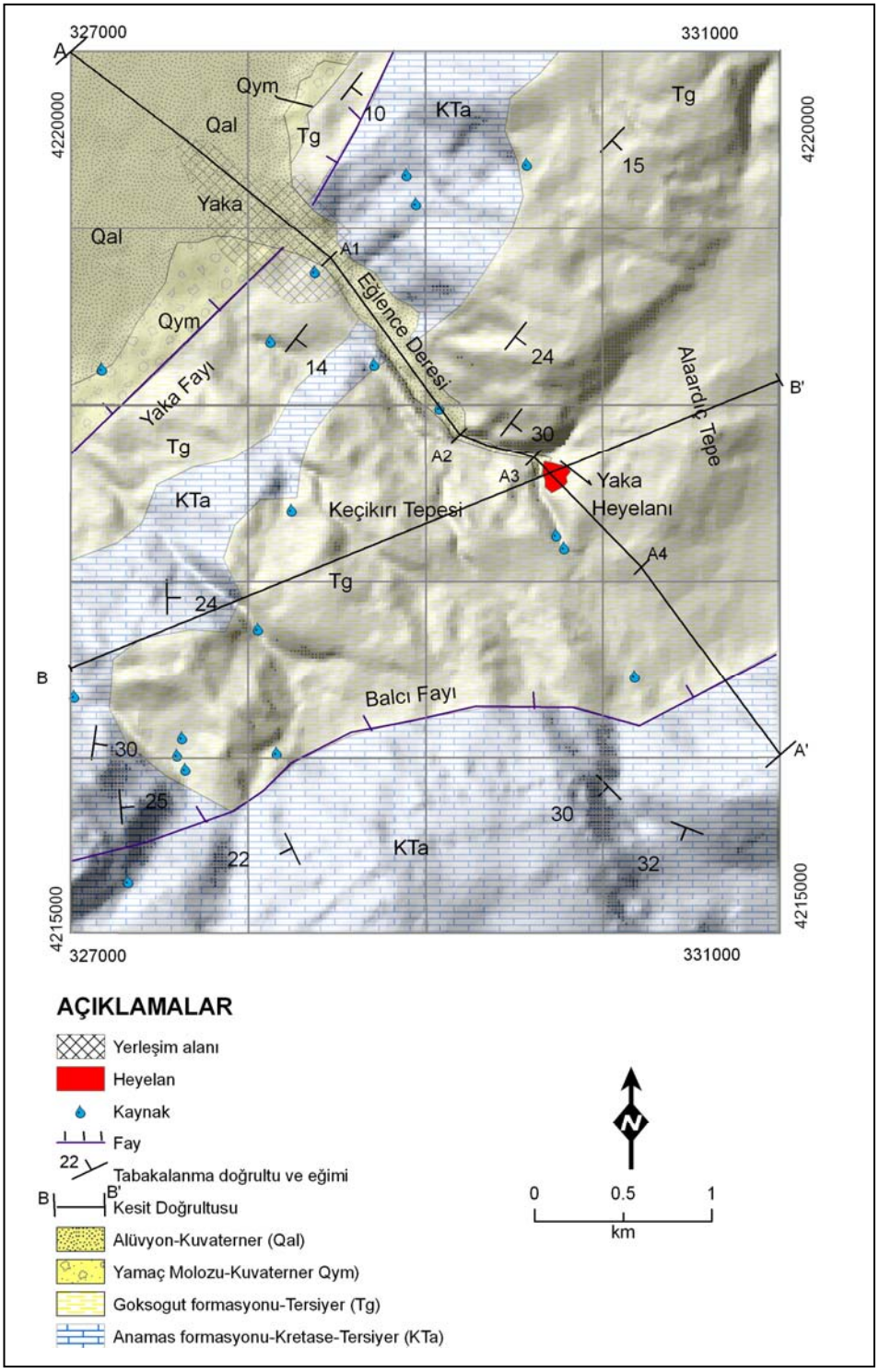
3.1.3 Jeoloji

İnceleme alanında alttan üste doğru Kretase-Tersiyer yaşlı Anamas formasyonu (Soyaslan 2004), Anamas formasyonu üstünde diskordan olarak bulunan Miyosen –Pliyosen yaşlı Göksöğüt formasyonu ve üstte ise güncel oluşumlardan yamaç molozları ile alüvyonlar gözlenmektedir. İnceleme alanın Soyaslan 2004'den alınan stratigrafik dikme kesiti Şekil 3.3'de ve yine Soyaslan (2004)'den alınan birimlere ilişkin detaylar ise aşağıda verilmiştir.



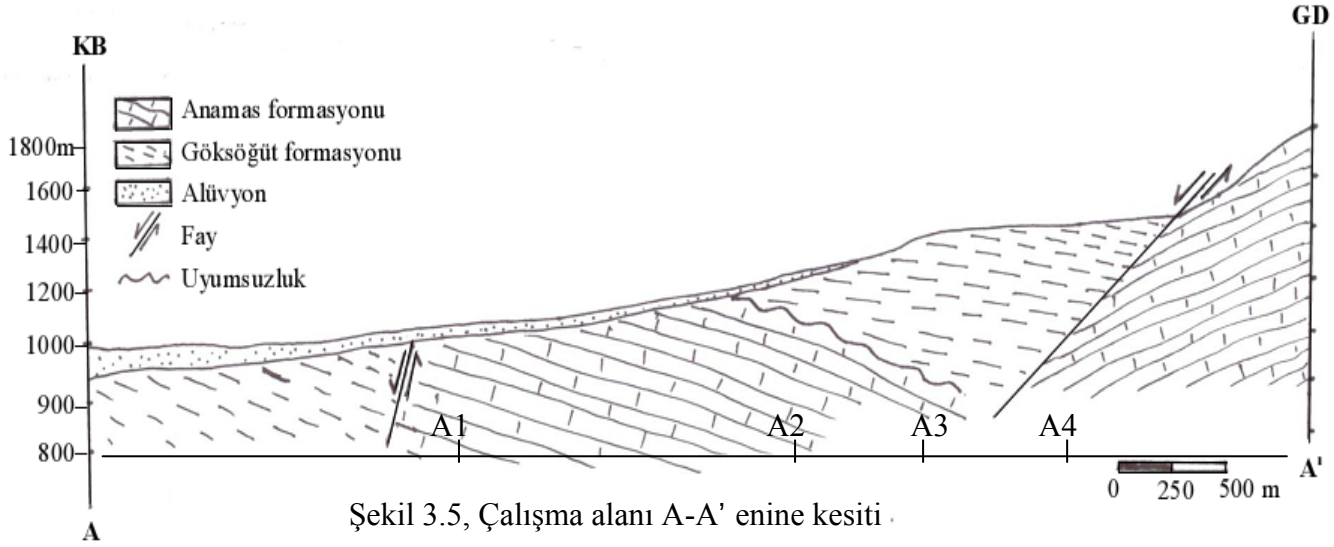
Şekil 3.3, Çalışma alanının stratigrafik dikme kesiti (Soyaslan 2004'den değiştirilerek alınmıştır,ölçeksizdir).

İnceleme alanının jeoloji haritası Şekil 3.4'de verilmiştir.

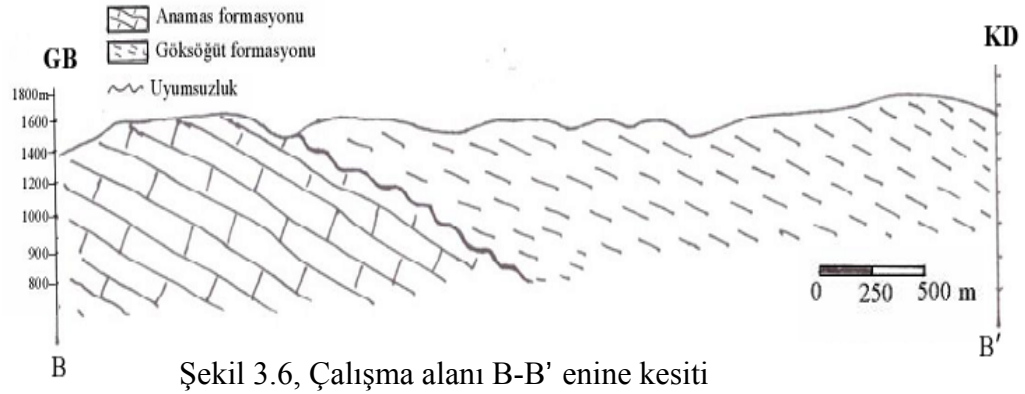


Şekil 3.4, Yaka çevresinin jeoloji haritası

Jeoloji haritasından çıkarılan kesitlerden de görüleceği üzere inceleme alanında gözlenen Göksöğüt formasyonu Anamas formasyonunun üzerine uyumsuz olarak gelmektedir (Şekil 3.5 ve 3.6).



Şekil 3.5, Çalışma alanı A-A' enine kesiti



Şekil 3.6, Çalışma alanı B-B' enine kesiti

3.1.3.1. Anamas formasyonu (KTa)

Anamas Formasyonu, altta siyah, koyu gri, krem renkli, orta kalın katmanlı kireçtaşı, üstte krem, bej renkli ince-kalın katmanlı, sert kırılgan, kristalin dokulu, bol kırık ve çatlaklı kireçtaşı ve yer yer dolomitik kireçtaşı ile temsil edilir (Soyaslan, 2004).

Orta Toroslarda Anamasdağ kesiminde yüzeyleyen bu birim Dumont ve Kerey (1975), tarafından Anamas-Akseki birliği; Özgül (1976), tarafından Geyikdağı birliği; Şenel ve ark. (1996), tarafından yeniden Anamas-Akseki otoktonu; Öztürk ve ark. (1981), tarafından Anamasdağ Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada Anamas Formasyonu isminin kullanılması uygun bulunmuştur.

Anamas Formasyonu çalışma alanının güneyinde Üçdiş Tepe, Sırataş ve Elmalıkoyak Mevkileri, çalışma alanının ortasına doğru; Çobantaşı mevkii, Koru mevkii, Orta Tepe ve Kaplangı Tepe' de mostra vermektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7, Sırataş mevkisinde mostra veren Anamas formasyonu

Anamas Formasyonu, Yaka civarında bol kırık ve çatlaklı, erime boşluklu, bozunma rengi gri beyaz, taze kırık yüzey rengi bej, kırılması zor, sert ve kırılgan, kristalin dokulu yer yer dolomitik olarak gözlenmektedir. Birim içerisinde birbiriyle

bağıntılı dolinler gelişmiş, tabakalar 50-80 cm kalınlığındadır. Tabaka yüzeylerinde dentritik şekilli siyah renkli bitki izlerinin varlığı dikkati çekmektedir. Ofiyolitik-kireçtaşı dokanağının tektonik özellikte olmasından dolayı kireçtaşları bireşik özellikler sunmaktadır. Köşeli değişik boyutlu bileşenler tekrar karbonat bir ara madde ile bağlanmış durumdadırlar.

Çalışma alanının güneyinde yüzeyleyen Anamas Formasyonu'nun tabanı gözlenmemektedir. Yaka Beldesi ve Balcı Köyleri güneyinde Göksöğüt Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir.

Çalışma alanının güneyinde yer alan Anamas Formasyonu'na ait karbonat istifinin, Yağmurlu (1992) tarafından egemen olarak Ammonit, Rudist ve Megalodont içerdiği belirtilmiştir. Elitok (2001), çalışma alanı dışında birimle ofiyolitler ile olan dokanağa yakın kesimlerden aldığı örneklerde yapılan yaş tayini sonucunda birimin yaşını Kretase-Alt Eosen olarak belirlemiştir.

3.1.3.2. Göksöğüt formasyonu (Tg)

Göksöğüt Formasyonu, alttan üste doğru başlıca çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı, çamurtaşı ile gölsel kireçtaşlarından oluşmaktadır. Formasyonu oluşturan litolojilerin alttan üste doğru tane boyu oldukça küçülmekte yer yer çakıl ve düzenli kil, silt, kum paketlenmeleri görülmektedir (Soyaslan, 2004).

İlk kez Demirkol (1986), tarafından "Göksöğüt Formasyonu" ismi kullanılmıştır. Birim adını çalışma alanının dışında kuzey doğuda geniş yayınım gösterdiği Göksöğüt Kasabası'ndan almıştır.

Birim Yaka Beldesi ve Balcı Köylerinde yüzeylenmektedir. İnceleme alanında kuzeyde Çeşsırtı, Kayagüney Sırtı, Beşardıç Tepe mevkilerinde, Batıda Şehitlik Tepe ve Yaka tepe, Güneyde Keçikırı Tepe, Alaardıç Tepe, Korubucak Mevkii, Doğuda Sazlı Tepe'ye kadar uzanan geniş bir yayılım göstermekte ve yüzeylenmektedir (Şekil 3.8).

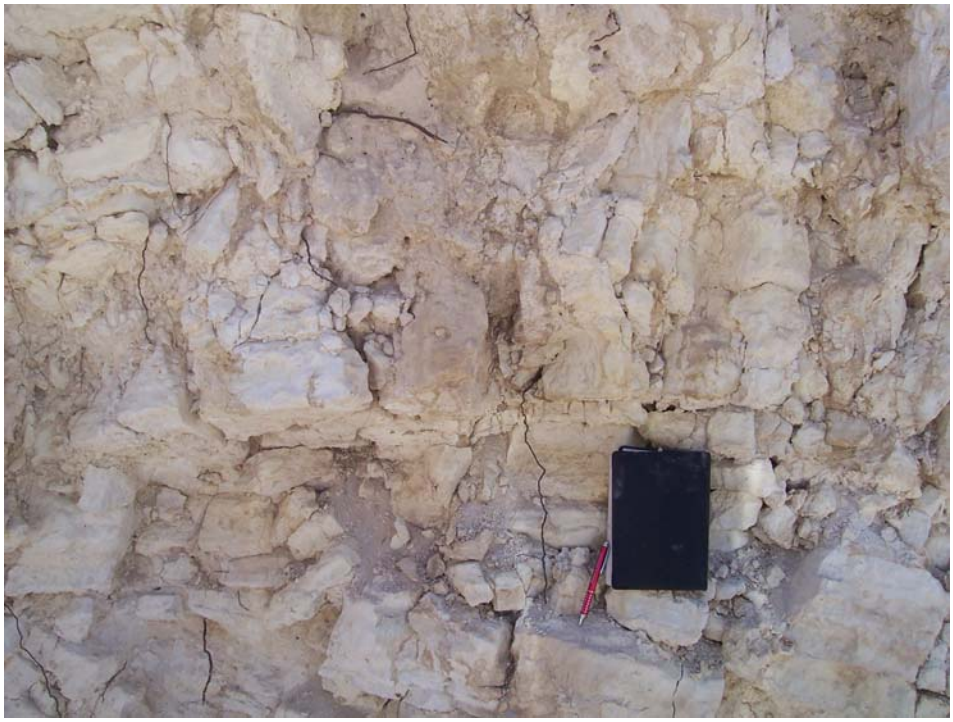
Göksöğüt formasyonu, altta yeşil, sarı kahverenkli kumtaşı, silttaşı ve kiltaşı seviyeleri ile başlayıp üstte yeşil, gri, beyaz renkli kiltaşı marn ve killi kireçtaşı seviyelerine geçmektedir. Birimin üst bölümünü oluşturan kireçtaşları, başlıca

sarımsı açık grimsi, orta ile kalın düzenli katmanlı, bol gözenekli ve travertenimsi özelliktedir.

Göksöğüt Formasyonu'nu oluşturan çakıltaşı, kumtaşı, kiltaşı ve çamurtaşı ardalanması oldukça kesintisiz görünümlüdür. Nöbetleşe kumtaşı ve çamurtaşında; çamurtaşı, marn, killi mikrit, kalkerinit ve çakıltaşı katkıları bulunur. Kumtaşı; sarı, turuncu, krem renkli, çakıllı ve çakıltaşı katkılı, küt köşeli, zayıf tutturulmuş, ince-orta , kalın katmanlı olup silisli kaya parçalarından oluşmuştur. Kumtaşı, çamurtaşı ve kiltaşına göre daha dayanımlıdır. Çamurtaşı, yeşilimsi, mavimsi, dayanımsız çok ince katmanlı ve geçirimsizdir. Kireçtaşı katkılarının taze yüzeyi krem, ayrışmış yüzü koyu krem, boz, sıkı, az fosilli olup yer yer kalsit damarları görülmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.8, Alaardıç Tepesinde mostra veren Göksöğüt formasyonunun güneye eğimli tabakalı yapısı.



Şekil 3.9, Göksöğüt formasyonu kili kireçtaşı ve marnları

Üste doğru tane derecelenmeli bölümler çakıltaşı içinde yaygın olarak bulunur. Çakıltaşının kalınlığı güneye doğru azalır. İnceleme alnında Göksöğüt Formasyonu Anamas Formasyonu'nu uyumsuz olarak üzerlemektedir.

Demirkol ve Sipahi (1979), bölgedeki Senozoyik yaşlı birimleri Bağkonak Formasyonu, Yarıkkaya Formasyonu, Göksöğüt Formasyonu olarak ayırtlamışlardır. Araştırmacılar, Göksöğüt Formasyonu ile Yarıkkaya Formasyonu'nun geçişli olduğunu ifade etmişlerdir. Yağmurlu (1987), birimin litolojik ve stratigrafik özellikleri dikkate alındığında bu birimi oluşturan kaba kırıntılı tortulların gölsel koşullara doğru açınım gösteren alüvyonal yelpaze ortamında depolanmış olabileceğini ifade etmişlerdir.

Yağmurlu (1991), birime ait kireçtaşları içinde Limnea sp. ve Planorbis sp. gibi tatlı su gastrapodları yaygın olarak bulunduğunu belirtmiştir. Demirkol (1982), formasyon içerisinde Lamellibranchia ve Gastrapod bulunduğunu fakat tanıtımın yapılamadığını belirtmiştir. Öztürk ve ark. (1981), Bahtiyar Köyü civarında aldıkları örneklerden, Radac (?), Ostrocodes: Caspiocypris cf. Candide gözlemlemişler ve birimin yaşını Miyosen-Pliyosen geçişi olabileceğini belirtmişlerdir. Bu verilerin ışığında birimin yaşı Üst Miyosen-Pliyosen olarak kabul edilmiştir.

3.1.3.3. Alüvyon ve yamaç molozu (Qal ve Qym)

Temel kayaları açılı uyumsuz olarak üstleyen alüvyon, özellikle çukur alanlarda eski alüvyon ve alüvial yelpaze çökellerinden oluşan bir kompleks şeklinde, temel birimlerden türemiştir. Alüvyon farklı şekil, boyut ve yuvarlaklıktaki blok, çakıl, kum, silt, kil ve bunların farklı kombinasyonlarının birikiminden meydana gelmektedir.

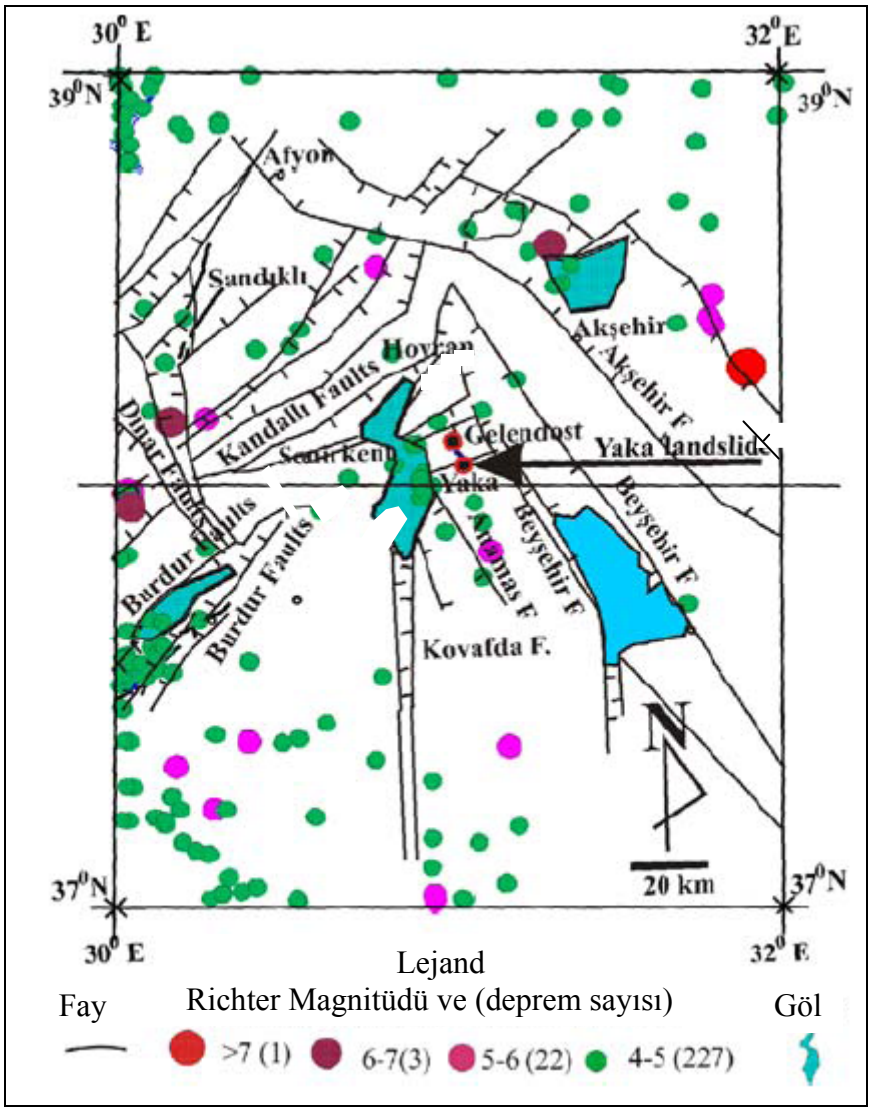
Alüvyon KD-GB doğrultusunda Gelendost İlçesinde ve Isparta-Konya yolunu takip eden dar bir alanda yayınım sunmaktadır.

Yamaç molozları Anamas Formasyonu ve Bağkonak Formasyonu'nun sarp dokanakları boyunca gelişmiş köşeli blok, çakıl ve kum boyutundaki tutturulmamış kırıntılardan oluşmaktadır. İnceleme alanının güneydoğusunda yer alan bu sarp topoğrafya boyunca Yaka Kasabası güneydoğusu ve kuzeybatısında yüzeylenmektedir. Genellikle kireçtaşı ve marnlara ait değişik boyutlu ve farklı derecelerde boyutlarda çakıl ve bloklardan oluşan yamaç molozu, vadilerin ağız kesimlerinde yelpaze görünümündedir.

3.1.4. Yaka çevresinin sismisitesi

İnceleme alanı ve çevresinde oldukça fazla aktif fay bulunmaktadır. Bu fayların genel doğrultuları kuzeydoğu güneybatı istikametindedir. Yaklaşık doğu batı doğrultulu Balcı fayı inceleme alanının güneyinde yer almaktadır. Bu fay genel olarak Anamas formasyonu ile Göksöğüt farmasyonu dokanağında gözlenmektedir. Diğer önemli fay ise inceleme alanının kuzeyinde yer almaktadır. Yaka fayı incelenen alanda 2 km, Balcı fayı ise yaklaşık olarak 4.5 km uzunluktadır. Her iki fayda eğim atımlı olup, kuzey bloklar düşmüştür. İncelenen alan Batı Anadolu Deprem Zonu (BADZ) içerisinde yer almaktadır. Yaka çevresinin depremselliği bu zon içerisinde bulunan çok sayıdaki aktif fay tarafından kontrol edilmektedir. Yaka fayı inceleme alanı içerisinde oluşan Yaka heyelanına sadece 2 km uzaklıktadır. Kandilli Rasathanesi'nden alınan inceleme alanı yakın çevresinde oluşan magnitüdü 4'den büyük olan depremlerin odaklarının harita düzlemi üzerine izdüşümleri Şekil

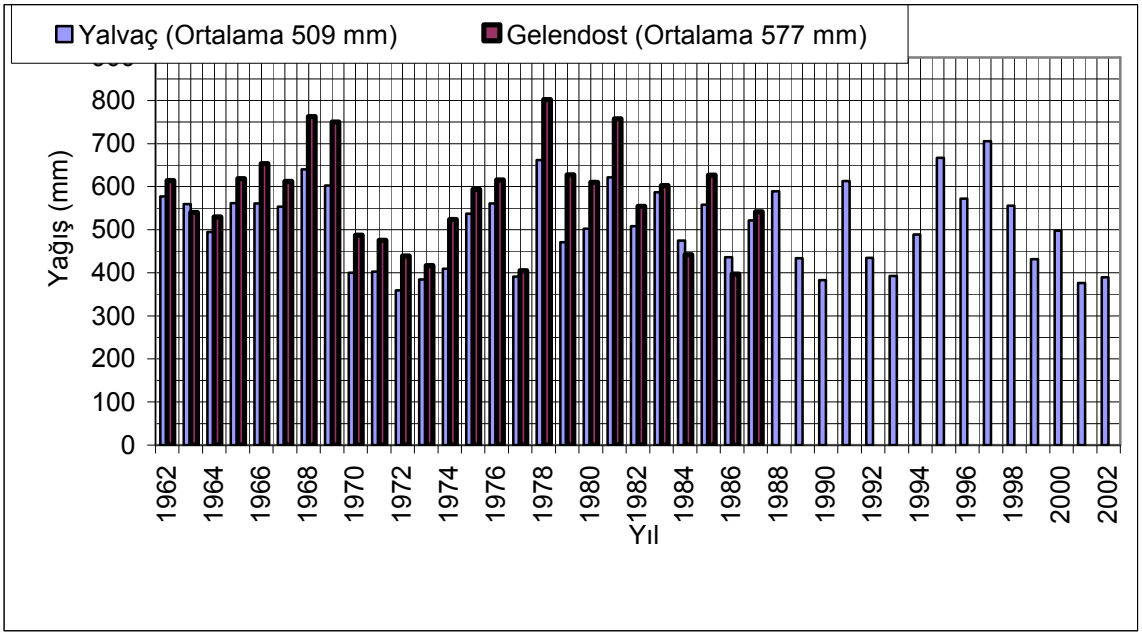
3.10'da verilmiştir. Son 107 yıl içerisinde bu alanda 223 sığ odaklı deprem oluşmuştur. Bu depremler incelenen alan yakınında bulunan Beyşehir fayı, Anamas fayı ile çevrede bulunan diğer faylara bağlı olarak oluşmuşlardır. İncelenen alan ve çevresinin sismotektoniği ile ilgili detay bilgiye Koçyiğit ve ark. (2000), Boray ve ark. (1985) ve Koçyiğit (1983) den elde edilebilir. İnceleme alanı Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası'nda 1. Derecede deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır. Pik yatay yer ivmesi 100 yıllık dönüşüm peryodu için 0,353g, 225 yıl için 0.43g, 475 yıl için 0.507g, 1000 yıl için 0.586g olarak verilmektedir (Gülkan ve ark. 1993).



Şekil 3.10, Yaka ve çevresinin sismotektonik haritası (Koçyiğit, 1984'den değiştirilerek).

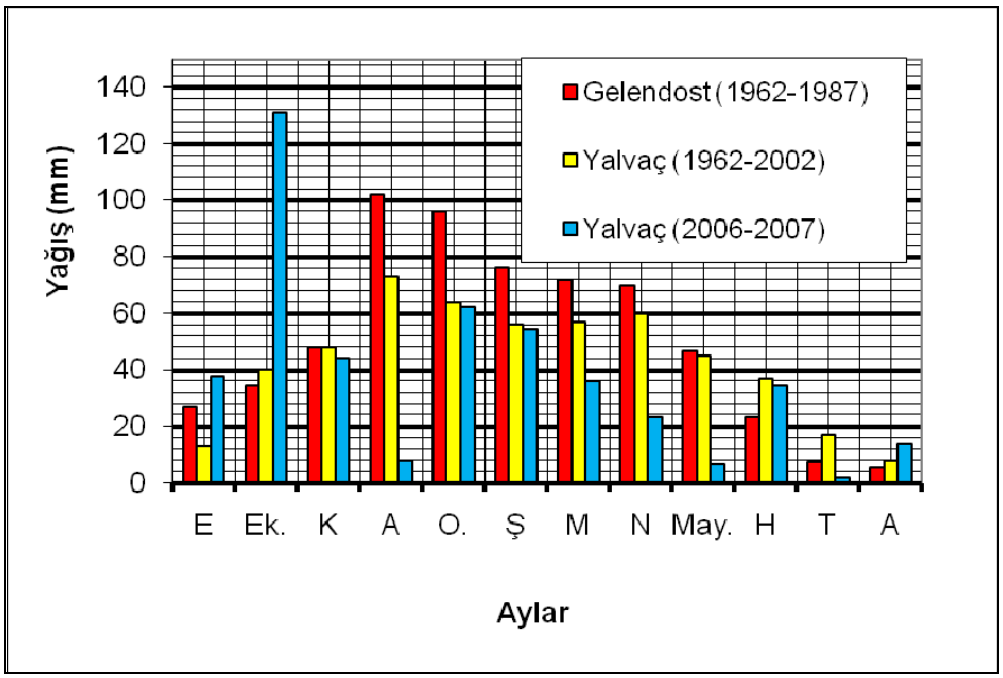
3.1.5. Hidrometeorolojik veriler

İnceleme alanı ve çevresinde, Akdeniz Bölgesinde görülen Akdeniz iklimi ile orta Anadolu bölgesinde görülen karasal iklim tipi arasında geçiş özelliği gösteren bir iklim yapısı bulunmaktadır. Genelde yazın hava sıcak ve kuru, kışın ise nispeten soğuk ve yağışlıdır (Topçam ve ark. 1977). Bölgede bulunan çok sayıdaki göl havanın ılımasında önemli rol oynamaktadır. Yaka çevresinde Gelendost, Yalvaç ve Eğirdir meteoroloji yağış istasyonları bulunmaktadır. Gelendost ve Yalvaç Meteoroloji istasyonları inceleme alanına daha yakın olmaları ve yaklaşık deniz seviyesinden aynı yükseklikte bulunmaları nedeniyle bu istasyonlardan alınan yağış değerleri değerlendirmeye alınmıştır. Gelendost ilçesinde bulunan gözlem istasyonunun kapanması nedeniyle buradan ancak 1962-1987 yılları arasındaki 25 yıllık gözlem değerleri kullanılabilmiştir. Yalvaç meteoroloji istasyonundan ise 1962-2002 yılları arası 40 yıllık gözlem değerleri kullanılabilmiştir . Gelendost ve Yalvaç meteoroloji istasyonu gözlemlerine göre ortalama yağış yüksekliği sırasıyla 509 mm ve 577 mm dir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11, Yalvaç ve Gelendost meteorolji istasyonları yağış değerleri.

Gelendost meteoroloji istasyonu verilerine göre aylık yağış yüksekliği 6 mm ile 102 mm arasında değişmektedir. Gelendost meteoroloji istasyonu aylık yağış değerlerinin Eylül-Ağustos aralığında çizilen grafiğinde yağışın kasımda en yüksek yağışın oluştuğu ve bu değerin mart ayına kadar kademeli olarak düştüğü görülmüştür (Şekil 3.12). İncelenen alan kışın karla örtülmektedir. Yaka heyelanının oluştuğu dönemde buradaki kar örtüsünün 65 mm ile yağış miktarının ise 75 mm civarında olduğu belirlenmiştir. Yaz mevsiminde alana düşen yağış oldukça düşüktür. Hem yağışın az olması, hem de buharlaşmanın fazla olması nedeniyle yaz mevsiminde bölgedeki zeminin su içeriğinin oldukça düşük olabileceği söylenebilir. Yalvaç meteoroloji istasyonu verilerine göre 2006 yılı Ekim ayında 130 mm yağış olduğu belirlenmiştir.

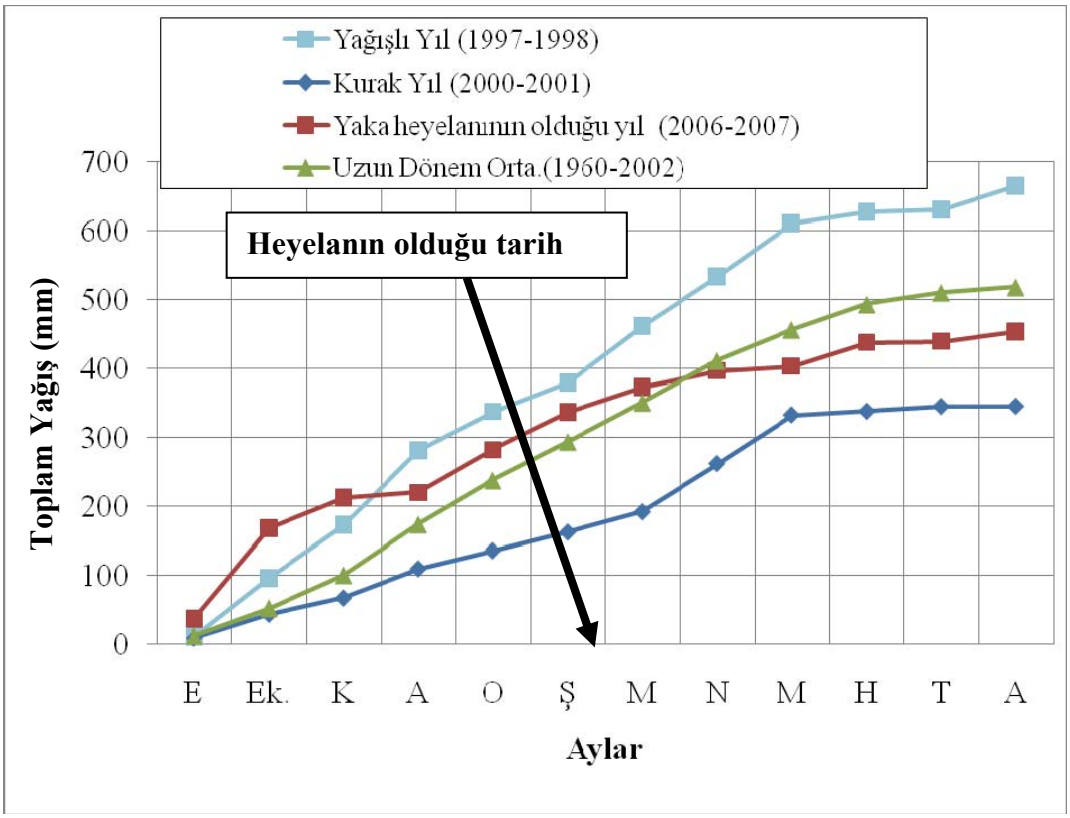


Şekil 3.12, Meteoroloji istasyonlarının aylara göre yağış değerleri.

Bölgede sonbahar aylarında yağışların artması, kış aylarında düşen karın arazide birikmesi ve bahar ayında erimesi ile zemin su içeriği artmakta, zeminin kesme dayanımını düşürmesi sonucu heyelanı tetikleyen bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Heyelanın olduğu 2007 yılı şubat ayı toplam yağış miktarı 337 mm olmasına karşılık, 1960-2002 yılları arası ortalama toplam yağış ise 294 mm olarak görülmektedir (Şekil 3.13).

Yaka heyelanının olduğu 2007 yılı şubat ayında yağış miktarı uzun yıllar ortalamasına göre yaklaşık %13.8 daha fazla, 1998 yılı ortalamasına göre ise %90 daha fazladır. Heyelanın bu faktörlerin tetiklemesi ile oluştuğu düşünülmektedir.

Yaka heyelanının oluşumu ile ilgili detaylar Özdemir ve Delikanlı (2008)'de detaylı olarak verildiğinden tekrardan kaçmak için burada verilmemiştir.



Şekil 3.13, Aylara göre toplam yağış değerleri.

3.2. Yöntem

Çalışmada Yaka çevresinin heyelan duyarlılığı lojistik regresyon (Logistic regression) yöntemi ile belirlenmiş ve olabilirlik ağırlığı (Weight of evidence) yöntemi ile ise kontrolü sağlanmıştır.

3.2.1. Lojistik regresyon ve yöntemi

Bilindiği üzere regresyon ve korelasyon analizi basit regresyon ve korelasyon ile çoklu regresyon ve korelasyon olarak ayrılabilmektedir. Basit korelasyon analizinde iki değişken arasındaki doğrusal ilişkinin yönü ve büyüklüğü, basit regresyon analizinde bu ilişkinin durumu (yönü, büyüklüğü, eğimi), çoklu regresyon analizinde bir bağımlı değişken ile iki veya daha fazla açıklayıcı değişken arasındaki ilişkinin araştırılması yapılmaktadır. Kısacası basit ve çoklu regresyon analizleri bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında bulunan matematiksel ilişkiyi analiz etmektedir. Bu yöntemlerin uygulanabilmesi için bağımlı ve bağımsız değişkenler ile hata varyansının normal dağılım göstermesi gerekmektedir. Bilindiği üzere heyelan birçok nedene bağlı olarak oluşabilmektedir. İstatistik dilinde heyelana neden olan faktörler bağımsız, heyelan ise bağımlı değişken olarak tanımlanabilir. Bağımlı ve bağımsız değişken ayırımını yapıldığı çok değişkenli bir modelde bağımlı değişken nominal ölçekli bir değişken olduğunda en küçük kareler (EKK) tekniği ile elde edilen tahminler yetersiz kalmaktadır (Albayrak, 2006). Bağımlı değişkendeki değerler nominal yani doğru - yanlış, sağlam - bozuk, heyelan var - heyelan yok vb. gibi ikili sonucu olan dikotom yapıda olduğunda ayırma (diskriminant) ve lojistik regresyon yöntemleri kullanılmaktadır. Ayırma analizinde verilerin sınıflandırılması ve belirli olasılıklara göre belirli sınıflara atanması yapılırken, normal dağılım varsayımı da ön koşul olarak kabul edilmektedir. Ayırıca yine bağımsız değişkenlerin kovaryanslarının her grup düzeyinde eşit olması kabulü de yapılmaktadır. Bu kabullerden dolayı bağımsız değişkenler arasında nominal veya ordinal ölçekli (metrik olmayan) değişken ve/veya değişkenlerin kullanılması durumunda yukarıda sayılan iki varsayım sağlanamadığından bu durumlarda lojistik regresyon uygulanmaktadır. Lojistik regresyon bağımlı değişkenin tahmini değerlerini olasılık olarak hesaplayarak, olasılık kurallarına uygun olarak sınıflama yapma imkanı veren bir yöntemdir (Özdamar, 2002).

Basit olarak özetlenirse, doğrusal regresyon analizinde tahmin edilecek olan bağımlı değişken sürekli, lojistik regresyon yönteminde tahmin edilecek olan bağımlı değişkenin sürekli olması koşulu yoktur. Doğrusal regresyon yönteminde bağımsız değişkenlere göre bağımlı değişkenin alabileceği değer belirlenirken, lojistik

regresyon yönteminde ise bağımsız değişkenlere göre bağımlı değişkenin alabileceği değerlerden birisinin gerçekleşme veya gerçekleşmeme olasılığı belirlenir.

Lojistik regresyon yöntemi heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında yukarıda değinilen nefenlerden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır (Dai ve Lee 2001; 2002; Ohlmacher ve Davis 2003; Lee 2004; 2005; Guzzetti ve ark. 2005; Yesilnacar ve Topal 2005; Lee ve Min, 2001; Ayalew ve Yamagishi 2005; Zhu ve Huang 2006).

3.2.1.1. Lojistik regresyon analizi

Lojistik Regresyon Analizi-Logistic Regresion Analysis (LRA), Çoklu Regresyon Analiz- Multiple Regression Analysis (MRA) yöntemlerinden olup, sonuç değişkenlerinin kategoriksel yapıda olduğu zaman kullanılır. Pratikte elde edilen sonuçların kategorik olduğu durum oldukça yaygındır. Öncelikle MRA daha sonrada LRA üzerinde durulacaktır. MRA' da elde edilen değerler sürekli olup elde edilen bu değer bağımsız değerlerle lineer ilişki içerisindedir. MRA denklemi aşağıda verildiği gibidir.

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + ... + \beta_p X_p + \varepsilon = \alpha + \sum_{J=1}^{p} \beta_j X_j + \varepsilon \quad (3.1)$$

Bu denklemden de görüleceği üzere Y, beklenen değer, β değerleri ise çoklu regresyon katsayılarıdır. ε ise hata terimidir. Eğer hata terimi ihmal edilirse model aşağıdaki gibi olur.

$$E(Y / X_1,..., X_2) = Y' = \alpha + \sum_{J=1}^{p} \beta_j X_j \quad (3.2a)$$

$Y=Y'+\varepsilon$ dur. (3.2b)

Burada Y' bağımsız değişkenlere bağlı fonksiyon ve ε hata terimidir.

LRA modelde Y kategorik olduğu kabul edilerek bu kategorik değerden herhangi birisinin olması olasılığı belirlenir. Örneğin Y ikili bir değişkene sahipse ve Y'nin 1 olması durumu $\pi=P(Y=1)$ ile gösterilirken, Y=0 ise bu değerin olasılığı $1-\pi=P(Y=0)$ olarak ifade edilmektedir. LRA odds oranının tabii logaritması ile lineerdir. Başka bir ifade ile Y=1 seçilmesi durumunda LRA odds oranı ile lineer olacaktır. Odds oranı ise doğrudan olasılık olmak üzere olabilirlik ihtimalinin olamazlık

ihtimaline oranıdır. Odds oranı 5/2 ise birinci olasılık 5 birimken ikincisinin olasılığı 2 birimdir.

$$\mathrm{Log_e}\left[\frac{P(Y=1/X_1,...X_p)}{1-P(Y=1/X_1,...X_2)}\right]=\mathrm{Log_e}\left[\frac{\pi}{1-\pi}\right]=\alpha+\beta_1X_1...+\beta_pX_p=\alpha+\sum_{J=1}^{p}\beta_jX_j \tag{3.3}$$

Burada π, P(Y=1| X1,...,Xp) için koşullu olasılıktır. Log(odds) ise π'nin logit transformudur.

MRA ile LRA yukarıda verilen logit transforum dışında tamamen aynıdır. Burada sadece beklenen Y değeri yerine Y=1 koşulu için odds oranı belirlenmektedir. MRA ile LRA arasındaki farklardan birisi olasılıklar ve odds oranı toplamadan ziyade çarpım kurallarına uyarlar ve ikincisi de log-odds oranını tekrar olasılıklara çevirmek için basit bir üstel fonksiyon transformasyonunun yapılması gerekmektedir. Logistic fonksiyonun ters transform şekli aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$P(Y=1/X_1,...X_p)=\frac{e^{\alpha+\sum_{J=1}^{p}\beta_jX_j}}{1+e^{\alpha+\sum_{J=1}^{p}\beta_jX_j}} \tag{3.4}$$

Matematikte çok iyi bilinen $e^a/(1+e^a) = 1/(1+e^{-a})$, ilişkisine dayanarak LRA bazen aşağıdaki gibide verilebilmektedir.

$$P(Y=1/X_1,...X_p)=\frac{1}{1+e^{-(\alpha+\sum_{J=1}^{p}\beta_jX_j)}} \tag{3.5}$$

Yine matematikte çok iyi bilinen $1- e^a/(1+e^a) = 1/(1+e^a)$ kuralına uygun olarak LRA, 0 cevap beklentisi için aşağıdaki gibi yazılabilmektedir;

$$P(Y=0/X_1,...X_p)=1-P(Y=1/X_1,...X_p)=\frac{1}{1+e^{\alpha+\sum_{J=1}^{p}\beta_jX_j}} \tag{3.6}$$

3.2.1.2. Verilere LRA modelinin uydurulması

Lojistik regresyon modelinin incelenmesi (1) model oluşturma, (2) modelin değişkenlerin önemliliğinin modelde test edilmesi ile (3) katsayıların yorumlanması aşamalarından oluşmaktadır.

MRA analizinde olduğu gibi burada 2 aşama vardır. Önce modelden parametrelerin kestirilmesi yapılmalı ve sonrada gözlenen parametrelere uyan model üzerinde tanımlamaların yapılması gerekmektedir. MRA da verilere uyan fonksiyonun parametreleri en küçük kareler yöntemiyle (EKK) belirlenmektedir. Daha sonrada elde edilen modelin verilere uyma durumu test edilmektedir. Ancak LRA modelde bu aşama oldukça farklılıklar içermektedir. Modelden α ile regresyon katsayıları β_j değerleri belirlenir. Modelin yapısından dolayı parametrelerin tahmininde en küçük kareler yönteminden ziyade "Maksimum Olabilirlik Yaklaşımı-Maximum Likelihood Equation" (MLE) kullanılmaktadır. MLE'de öncelikle verilerin durumuna uygun bir Sonuç (L) belirlenir. L örneğin başarı durumu için olasılık ile başarısızlık durumu için olasılık değerlerinin çarpımından elde edilmektedir.

$$L = \prod_{i=1}^{n} P(Y_i / X_{i1},...X_{ip}) = \prod_{i=1}^{n} \left\{ \left[\frac{e^{\alpha + \sum_{J=1}^{p} \beta_j X_j}}{1 + e^{\alpha + \sum_{J=1}^{p} \beta_j X_j}} \right]^{y_i} x \left[\frac{1}{1 + e^{\alpha + \sum_{J=1}^{p} \beta_j X_j}} \right]^{1-y_i} \right\} \quad (3.7)$$

i'ninci, durum için Y sonucu 0/1 dir ve örneklerde n durumu varsa X_{i1}, …, X_{ip} i'ninci durum için tahmin edilen parametrelerin değerleridir. Y_i ve $1\text{-}Y_i$ değerlerinin yukarıdaki eşitlikte üssel olarak kullanımı, olabilirliğin $Y_i=1$ ve $Y_i=0$ durumlarını değerlendirmek içindir. L'yi maksimum yapabilecek α ve β_j değerleri hesaplanır. Bu hesaplama işlemine maksimum olabilirlik kestirimi (MLE) denilmektedir. MLE işlemleri çok karmaşık olup MRA deki en küçük kareler yöntemiyle kestirim yapmaya karşılık gelir. Ancak genel yaklaşımı başlangıçta belirlenen bilinmeyen parametreler belirlenir ve daha sonra bu parametreler L'yi maksimum yapıncaya kadar değiştirilir. Bu iteratif işlemeler gelişmiş olan SAS, SPSS v.b gibi yazılımlarla yapılabilmektedir. Maksimum yapan parametreleri ayırt

etmek için a ve b_j değerleri kullanılmaktadır. Verilerden belirlenen kestirimler MRA analizinde olduğu gibi test edilerek modelin geçerliliği denetlenir.

3.2.1.3. Uydurulan LRA modelin yorumlanması

LRA modelinden elde edilen sonuçlar üç aşamada değerlendirilir. Bunlardan birincisi, denklemdeki her bir terim Log-odds'a olan katkı derecesini belirler yaklaşımının kullanılmasıdır. Böylece, Xj de her bir birim artış/düşüş, Y=1 durumunda, Log-odds da, bj birimi kadar artış-düşüşe neden olur. Yine tüm kestirilen değerler a'ya eşitlenirse, Y=1 durumunda kestirilen log-odds değeri sabit terim a'ya eşit olacaktır. İkinci olarak ise LRA denkleminin aşağıdaki gibi odds'un üstel şekline transform edilmesidir

$$\left[\frac{\pi}{1-\pi}\right] = e^{a+b_1X_1+...+b_pX_p} = e^{a} \text{ x } e^{b_1X_1} \text{ x } .....\text{x } e^{b_pX_p} \qquad (3.8)$$

Odds ile ilgili olarak burada şu vurgulanabilirki, Xj deki her bir birim artışı odds oranında exp(bj) kadar artışa neden olur. Eğer X bir birim düşerse, odds oranındaki azalış exp(-bj) kadar olacaktır. Benzer şekilde eğer tüm kestirimler 0'a eşitlenirse, odds oranı exp(a) kadar olur.

Son olarak, sonuçlar lojistik fonksiyonun kullanılmasıyla olasılıksal olarak ifade edilebilir.

$$P(Y=1/X_1,...X_p) = \frac{e^{\alpha+\sum_{J=1}^{p} b_jX_j}}{1+e^{\alpha+\sum_{J=1}^{p} b_jX_j}} \qquad (3.9)$$

Konu ile ilgili detay bilgi Hosemer ve Lemeshow (2000)'den elde edilebilir. İncelemede kullanılacak olan lojistik regresyon yönteminin uygulanması ile ilgili detaylara ileride değinilecektir.

Çalışmada lojistik regresyon yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılığının belirlenmesi ArcGIS 9.1 yazılımı ile uyumlu çalışan ArcSDM3 modülü vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.

Lojistik regresyon yöntemi ile belirlenen heyelan duraylılığının karşılaştırılmasının sağlanması amacıyla aynı verilere olabilirlik ağırlığı yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemle ilgili kısa bilgide aşağıda sunulmuştur.

3.2.2. Olabilirlik ağırlığı yöntemi (Weight of evidence)

Olabilirlik ağırlığı (weight of evidence) istatiksel Bayesian yaklaşımı olarak bilinmektedir. Önceleri mineralizasyon değerlendirmelerinde kullanılan yöntem son yıllarda heyelan duyarlılık analizlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır (Lee ve Choi 2004). Metod ArcSDM3 modülü (Kemp ve ark. 2001) vasıtasıyla uygulanmıştır. Yöntemin esası Prior ve Posterior olasılık yaklaşımları ile belirli bir alanda heyelan olan ve heyelan olmayan alanlarda heyelana etki eden-etmeyen bir faktörün heyelan oluşumuna katkı ağırlığının belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Modelin heyelan duyarlılığının belirlenmesinde kullanımı ile ilgili olarak detay bilgiye Lee ve Choi (2004), Lee ve ark. (2002) ile Barbieri ve Cambuli (2009)'dan elde edilebilir. Modelin uygulanması ile ilgili temel yaklaşımlar ise aşağıdaki gibi özetlenebilir (Barbieri ve Cambuli 2009):

Eğer A_t ile gösterilen bir çalışma alanının belirli bir kısmında oluşan heyelan alanı A_f ise prior olasılık aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$P_f = \frac{A_f}{A_t} \tag{3.9}$$

Bu olasılık heyelan olma veya heyelanı oluşturan faktörlerle artabilmekte veya azalabilmektedir. A_f alanı içinde herhangi bir heyelan oluşumuna katkı sağlayan değişkenin (örneğin heyelan alanında eğimi $30\text{-}50^0$ arasında olan yamaç eğiminin) olaya katkısı ise aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$P_v = \frac{T_v}{A_t} \tag{3.10}$$

Burada T_v belirli bir faktörün toplam alan (A_t) içindeki alanıdır. n tane sınıf içinde j tane parametre varsa heyelan olabilme ihtimali;

$$P[A_f / T_v] = \frac{P(T_v \cap A_f)}{P_v} = \frac{P[T_v / A_f]}{P_v} x P_f \qquad (3.11)$$

olarak ifade edilebilir. Benzer şekilde posterior olasılık ise aşağıdaki şekilde verilmektedir;

$$P[A_f / T'_v] = \frac{P(T'_v \cap A_f)}{P_v} = \frac{P[T'_v / A_f]}{P'_v} x P_f \qquad (3.12)$$

Olabilirliğin olamazlığa oranı olarak ifade edilen odds oranı ise aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$O = \frac{P}{1 - P} \qquad (3.13)$$

Daha önce verilen prior ve posterior olasılık eşitlikleri odds oranına bağlı olarak yeniden ifade edilebilir;

$$O[A_f / T_v] = \frac{O(T_v / A_f)}{O_v} x O_f \qquad (3.14a)$$

$$O[A_f / T'_v] = \frac{O(T'_v / A_f)}{O'_v} x O_f \qquad (3.14b)$$

Olabilirlik ağırlığı yukarıda verilen eşitliklerin tabi logaritması ile ifade edilirler;

$$\ln O_T [A_f / T_v] = W_v^+ + \ln O_f \qquad (3.15a)$$

$$\ln O_T [A_f / T'_v] = W_v^- + \ln O_f \qquad (3.15b)$$

Burada,

W^+ : n sınıf içindeki j ninci parametrenin olabilirliğini gösteren pozitif ağırlığı

W^- : n sınıf içindeki j ninci parametrenin olamama olabilirliğini gösteren negatif ağırlığıdır.

Ağırlıklar ise aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$W^{+} = \ln \frac{P\left[T_v / A_f\right]}{P\left[T_v / A^1{}_f\right]} = \ln \left[\frac{\dfrac{T_v \cap A_f}{A_f}}{\dfrac{T_v \cap A^1{}_f}{A^1{}_f}} \right] \tag{3.16}$$

$$W^{+} = \ln \left[\frac{\dfrac{\textit{Gözönüne alınan sınıf içindeki heyelan alanı}}{\textit{Toplam heyelan alanı}}}{\dfrac{\textit{Gözönüne alınan alanda stabil alan}}{\textit{Toplam stabil alan}}} \right] \tag{3.17}$$

$$W^{-} = \ln \frac{P\left[T^1{}_v / A_f\right]}{P\left[T^1{}_v / A^1{}_f\right]} = \ln \left[\frac{\dfrac{T^1{}_v \cap A_f}{A_f}}{\dfrac{T^1{}_v \cap A^1{}_f}{A^1{}_f}} \right] \tag{3.18}$$

$$W^{-} = \ln \left[\frac{\dfrac{\textit{Diger sınıflar içindeki toplam heyelan alanı}}{\textit{Toplam heyelan alanı}}}{\dfrac{\textit{Diger sınıflar içindeki toplam stabil alan}}{\textit{Toplam stabil alan}}} \right] \tag{3.19}$$

Eğer çok sayıda parametre var ise her sınıf içindeki tüm parametrelerin ayrı ayrı toplamları toplam alan içindeki heyelan ihtimalini verecektir.

$$\ln O_T \left[A_f / T_{v1}{}^k \cap T_{v2}{}^k \cap T_{v3}{}^k \ldots\ldots \cap T_{vn}{}^k \right] = \sum_{i=1}^{n} W_{vi}{}^k + \ln O_f \tag{3.20}$$

Burada, k değeri + (var) veya – (yok) olarak alınabilir. Herbir paramatre için W^+ ile W^- arasındaki fark heyelan olabilme veya heyelan olmaya etki etmenin ölçüsü olarak değerlendirilmektedir.

$$C = W^{+} - W^{-} \tag{3.21}$$

C'nin değeri 0'a yaklaştıkça ele alınan parametrenin etki derecesi azalmaktadır. Pozitif değeri etkinin artmasını, negatif değeri ise etkinin olumsuz yönde olduğunu göstermektedir. Değerinin 2 veya daha fazla olması ele alınan parametrenin heyelan olmaya oldukça yüksek oranda katkı sağladığını göstermektedir.

4 ARAŞTIRMA BULGULARI

Araştırma bulguları üç aşamada değerlendirilebilir. Bunlardan ilki araştırmaya konu verilerin üretilmesi, ikincisi üretilen verilerin modele uygulanması ve sonuncusu da modelin uygulanmasından elde edilen verilerle heyelan duyarlılık haritasının elde edilmesi ve değerlendirilmesidir.

4.1 Heyelan Duyarlılık İncelenmesinde Kullanılan Veriler

GIS esaslı heyelan duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan değişkenler heyelan incelemesinin yapıldığı yerin özelliklerine ve araştırıcıya göre farklılıklar göstermektedir. Duyarlılık incelemelerinde, topografik eğim, eğim yönü, deniz seviyesinden yükseklik, yamaç profil eğriliği, yamaç plan eğriliği, yamaç tanjansiyel eğrilik, topografik nem indeksi, yeraltısuyu derinliği, akarsu aşındırma indeksi, akarsu sediment taşıma indeksi, litoloji, litolojinin ayrışma bozuşma derecesi, ayrışma-bozuşma derinliği, tabakalanma doğrultu ve eğim yönünün yamaçla ilişkisi, rölatif geçirgenlik, arazi kullanımı, süreksizlik, yer malzemesinin jeomekanik değerleri, drenaj ve yol ağı yoğunluğu, faya ve/veya drenaj ağına uzaklık, deprem ivmesi, yağış türü ve miktarı, süresi v.b. gibi çok sayıda değişken yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoğunlukla bu değişkenlerden araştırıcının değerlendirmesine göre etkin olabileceği düşünülenler seçilerek kullanılmaktadır.

Bu çalışmada heyelan duyarlılığının belirlenmesinde, mevcut ve/veya eski heyelanlar, arazi eğimi, deniz seviyesinden yükseklik, eğim yönü, yamaç plan eğriliği, yamaç profil eğriliği, akarsu aşındırma indeksi, topografik nem indeksi, jeoloji ile arazi kullanımı değişkenleri kullanılmıştır. Bu haritalardan mevcut veya eski heyelan, jeoloji ile arazi kullanım haritaları arazi çalışmaları ile hazırlanmıştır. Arazi eğimi, yükseklik, eğim yönü, yamaç plan, profil ve tanjansiyel eğrilikler, topografik nem indeksi ve akarsu aşındırma indeksi ise DEM haritasından üretilmiştir. Bu bölümde yukarıda sayılan haritaların özelliklerine yer verilmiştir.

4.1.1 Heyelan haritasının yapılması

İncelenen alana ilişkin daha önceden hazırlanmış heyelan envanter haritası bulunmadığından alanda mevcut veya eski heyelanlar arazi gözlemlerine göre 1/25000 ölçekli harita üzerine çizilerek hazırlanmıştır.

Bu heyelanlardan paleoheyelanlar inceleme alanındaki morfolojik yapı dikkate alınrak belirlenmiştir (Şekil 4.1). Güncel olarak ilk küçük heyelan Alaardıç Yamacı'nda Mart 2006 da olmuştur. Alaardıç Yamacı'nın alt kesiminde oluşan bu küçük heyelan hakkında çok fazla bilgi yoktur. Aynı yamaç üzerinde en son ve büyük Yaka Heyelanı 19.02.2007 tarihinde oluşmuştur. Heyelan hızlı kar erimesi ve yoğun bir yağışı takip eden bir periyot sonucunda oluşmuştur. Yaka Heyelanı çok fazla miktarda bozuşmuş ve zemin özelliği kazanmış olan marnlarda kayma tipinde başlamıştır. Takiben çamur akıntısına dönüşerek Eğlence Deresi içerisinde akışa geçmiştir ve vadi içerisinde 750 m kadar aktıktan sonra taşınan malzeme vadi içerisinde depolanmıştır. Yaka heyelanı'nın başlangıç alanı ile Eğlence Deresi içerisindeki çökelme alanı Şekil 4.2 , 4.3 ve 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.1, Yaka güneyinde oluşan eski heyelanlardan dolayı arazinin basamaklı yapı özelliği kazanması



Şekil 4.2, Yaka heyelanı taç noktası gerisinde oluşan çekme çatlakları



Şekil 4.3, Yaka heyelanı sonrasında oluşan çamur akıntısının Eğlence deresi içerisinde akması



Şekil 4.4, Eğlence deresi boyunca çamur akması ve çökelme alanı

İncelenen alanda 1/25000'lik topografik harita, koordinat belirleme cihazı kullanılarak yaklaşık 4 gün arazi çalışması sonucunda gözlemlere dayalı olarak 21 adet heyelan alanı belirlenmiştir (Şekil 4.5). Bu heyelanlarda kayma yüzeyi derinliği çoğunlukla sığdır. Çoğunda kayma yüzeyinin taç noktası ile birleşim yerindeki heyelan aynası (scarp) belirgindir. Heyelan haritalamada sadece heyelan aynası kısmı değil, tümüyle hareket eden kesim haritalanmıştır. Belirlenen toplam heyelan alanı 0.48 km^2, en küçük heyelan alanı 0.004 km^2, en büyüğü ise 0.12 km^2 kadardır. İncelenen alanını 20 km^2 olduğu düşünülürse yaklaşık olarak incelenen alanın 0.48/20 = %2.4'lük kısmı heyelan alanıdır. Oluşturulan heyelan poligon haritası daha sonra modelin uygulanması aşamasında modelin çalışmasından kaynaklanan sebeplerle nokta heyelan haritası haline getirilmiştir. İnceleme alanındaki heyelan alanları 20m x 20m hücrelerden oluşacak şekilde noktasal heyelan alanlarına dönüştürüldüğünde tüm heyelan alanları 1201 adet nokta veri ile temsil edilmiştir (Şekil 4.5).

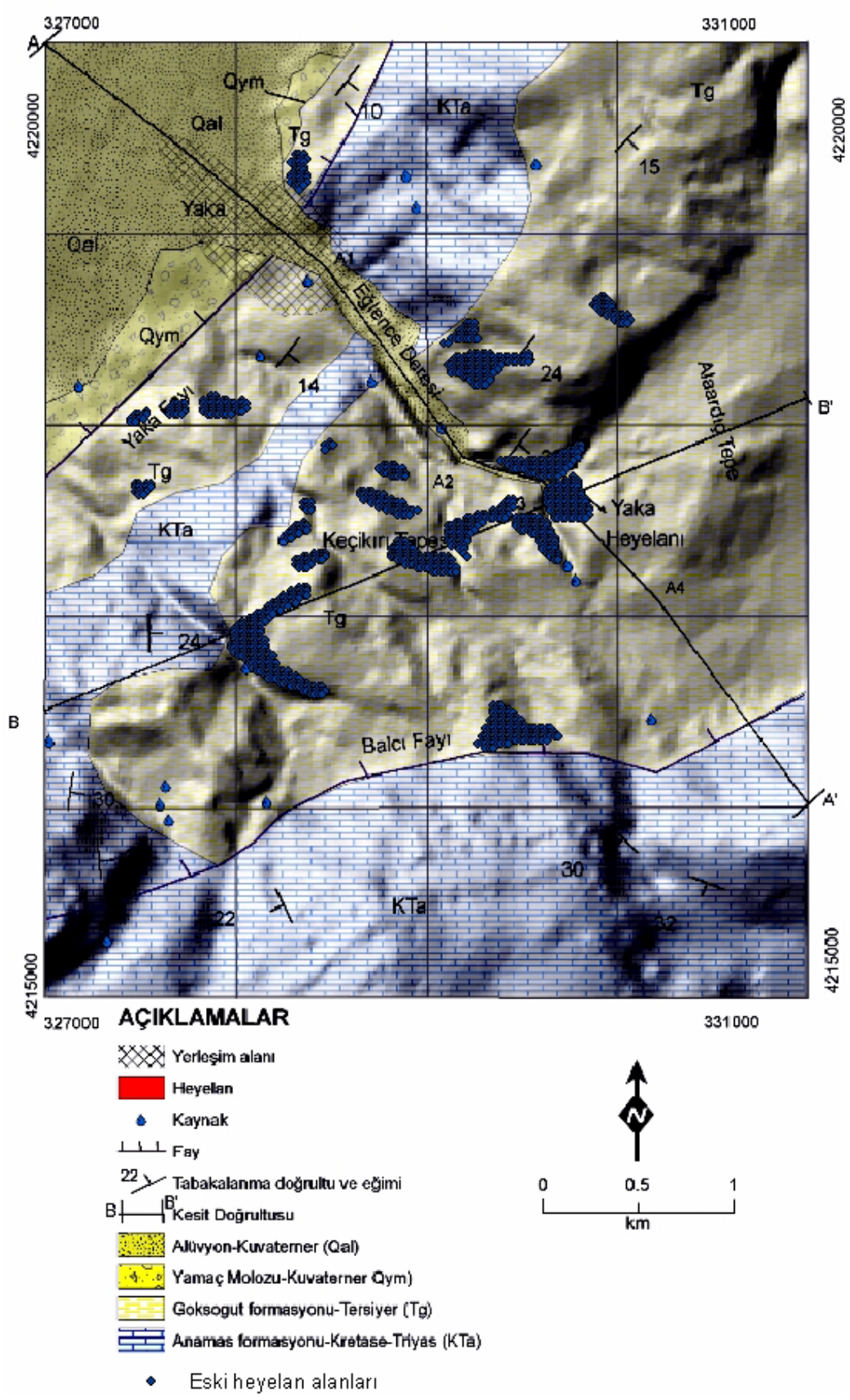
4.1.2. Arazi kullanım haritası

İncelenen alanda arazi kullanım haritası arazi çalışmaları ile belirlenmiştir. Arazi kullanım haritasında yerleşim alanı, tarım alanı, mera-orman, mera-kayalık alan olarak sınıflanmıştır (Şekil 4.6).

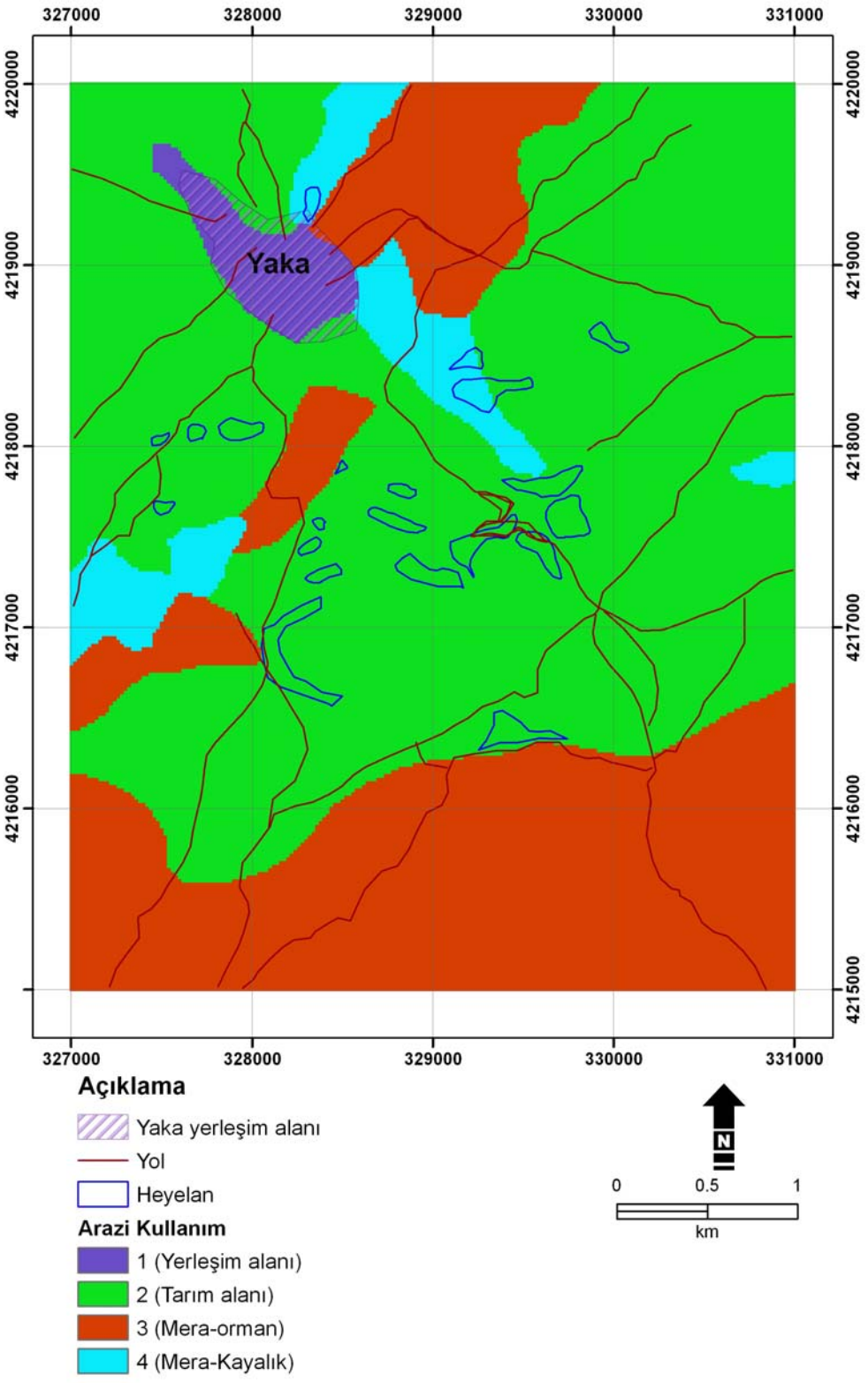
İnceleme alanının arazi kullanım sınıflarının alansal dağılımı incelendiğinde 12.17 km^2 ile en fazla alanı tarım alanları, daha sonra 6.44 km^2 ile mera-ormanlık alanlar kapsamaktadır. Mera-kayalık alanları 1.08 km^2 ve yerleşim alanları 0.47 km^2 kadar alan kapsamaktadır (Şekil 4.7).

4.1.3. Yamaç eğim haritası

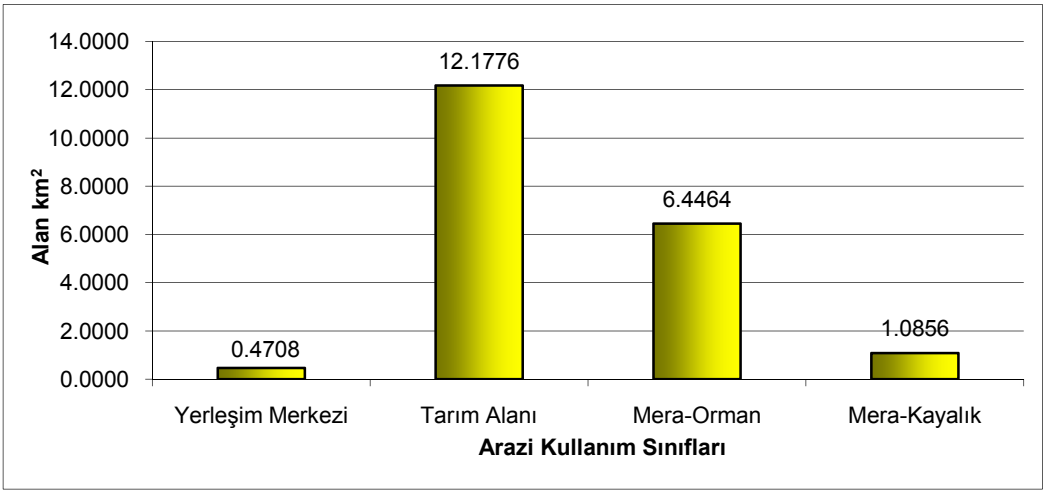
İnceleme alanında eğim haritası DEM haritasından üretilmiştir (Şekil 4.8). Bu haritada minimum eğim 0^0 derece, maksimum eğim 50^0 ve ortalama eğim $13.2^{0'}$dir. Eğimdeki standart sapma 9.3'tür. Yaka Heyelanının olduğu yerde eğim 30-35^0 civarındadır. İnceleme alanındaki yamaç eğimlerinin alansal dağılımı incelendiğinde; 20 km^2 olan inceleme alanının yaklaşık olarak yarısına yakın alandaki yamaç eğiminin 0-10 derece arasında olduğu görülmektedir. İnceleme alanının yaklaşık olarak %30'lık kısmında (5.96 km^2) ise eğim 10-20 derece arasında değişmektedir. İncelenen alanın %16'lık kısmında (3.289 km^2) eğim 20-30 derece arasında ve yaklaşık 1 km^2 kadar alanda (0.917 km^2 . %4.6) 30-40 derece arasında ve geriye kalan 0.048 km^2 alanda (%0.024) ise yamaç eğimi 40 derece ile 50 derece arasında değişmektedir (Şekil 4.8 ve 4.9).



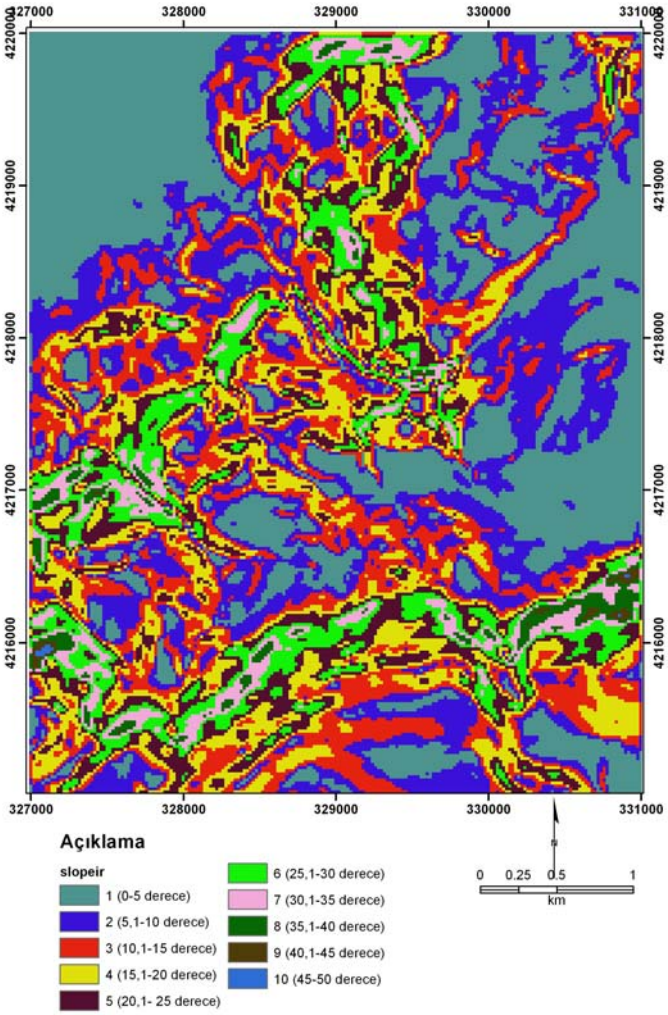
Şekil 4.5, Jeoloji haritası üzerinde eski heyelan alanları.



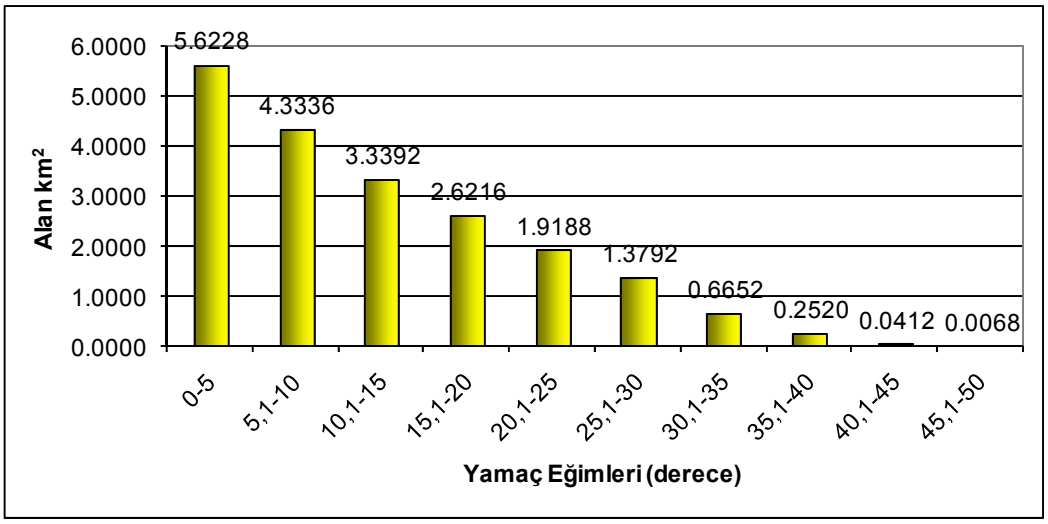
Şekil 4.6, Arazi kullanım haritası ve heyelanlar.



Şekil 4.7, Arazi kullanım sınıflarının alansal dağılımı.



Şekil 4.8, İnceleme alanı eğim haritası

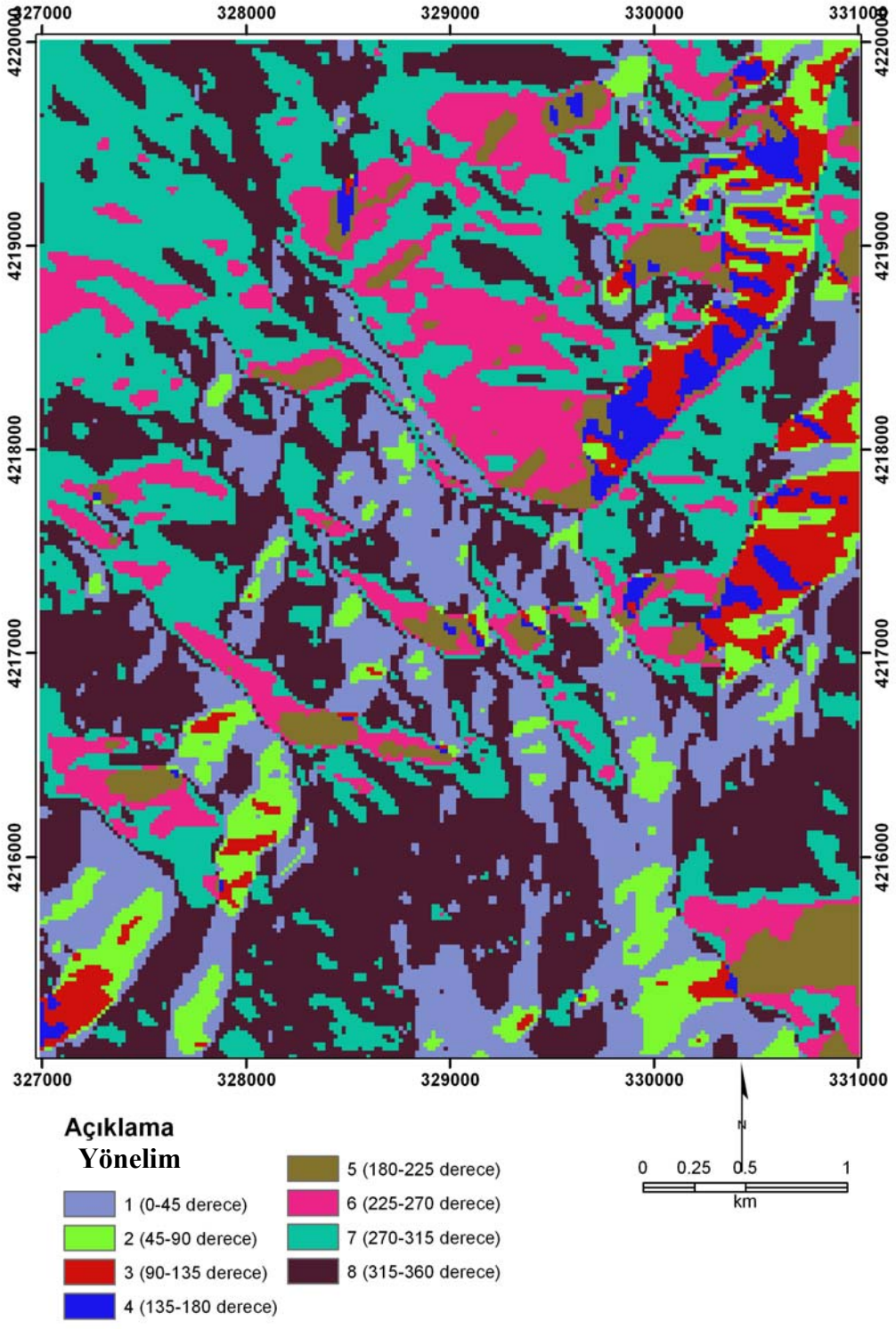


Şekil 4.9, Yamaç eğimlerinin alansal dağılımı.

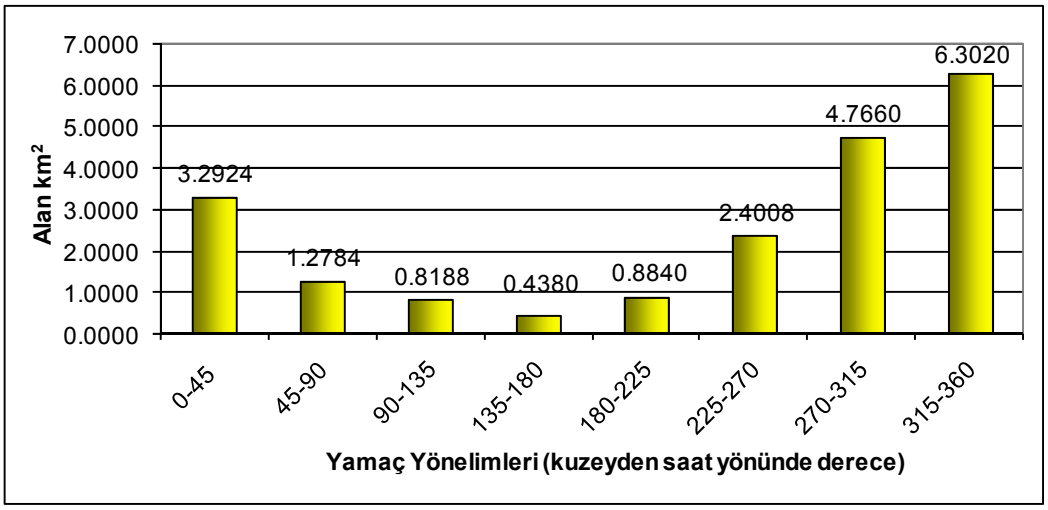
4.1.4.Yamaç yönelimi (bakı) haritası

Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan haritalardan yönelim haritası da yine incelenen alana ait DEM haritasından oluşturulmuştur (Şekil 4.10). Yamaçların hangi yöne eğimli olduğunu gösteren bu haritada kuzey 0 derece alınarak saatin dönüş yönüne uygun olarak derecelendirilmiştir. Heyelan analizinde 45 derecelik açılara göre katagorik yapı oluşturulmuştur. Yamaç yönelimleri kuzeyden itibaren minimum 3.7 derece ile maksimum 360 derece arasında değişmektedir. Ortalama yamaç yönelimi kuzeyden itibaren 229 derecedir. Yamaç yönelimindeki standart sapma 120^0 'dir. Yamaç yönelimleri ortalamasının 229^0 olması arazide genel yamaç eğim yönünün GB yönüne doğru olduğunu işaret etmektedir.

Yamaç yönelimlerinin büyükten küçüğe doğru alansal dağılımı incelendiğinde; kuzeyden itibaren saat yönünde 315-360 derece arasındaki yamaçlar 6.03 km^2, 270-315 derece yönündeki yamaçlar 4.76 km^2, 0-45 derece yönündeki yamaçlar 3.29 km^2, 225-270 derece yönündeki yamaçlar 2.4 km^2 kadar alan kaplamaktadır. İncelenen alanda yaklaşık 14.3 km^2'kadar alanda yamaç yöneliminin 270-45 derece arasında olduğu görülmektedir. Diğer taraftan 45-90 derece yönündeki yamaçlar 1.27 km^2, 180-225 derece yönündeki yamaçlar 0.88 km^2, 90-135 yönündeki yamaçlar 0.81 km^2, 135-180 derece yönündeki yamaçlar ise 0.43 km^2 kadar alan kapsamaktadır (Şekil 411).



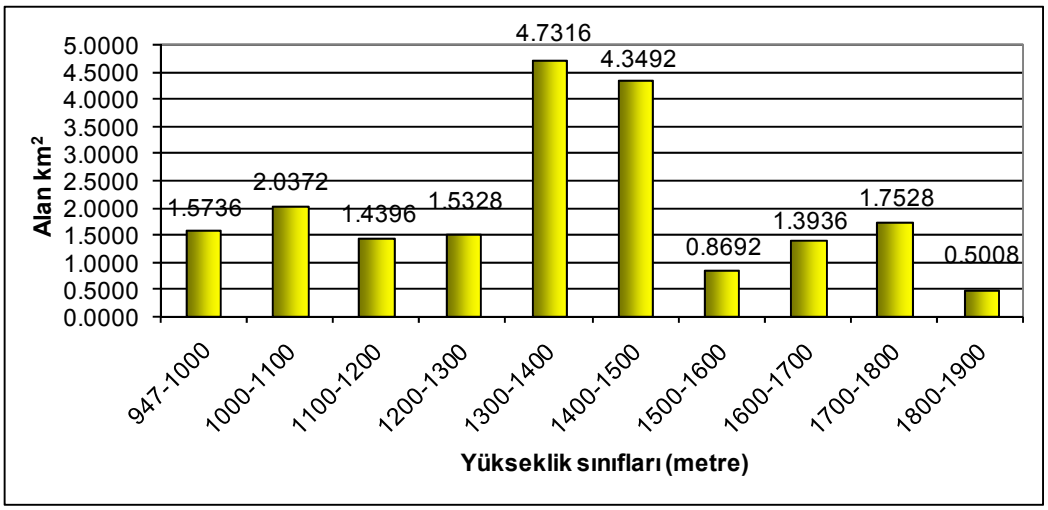
Şekil 4.10, Yamaç yönelimi haritası (açılar kuzeyden saat dönüş yönünde alınmıştır).



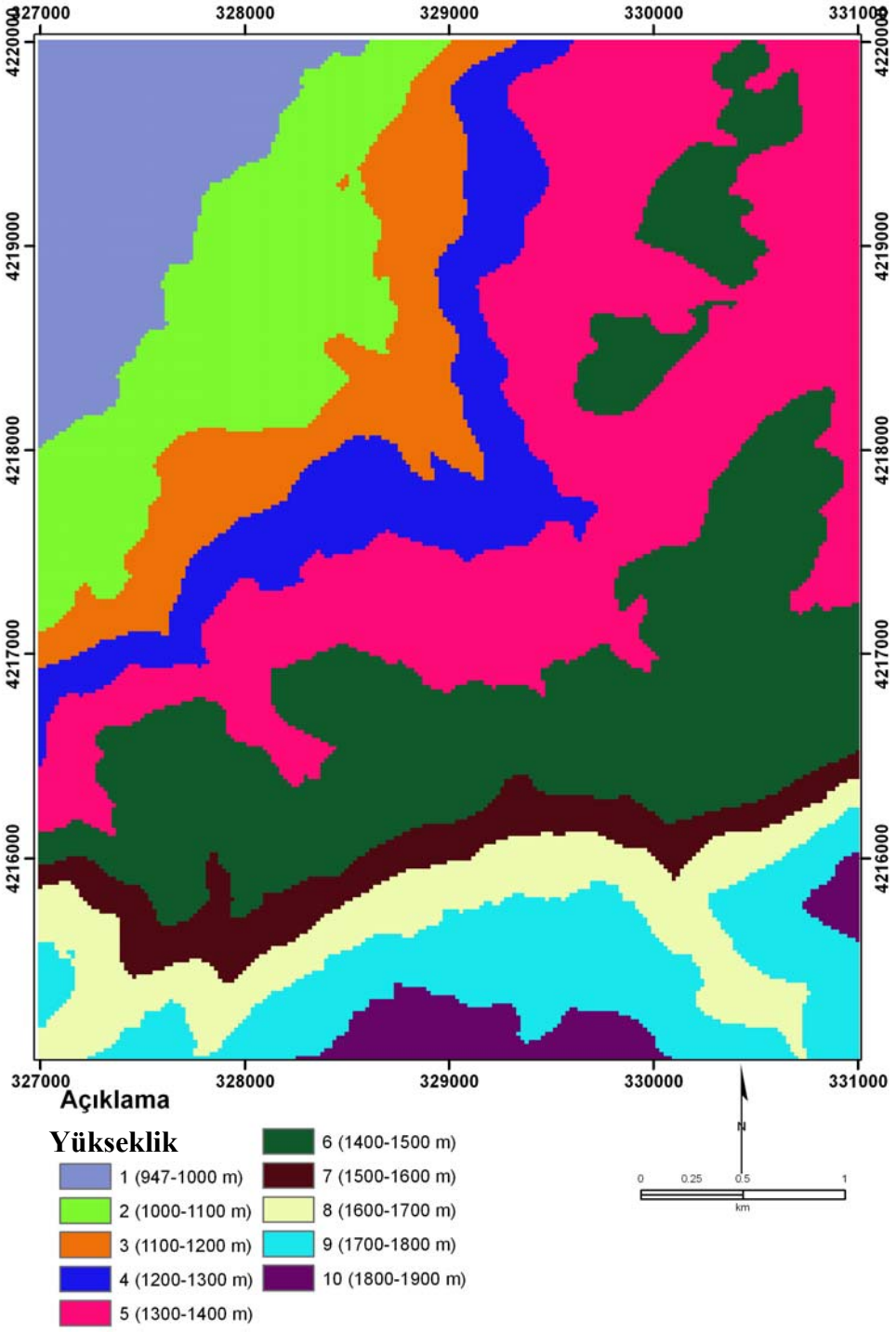
Şekil 4.11, Yamaç yönelimlerinin alansal dağılımı

4.1.5.Yükseklik haritası

Şekil 4.12'de de görüldüğü üzere inceleme alanına ait yükseklik haritasında en yüksek tepenin inceleme alanının güneyinde yaklaşık 1869 m, en düşük seviyelerin ise inceleme alanının kuzeyinde 948 m civarında olduğu belirlenmiştir. Ortalama yükseklik 1408 m yükseklk değerlerindeki standart sapma ise 2.3 civarındadır. Yüksekilik sınıflarının alansal dağılımında 1300-1500 m arası yükseklik aralığında alanın yaklaşık 9.08 km^2, diğer yükekliler aralıklarındaki alanların ise 2.1-0.5 km^2 arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 4.12 ve 4.13).



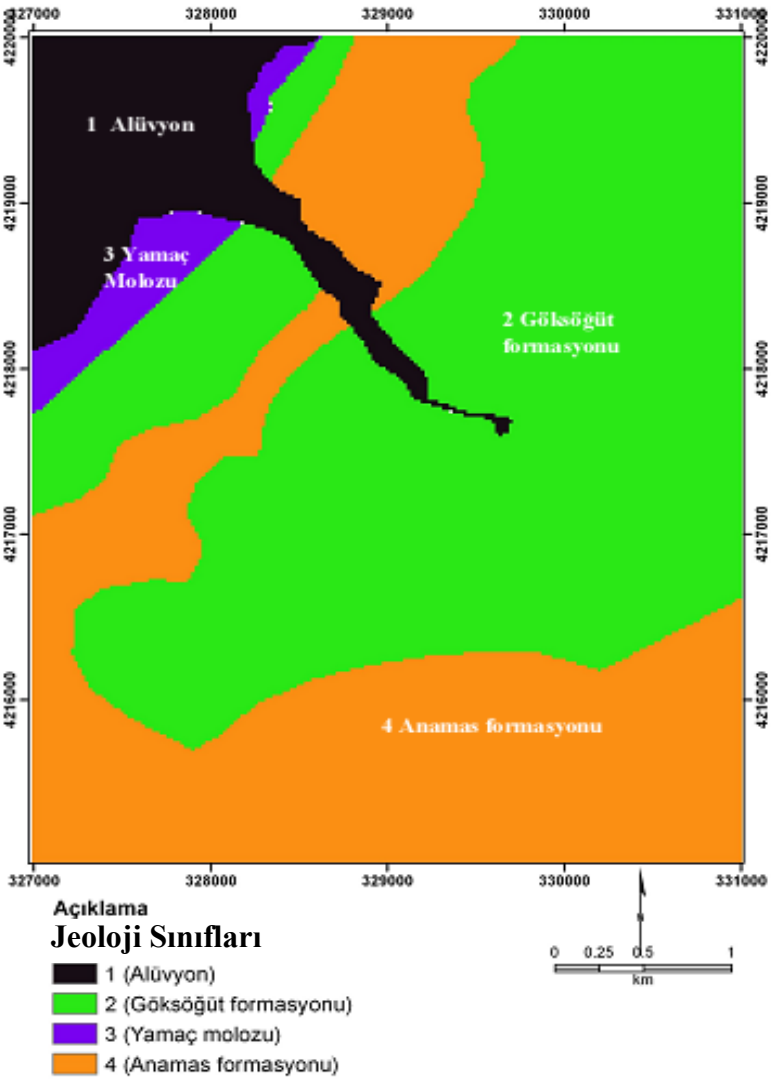
Şekil 4.12, İnceleme alanında yüksekliğin alansal dağılımı



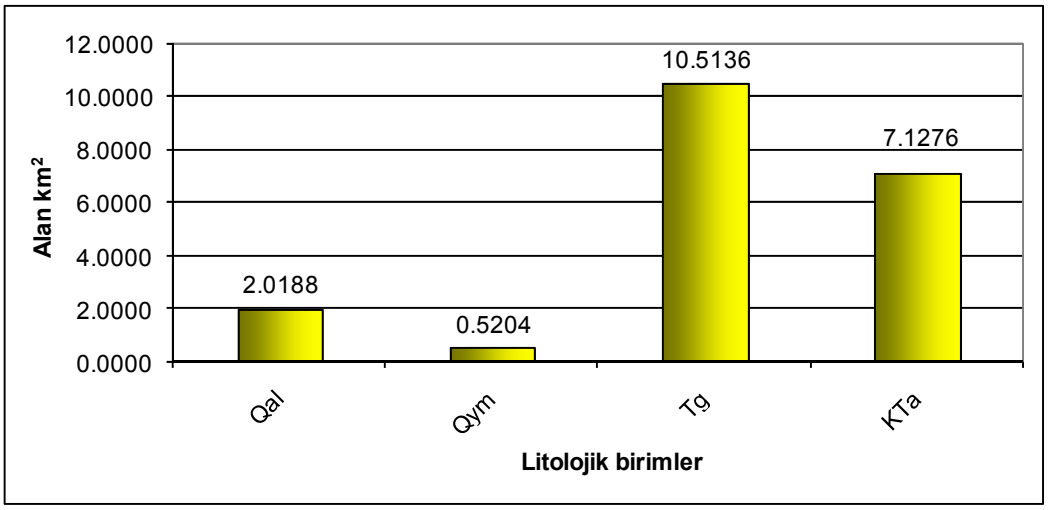
Şekil 4.13, Yükseklik sınıfı haritası

4.1.6. Jeoloji haritası

İnceleneme alanında daha önce de değinildiği üzere 4 birim ayırtlanmıştır (Şekil 3.4 daha önce verilenlerden). Bunlar içerisinde en yaygın olarak gözlenen Göksöğüt formasyonudur. İncelenen alanda yaklaşık olarak 10.5 km^2 alanı kapsamaktadır. Diğer ikinci yaygın birim olarak Anamas formasyonu olup 7.1 km^2 alanı kapsamaktadır. Üçüncü birim ise alüvyonlar olup 2 km^2 alanda görülmektedir. En az yayılımı gözlenen birim yamaç molozları olup yaklaşık 0.5 km^2 alanda gözlenmektedir (Şekil 4.14 ve 4.15).



Şekil 4.14, İnceleme alanı jeoloji haritasının heyelan analizinde kullanılan sınıfları

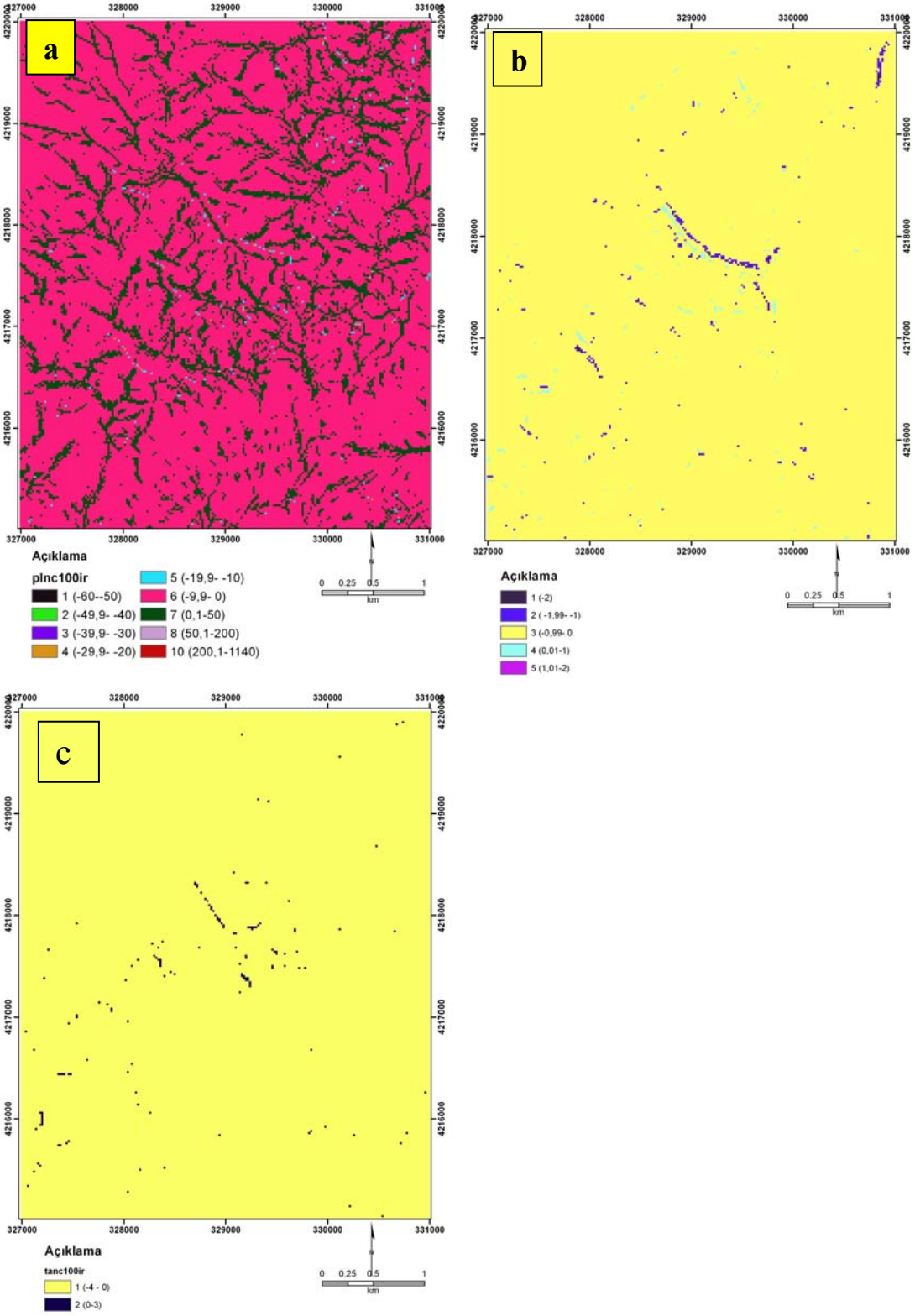


Şekil 4.15, Litolojik birimlerin topografyada alansal dağılımı (Qal alüvyon; Qym yamaç molozu; Tg Göksöğüt formasyonu, Kta Anamas formasyonu).

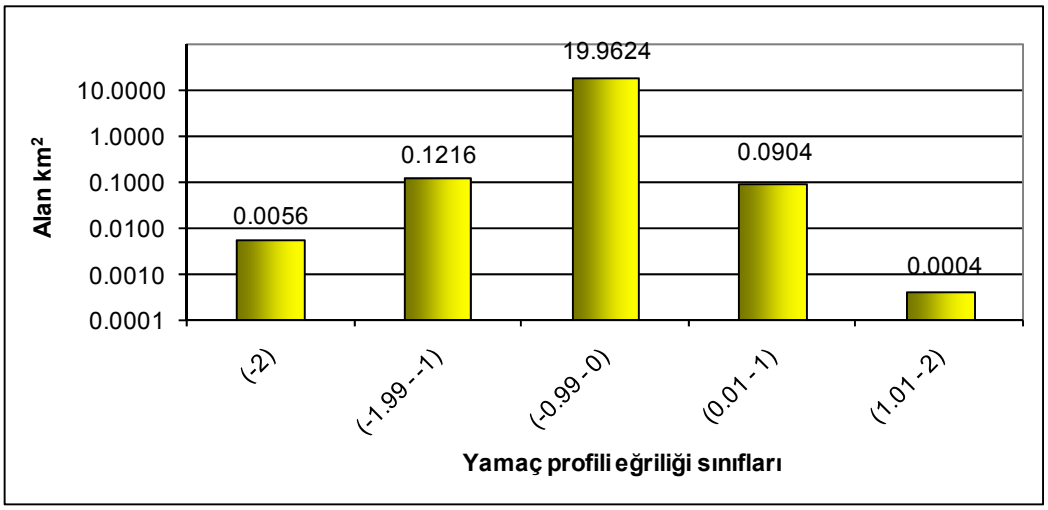
4.1.7. Yamaç profili eğriliği haritası

Arazinin aşındırma ve biriktirme kesimlerinin ayırt edilmesinde oldukça kullanışlı olan yamaç eğriliği, plandaki yamaç eğriliği, profilde yamaç eğriliği ve tanjansiyel yamaç eğriliği olmak üzere üç bölümde incelenmektedir (Wilson ve Gallant 2000). Bu çalışmada DEM haritasından üretilen eğrilik haritaları Şekil 4.16' da verilmiştir. Bu haritalar ArcGIS 9.1 altında çalışan TAPES-G (Gallant ve Wilson 1996) programı vasıtasıyla üretilmişlerdir. Programda eğrilikler 100 ile çarpılmış olarak hesaplanmaktadır. Dolayısıyla söz konusu haritaların değerlendirilmesi aşamasında bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Profil eğriliğinde pozitif değerler konkav yamaçları, negatif değerler ise konveks yamaçları gösterirler. Plan eğrilik haritasında ise pozitif değerler konveks yamaçları, negatif değerler ise konkav yamaçları göstermektedir. Plan eğriliği akış doğrultusuna dik istikamette akımın konverjans (birleşen) veya diverjans (ayrılan) akımı gösterir. Yukarıdaki tanıma uygun olarak profil eğrilik haritasında negatif alanlar aşındırma alanları, pozitif eğrilik gösteren alanlar ise biriktirme alanlarını göstermektedir (Wilson ve Gallant, 2000). İncelenen alanın %99'luk kısmında profil eğriliği negatif değer, geriye kalan 0.0908 km^2'lik kısmında ise profil eğriliği pozitiftir. Bu durum incelenen alanın tamamına yakın kısmının aşındırılan arazi sınıfında olduğunu göstermektedir. Yine arazinin egemen kısmının profil eğriliğinin 0 ile -1 arasında olduğu belirlenmiştir.

Profil eğriliğinin pozitif değer gösteren 0.0908 km^2'lik kısmının ise dere kenarlarında sediman biriktirme alanları olduğu söylenebilir. Plan eğrilik haritasında -61 ile 1140 arasında değerler tespit edilmesine rağmen yukarıda da değinildiği üzere eğrilik haritalarında 100 m çarpanı da dikkate alındığında sözü edilen eğrilik değerlerinin esasında -0.61 ile 11.4 aralığında olduğu gözden kaçırılmamalıdır. İncelenen alanın 19.96 km^2 'lik kısmında eğrilik yarıçapının 0 ile -0.1 arasında olduğu, 0.09 km^2'lik kısmında ise plan eğrilik değerinin 0.001 ile 0.5 arasında değişmekte olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.17). Bu verilerden de anlaşılacağı üzere incelenen alanın yaklaşık %99'lik kısmında plan eğriliğinin negatif olması yamaçların konkav olduğunu göstermektedir. Konkav yamaçlarda akım birbirlerine yaklaşma yönünde hareket edeceğinden aşındırma gücünün çok daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Plan eğriliğinin yamaç açısıyla çarpımından elde edilen tanjansiyel eğrilik değeri (Wilson ve Gallant 2000) bir anlamda lokal akım birleşmelerini ve ayrılmalarının ölçüsünü tanımlamaktadır. Üretilen ve Şekil 4.16'da verilen haritanın incelenmesinden de görüleceği üzere incelenen alanın tamamına yakın kısmının indisi 0 ile -0.04 arasında olduğu tespit edilmiştir. Sadece 0.0908 km^2'lik bir kesimde indis 0-0.03 arasındadır. Özellikle Eğlence Deresi içerisinde pozitif değerler belirlenmiştir.



Şekil 4.16, Yamaç plan (a), profil (b) ve tanjansiyel (c) eğriliği indeksi haritaları.



Şekil 4.17, İncelenen alanda yamaç profili eğriliği sınıflarının dağılımı

4.1.8. Sediman taşıma kapasitesi indisi haritası

Sediman taşıma kapasitesi (L_S), akarsu eğimine ve beslenme alanına bağlı olarak akarsuyun belirlenen bir noktadaki aşındırma potansiyelinin ölçüsünü belirlemektedir. Moore ve Burch (1986 a,b) tarafından geliştirilen indis aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$L_S = (m+1)\left(\frac{A_s}{22.13}\right)^m \left(\frac{\sin\beta}{0.896}\right)^n \qquad (4.1)$$

Burada,

L_S= Sediman taşıma kapasitesi indisi

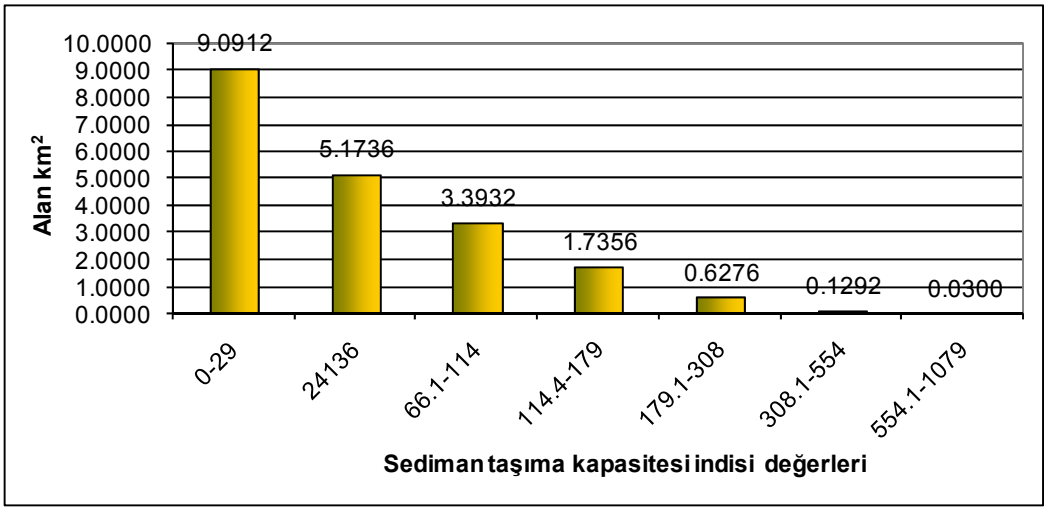
m= 0.4

n= 1.3 (Moore ve Wilson 1992, 1994) ve

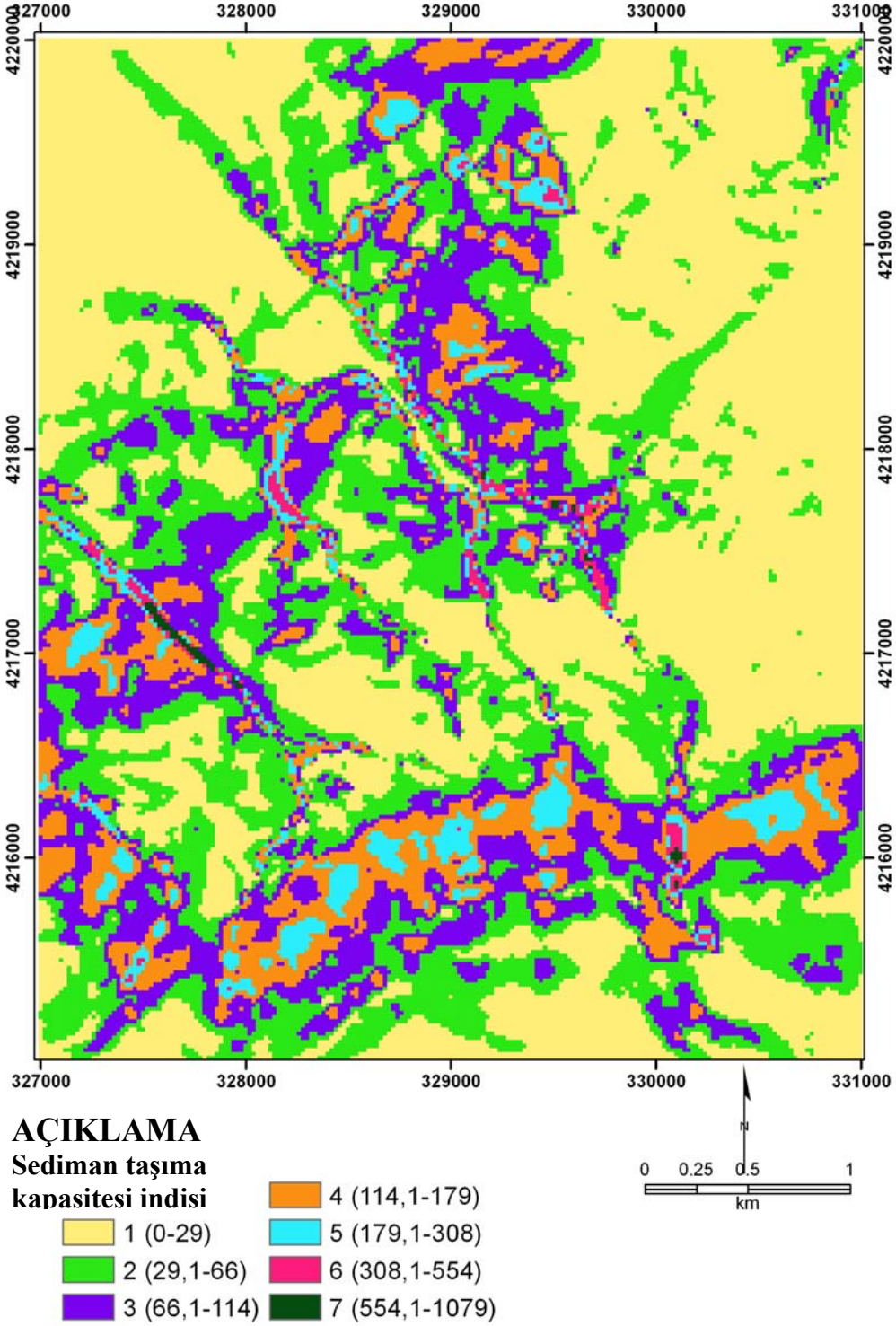
β : yamaç eğimi açısı

A_s: özgül toplama alanı (specific catchment area, akış doğrultusuna dik birim genişlikteki drenaj alanı)-m^2/m.

İncelemede kullanılan sediman taşıma kapasitesi indisi haritası ve özgül toplanma alanı Lindsay (2003) tarafından verilen "TERRAIN ANALYSIS SYSTEM-TAS" tarafından verilen yazılım vasıtasıyla DEM haritasından üretilmiştir. Sediman taşıma kapasitesi indisi haritasında küçük sediman taşıma kapasitesi indis değerleri daha çok havza sınırlarında gözlenirken, büyük değerler yüksek eğimli yamaçlarda ve geniş toplama havzasına sahip yerleri göstermektedir (Wilson ve Gallant 2000). İnceleme alanında L_S değerleri 0 ile 1079 arasında olduğu tespit edilmiştir. Yaklaşık 0.03 km^2 'lik dere içlerinde indis değerinin en yüksek olduğu (554-1079) tespit edilmiştir. Daha sonra 1.26 km^2 lik kısımda indis değerinin 308-554 arasında, 9.09 km^2 lik kısmında ise 0-29 arasında olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.18). Bu alanlar Şekil 4.19'da verilen haritada da görüldüğü gibi tepelerin üst kısımlarında ve ovada eğimin oldukça düşük olduğu yerleri göstermektedir.



Şekil 4.18, Sediman taşıma kapasitesi indisi grafiği



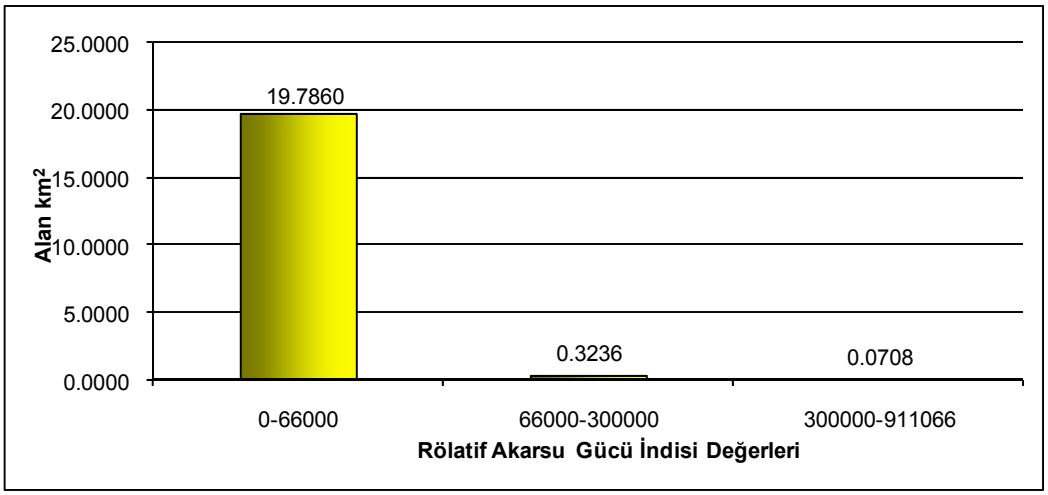
Şekil 4.19, Sediman taşıma kapasitesi indisi haritası

4.1.9. Rölatif akarsu gücü indisi haritası (SPI)

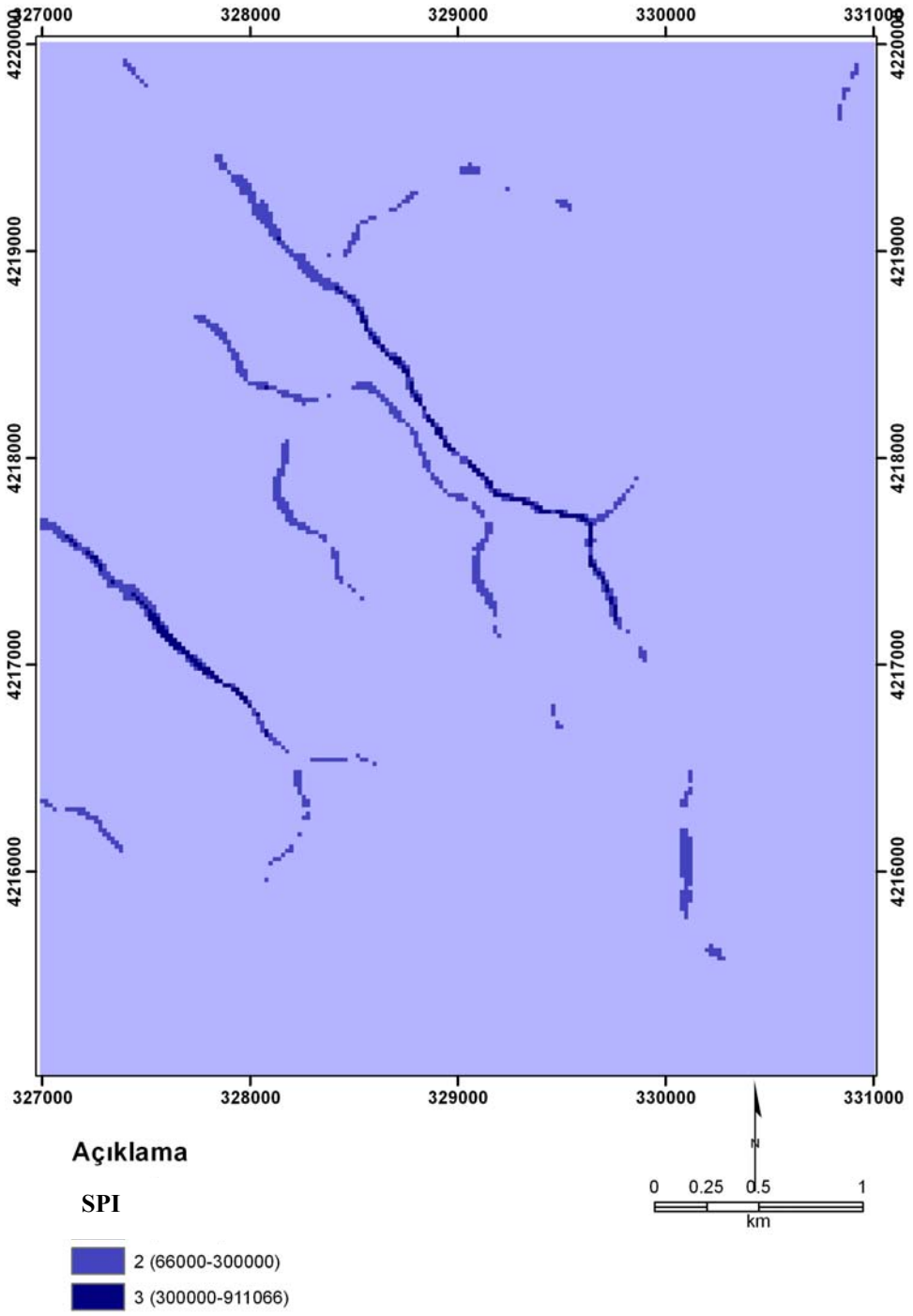
Özgül depolama alanıyla (A_S –m^2/m) orantılı olarak akan suyun aşındırma gücünün ölçüsü olarak değerlendirilen rölatif akarsu gücü indisi (SPI) özgül depolama alanıyla (A_S) yamaç eğiminin (Tanβ) çarpılmasıyla belirlenir (Lindsay 2003).

$$SPI = A_s \tan\beta \qquad (4.2)$$

İncelenen alanda üretilen SPI indisinin alansal dağılım grafiği (Şekil 4.20) ve haritasında (Şekil 4.21) indis değerlerinin 0 ile 911066 arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek değerler beklendiği gibi dere yataklarında tespit edilmiştir. Özellikle Yaka Heyelanı'nın oluştuğu yerde SPI indisinsin çok yüksek olması burada aşındırmanın çok yüksek olduğunu ve buna bağlı olarak da tabandan oyulan vadi yamaçlarının stabilitesinin zamanla bozulabileceğini göstermekte olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 4.20, Rölatif akarsu gücü indisi değerleri grafiği



Şekil 4.21, Rölatif Akarsu Gücü indisi Haritası (SPI)

4.1.10 Topografik nem indisi haritası

Heyelan incelemelerinde yaygınca kullanılan topografik nem indisi lokal olarak topografyanın su ile olan ilişkisini belirler ve topografik yüzeyin üzerinden akan suya göre ne kadarının doygun hale gelebileceğinin bir göstergesidir. İki farklı şekilde hesaplanabilmektedir (Moore ve ark. 1991).

$$W_t = \ln\left(\frac{A_s}{T \tan\beta}\right) \quad (4.3)$$

$$W_I = \ln\left(\frac{A_s}{\tan\beta}\right) \quad (4.4)$$

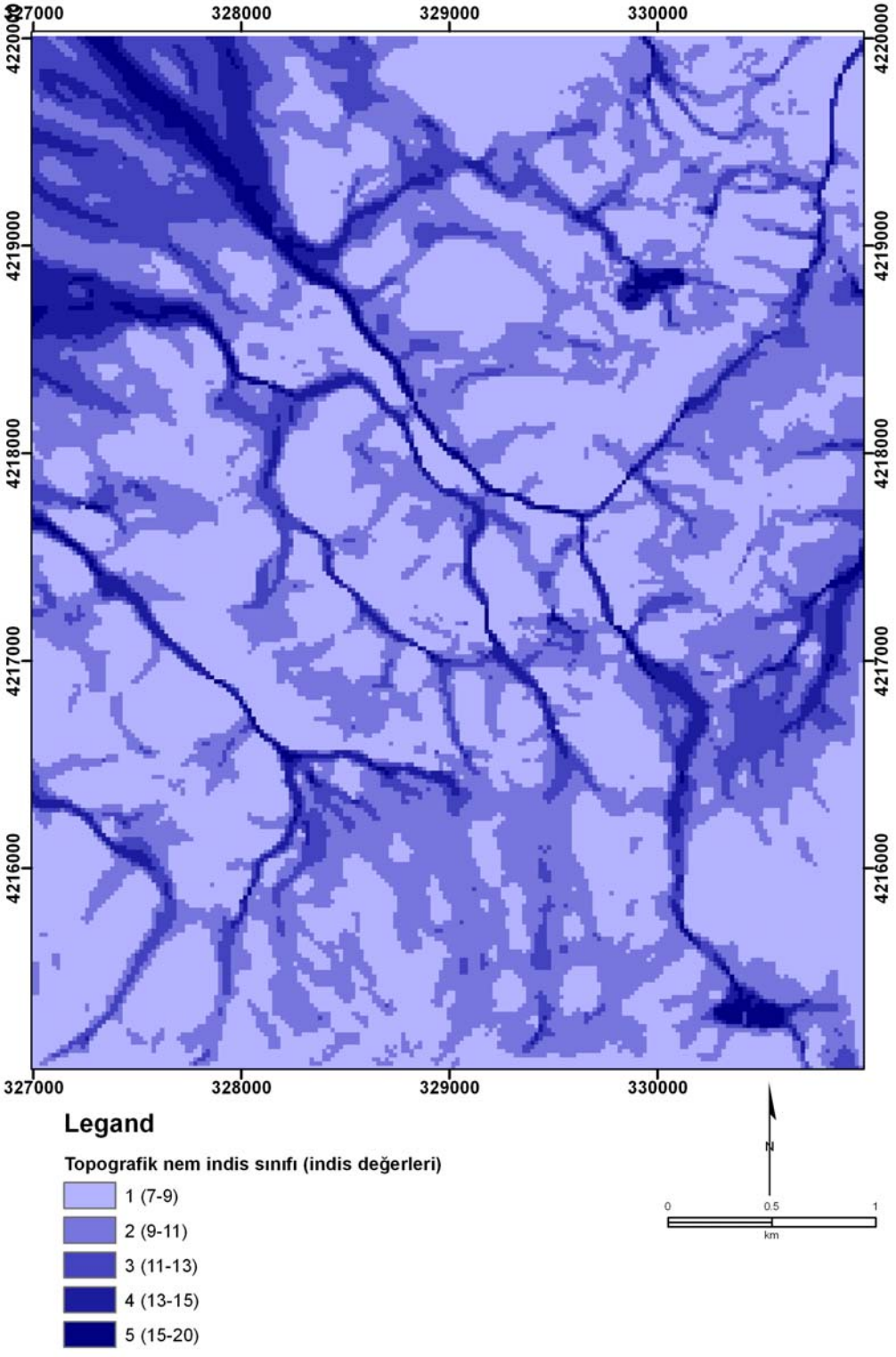
W_t ve W_I : Topoğrafik nem indisi

A_s : Özgül depolama alanı (m^2/m)

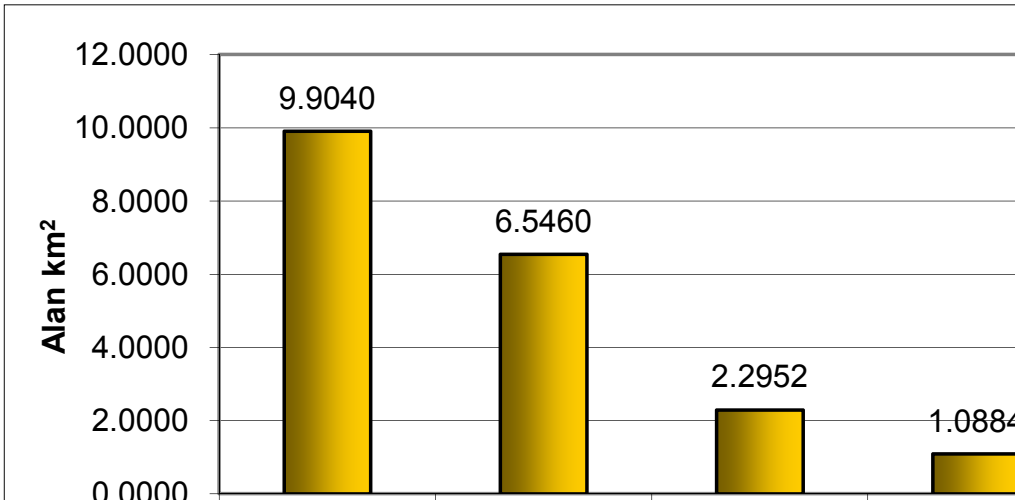
T: Zeminin doygun olması durumunda zeminin transmisivitesi (m^2/m)

β: yamaç eğimi (derece)

İnceleme alanı için üretilen topografik nem indisi haritasında (Şekil 4.22) indis değerleri 7 ile 20 arasında değişmektedir. Düşük indis değerleri eğimin yüksek, depolama alanının düşük, yüksek indis değerleri ise eğimin düşük ancak drenaj alanının fazla olduğu yerleri gösterdiğnden en yüksek topografik nem indis değerlerinin dere içlerinde ve ovada olduğu Şekil 4.22' de verilen haritadan açıkça görülmektedir. İncelenen alanın yarısına kadar yakın olan kısmında topografik nem indisi değerinin 7-9 arasında olduğu, sadece 0.34 km^2'kadar alanda ise topografik nem indis değerinin 20 civarında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.23)



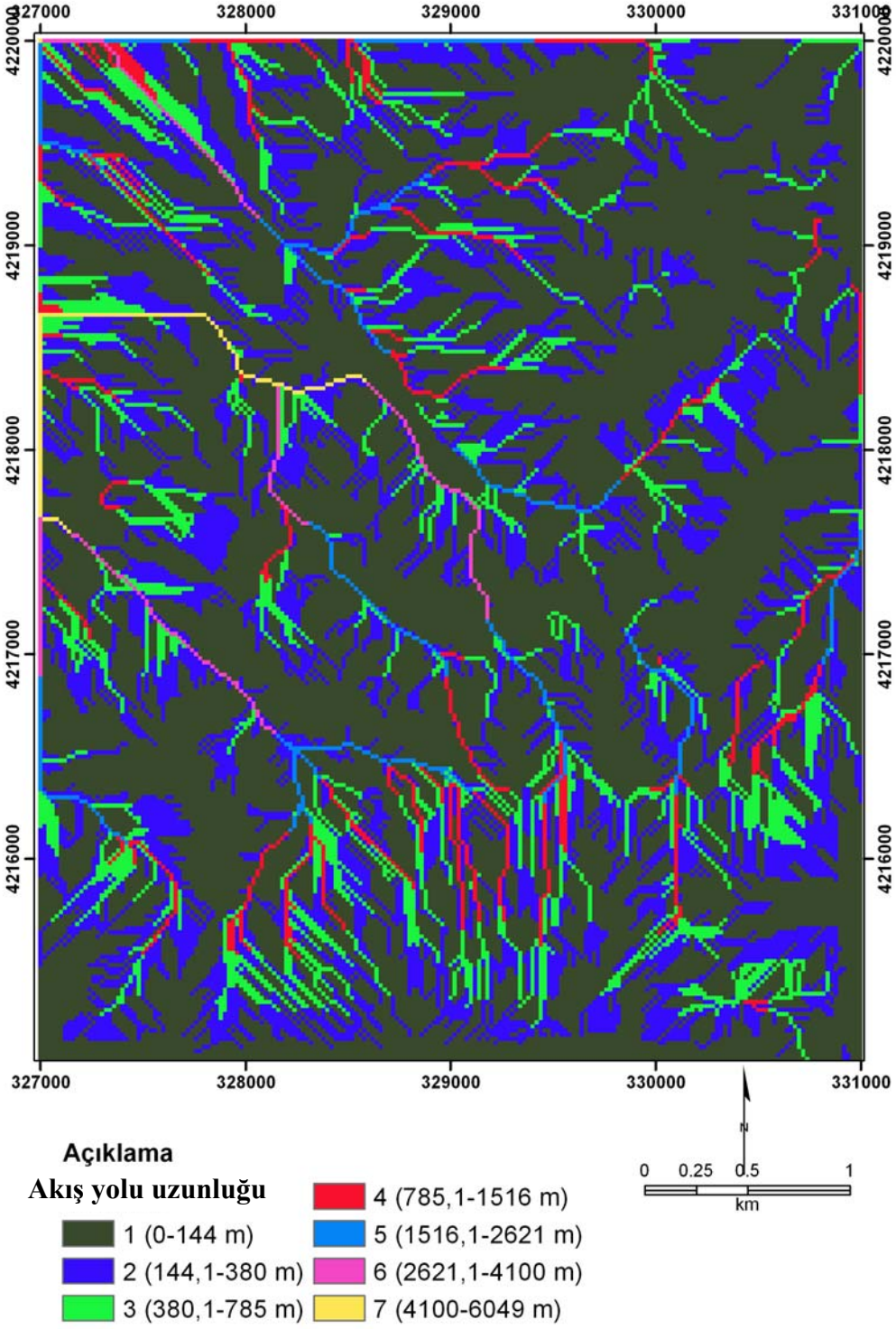
Şekil 4.22, İnceleme alanının topografik nem indisi haritası



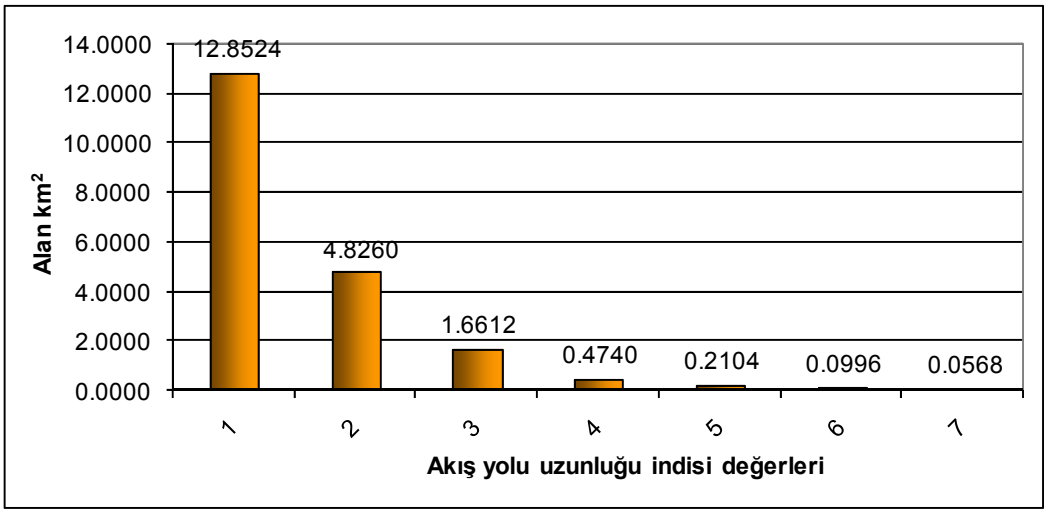
Şekil 4.23 Topografik nem indisi değerlerinin inceleme alanında dağılımı (indis 7-9. 1; 9-11. 2; 11-13. 3; 13-15. 4 ve 15-19 arası 5. Sınıfı olarak düzenlenmiştir)

4.1.11. Akış yolu uzunluğu haritası

Havzada bulunulan belirli bir nokta ile bu noktaya suyunu gönderen en uzak nokta arasındaki mesafe olarak tanımlanan akış yolu uzunluğu değerleri ile erozyon oranı, sediment verimi ve akışın toplanma zamanı hakkında bilgi edinilmektedir (Wilson ve Gallant 2000). DEM haritasından üretilen akış yolu uzunluğu haritası haritası TAPES-G programı vasıtasıyla üretilmiştir (Şekil 4.24). Haritadan da görüldüğü üzere akış yolu uzunluğu 6049 m'ye kadar çıkabilmektedir. Beklendiği gibi yüksek kesimlerde ve havza kenarlarında düşük, vadi içlerinde ise daha yüksek akış yolu uzunluğu değerleri gözlenmektedir. Akış yolu uzunluğunun incelenen arazinin yaklaşık olarak %64'lük kısmında (12.8524 km^2) 0-144 m arasında, %35'lik kısmında (6.93 km^2) ise 144 ile 1516 m arasında değiştiği geriye kalan sadece %1'lik kısmında ise 4100 ile 6049 m arsında olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.25). Bu değerler incelenen alanda çok küçük alanın çok büyük akış yolu uzunluğuna sahip olduğunu ve bu küçük alan çevresinde aşındırma ile taşkın olaylarının yoğun olarak yaşanabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.24, Akış yolu uzunluğu haritası



Şekil 4.25, Akış yolu uzunluğunun dağılımı (sınıf 1, 0-144 m; sınıf 2, 144-380 m, sınıf 3, 380-785 m; sınıf 4, 785-1516 m, sınıf 5, 1516-2621m, sınıf 6, 2621-4100m; sınıf 7 ise 4100-6049 m akış yolu uzunluğunu göstermektedir).

Analizde kullanılan ve yukarıda sözü edilen haritalar daha sonra kategorik analizlerin yapılabilmesi amacıyla yeniden sınıflandırılmışlardır. Yeniden sınıflandırmada alınan sınır aralıkları için verilen kategorik numaraları da yine yukarıda verilen haritalarda gösterilmiştir.

4.2. Lojistik Regresyon ve Olabilirlik Ağırlık Yöntemlerinin Uygulanması

Bu çalışmada modellerin uygulanması aşamasında ArcSDM3 (Sawatzky ve ark. 2004) modülü kullanılmıştır. Modül ArcGIS 9.1' altında çalışmaktadır. Modül GIS eşliğinde koordinat verilerini kullanarak bu verileri temsil edecek matematiksel modeller uydurmaya yöneliktir. Modül olabilirlik ağırlığı (weights of evidence), lojistik regresyon, yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemi gibi istatistiki yöntemleri kullanarak verilere model uydurabilmektedir. Yine model işlediği verilerle uydurduğu model arasında anlamlılık ve/veya geçerlilik testlerini de yapabilmektedir. Modülle ilgili detay bilgi Kemp ve ark. 2001'den elde edilebilir.

ArcSDM3 modülünün uygulanmasında yeniden sınıflandırılmış arazi kullanım haritası (4 sınıf), jeoloji haritası (4 sınıf), yamaç eğimi haritası (10 sınıf), yamaç yönelim haritası (8 sınıf), yükseklik haritası (10 sınıf), profil eğrilik haritası (5

sınıf), topografik nem haritası (5 sınıf) olmak üzere 46 adet bağımsız değişken kullanılmıştır.Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında en fazla etkili olabileceği düşünülen parametreler analize dahil edilir. Bu çalışmada da bilgisayar kapasitesi de göz önünde bulundurularak yukarıda değinilen 46 bağımsız değişkenle analiz yapılmıştır. Bu 46 bağımsız değişken ve daha önce sözü edilen 1201 adet noktasal veri ile temsil edilen heyelan alanları arasında regresyon katsayılarının belirlenmesi modül aracılığıyla sağlanmıştır.

Analiz parametrelerinin verilmesi aşamasında alanın tümünü (50451 adet grid, grid aralıkları 20 m) temsil edecek bir raster haritası ve 1201 nokta ile temsil edilen heyelan şekil haritası öncelikle girilmiştir. İşlemlerde 1201 noktanın tümü seçilerek kullanılmıştır. Birim alan olarak da 20 m x 20 m = 0.0004 km^2 kullanılmıştır. Analizde en az 1 birim alandaki verileri değerlendirebilecek şekilde hassasiyet belirlenmiştir. Serbest veri (free) ve kategorik analiz seçenekleri ile tema ağırlıkları hesaplanmış ve tematik harita sınıfları oluşturulmuştur. Bu çalışmada harita sınıflarındaki gruplar esas alınarak analiz yapılmıştır. Daha sonra program vasıtasıyla verilere uygun (response) tematik harita verileri hesaplanmıştır. Program yukarıda da değinildiği üzere bulanık mantık ve yapay sinir ağı yöntemlerini de kullanabildiğinden sadece olabilirlik ağırlığı ve lojistik regresyon uygulaması hesaplamalarında kullanılacak olan verilerin hesaplanması yolu seçilmiştir. Tematik haritalardaki oluşturulan sınıflarla ilgili olarak hesaplanan alan (km^2), hücre sayısı, noktalar olarak isimlendirilen heyelanlı alanı gösteren hücre sayısı, heyelan olabilirlik ağırlığı (W^+), heyelan olmama ağırlığı (W^-), heyelan olabilirlik ağırlığının standart sapması [$s(W^+)$], heyelan olamama ağırlığının standart sapması [$s(W^-)$], heyelan olma ve olmama ağırlığı farkı ($C=W^+-W^-$) kontrast (C), kontrastın standart sapması [s(C)] [$s(C)=s(W^+)-s(W^-)$] ve son kolonda ise (C/ s(C)) oranını gösteren t testi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler üretilen haritalara göre ayrı ayrı çizelgelerde verilmiştir (Çizelge 4.1-4.11).

Çizelge 4.1, Arazi kullanımı sınıflarına göre hesaplanan değerler

Sınıf Arazi K.	Alan km^2	Alan Hücre sayısı	Heyelan Hücre sayısı	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)	stud(C)
1	0.4708	1177	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	12.1776	30444	1046	0.3686	0.0315	-1.1251	0.0806	1.4937	0.0866	17.2556
3	6.4464	16116	39	-2.3170	0.1603	0.3667	0.0299	-2.6837	0.1631	-16.4564
4	1.0856	2714	116	0.5956	0.0949	-0.0469	0.0307	0.6425	0.0997	6.4416

Çizelge 4.2, Yamaç eğimi sınıflarına göre hesaplanan değerler

Sınıf yamaç eğimi	Alan km^2	Alan Hücre sayısı	Heyelan Hücre sayısı	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)	stud(C)
1	5.6228	14057	13	-3.2804	0.2775	0.3285	0.0295	-3.6089	0.2790	-12.9333
2	4.3336	10834	62	-1.4530	0.1274	0.1964	0.0301	-1.6494	0.1309	-12.6038
3	3.3392	8348	151	-0.2897	0.0821	0.0495	0.0313	-0.3392	0.0879	-3.8603
4	2.6216	6554	267	0.5456	0.0625	-0.1135	0.0331	0.6591	0.0707	9.3221
5	1.9188	4797	388	1.2742	0.0530	-0.2955	0.0354	1.5696	0.0637	24.6442
6	1.3792	3448	225	1.0426	0.0690	-0.1391	0.0324	1.1817	0.0762	15.5149
7	0.6652	1663	77	0.6794	0.1167	-0.0332	0.0302	0.7126	0.1205	5.9121
8	0.2520	630	15	-0.0090	0.2613	0.0001	0.0294	-0.0091	0.2630	-0.0347
9	0.0412	103	3	0.1980	0.5859	-0.0004	0.0292	0.1984	0.5867	0.3383
10	0.0068	17	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Çizelge 4.3 Yamaç yönelimi sınıflarına göre hesaplanan değerler

Sınıf Yönelim	Alan km^2	Alan Hücre sayısı	Heyelan Hücre sayısı	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)	stud(C)
1	3.2924	8231	356	0.6080	0.0542	-0.1756	0.0348	0.7836	0.0644	12.1731
2	1.2784	3196	26	-1.0988	0.1969	0.0453	0.0295	-1.1441	0.1991	-5.7458
3	0.8188	2047	2	-3.2255	0.7075	0.0411	0.0292	-3.2666	0.7081	-4.6135
4	0.4380	1095	24	-0.0937	0.2064	0.0020	0.0295	-0.0957	0.2085	-0.4592
5	0.8840	2210	107	0.7263	0.0991	-0.0493	0.0306	0.7755	0.1037	7.4775
6	2.4008	6002	205	0.3625	0.0711	-0.0607	0.0321	0.4232	0.0780	5.4280
7	4.7660	11915	226	-0.2413	0.0672	0.0654	0.0324	-0.3067	0.0746	-4.1116
8	6.3020	15755	255	-0.4028	0.0631	0.1435	0.0330	-0.5463	0.0712	-7.6698

Çizelge 4.4, Yükseklik sınıflarına göre hesaplanan değerler

Sınıf Yükseklik	Alan km^2	Alan Hücre sayısı	Heyelan Hücre sayısı	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)	stud(C)
1	1.5736	3934	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	2.0372	5093	83	-0.3958	0.1107	0.0367	0.0303	-0.4325	0.1147	-3.7695
3	1.4396	3599	49	-0.5783	0.1438	0.0339	0.0298	-0.6122	0.1469	-4.1674
4	1.5328	3832	184	0.7176	0.0756	-0.0886	0.0317	0.8062	0.0819	9.8383
5	4.7316	11829	648	0.8565	0.0404	-0.5153	0.0428	1.3718	0.0589	23.2959
6	4.3492	10873	203	-0.2574	0.0709	0.0616	0.0321	-0.3190	0.0778	-4.1020
7	0.8692	2173	34	-0.4372	0.1729	0.0161	0.0296	-0.4533	0.1754	-2.5846
8	1.3936	3484	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	1.7528	4382	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.5008	1252	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Çizelge 4,5, Ayırtlanan jeolojik birim sınıflarına göre hesaplanan değerler

Sınıf Jeoloji	Alan km^2	Alan Hücre sayısı	Heyelan Hücre sayısı	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)	stud(C)
1	2.0188	5047	1	-4.8218	1.0001	0.1083	0.0293	-4.9301	1.0005	-4.9275
2	0.5204	1301	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	10.5136	26284	1200	0.6646	0.0295	-6.3693	1.0000	7.0340	1.0005	7.0307
4	7.1276	17819	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Çizelge 4,6, Profil eğriliği sınıflarına göre hesaplanan değerler

Sınıf profil eğriliği	Alan km^2	Alan Hücre sayısı	Heyelan Hücre sayısı	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)	stud(C)
1	0.0056	14	1	1.1396	1.0377	-0.0006	0.0292	1.1402	1.0382	1.0983
2	0.1216	304	17	0.8783	0.2496	-0.0084	0.0294	0.8866	0.2513	3.5276
3	19.9624	49906	1164	-0.0301	0.0297	3.2724	0.2111	-3.3025	0.2132	-15.4910
4	0.0904	226	19	1.3163	0.2397	-0.0117	0.0294	1.3280	0.2415	5.4985
5	0.0004	1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Çizelge 4,7, Plan eğriliği sınıflarına göre hesaplanan değerler

Sınıf Plan Eğriliği	Alan km^2	Alan Hücre sayısı	Heyelan Hücre sayısı	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)	stud(C)
1	0.0004	1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0016	4	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0028	7	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0088	22	2	1.4020	0.7416	-0.0013	0.0292	1.4032	0.7422	1.8906
5	0.0676	169	1	-1.4194	1.0030	0.0026	0.0292	-1.4220	1.0034	-1.4172
6	16.4532	41133	913	-0.0808	0.0335	0.3104	0.0599	-0.3913	0.0686	-5.7019
7	3.6440	9110	285	0.2717	0.0602	-0.0714	0.0334	0.3431	0.0688	4.9843
8	0.0016	4	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	0.0004	1	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Çizelge 4,8, Yamaç tanjansiyel eğrilik sınıflarına göre hesaplanan değerler

Sınıf Tanjansiyel eğrilik	Alan km^2	Alan Hücre sayısı	Heyelan Hücre sayısı	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)	stud(C)
1	20.1220	50305	1186	-0.0191	0.0294	-10.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0584	146	15	1.5374	0.2726	-0.0099	0.0294	1.5473	0.2742	5.6437

Çizelge 4.9, Sediman taşıma kapasitesi indisi sınıflarına göre hesaplanan değerler

Sınıf Sediman Taşıma kapasitesi	Alan km^2	Alan Hücre sayısı	Heyelan Hücre sayısı	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)	stud(C)
1	9.0912	22728	139	-1.3862	0.0851	0.4986	0.0313	-1.8848	0.0907	-20.7905
2	5.1736	12934	453	0.3885	0.0478	-0.1781	0.0369	0.5666	0.0604	9.3757
3	3.3932	8483	460	0.8457	0.0479	-0.3033	0.0371	1.1490	0.0606	18.9599
4	1.7356	4339	100	-0.0424	0.1012	0.0039	0.0305	-0.0463	0.1057	-0.4381
5	0.6276	1569	31	-0.1997	0.1814	0.0059	0.0296	-0.2056	0.1838	-1.1184
6	0.1292	323	15	0.6825	0.2644	-0.0062	0.0294	0.6887	0.2660	2.5889
7	0.0300	75	3	0.5265	0.5893	-0.0010	0.0292	0.5275	0.5900	0.8941

Çizelge 4.10, Akarsu aşındırma gücü indisi sınıflarına göre hesaplanan değerler

Sınıf Akarsu Aşındırma gücü	Alan km^2	Alan Hücre sayısı	Heyelan Hücre sayısı	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)	stud(C)
1	19.7860	49465	1180	-0.0071	0.0295	0.5069	0.2226	-0.5139	0.2246	-2.2884
2	0.3236	809	17	-0.1368	0.2451	0.0021	0.0294	-0.1389	0.2469	-0.5626
3	0.0708	177	4	-0.0624	0.5057	0.0002	0.0293	-0.0627	0.5066	-0.1237

Çizelge 4,11, Topografik nem indisi sınıflarına göre hesaplanan değerler

Sınıf Topografik Nem indisi	Alan km^2	Alan Hücre sayısı	Heyelan Hücre sayısı	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)	stud(C)
1	9.9040	24760	973	0.5080	0.0327	-0.9932	0.0665	1.5013	0.0741	20.2508
2	6.5460	16365	187	-0.7557	0.0735	0.2335	0.0319	-0.9892	0.0802	-12.3403
3	2.2952	5738	27	-1.6498	0.1929	0.1017	0.0296	-1.7515	0.1952	-8.9746
4	1.0884	2721	12	-1.7149	0.2893	0.0471	0.0294	-1.7619	0.2908	-6.0589
5	0.3468	867	2	-2.3650	0.7079	0.0162	0.0292	-2.3812	0.7085	-3.3608

Çizelge 4.12, Akış yolu uzunluğu sınıflarına göre hesaplanan değerler

Sınıf Akış yolu Uzunluğu	Alan km^2	Alan Hücre sayısı	Heyelan Hücre sayısı	W^+	$s(W^+)$	W^-	$s(W^-)$	C	s(C)	stud(C)
1	12.8524	32131	953	0.2167	0.0329	-0.5589	0.0639	0.7756	0.0719	10.7859
2	4.8260	12065	170	-0.5435	0.0772	0.1268	0.0316	-0.6703	0.0834	-8.0324
3	1.6612	4153	53	-0.6439	0.1382	0.0426	0.0299	-0.6865	0.1414	-4.8538
4	0.4740	1185	12	-0.8779	0.2901	0.0143	0.0294	-0.8921	0.2916	-3.0592
5	0.2104	526	10	-0.2390	0.3193	0.0023	0.0293	-0.2412	0.3206	-0.7524
6	0.0996	249	3	-0.7022	0.5809	0.0026	0.0292	-0.7047	0.5816	-1.2117
7	0.0568	142	0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Bu verilerden lojistik regresyon analizi uygulamasında, arazi kullanımı, jeolojik birimler, yamaç eğimi, yamaç yönü ve yükseklik analize dahil edilmişlerdir. Lojistik regresyon analizden elde edilen katsayılar Çizelge 4.13' de, lojistik regresyon ve olabilirlik ağırlığı yöntemine göre üretilen heyelan duyarlılık haritaları ise Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'de verilmiştir. En yüksek olabilirlik değeri lojistik regresyon yönteminde %88, olabilirlik ağırlık yönteminde ise %61'dir. Heyelan duyarlılık sınıflanmasının tanımlanmasında alınacak sınıfların belirlenmesinde araştırıcılar arasında belirli bir birliktelik bulunmamaktadır. Ayalew ve Yamagishi (2005) heyelan duyarlılık sınıf tanımlamasında olasılık değeri 0-0.02 aralığını oldukça düşük duyarlılık, 0.03-0.09 aralığı çok düşük duyarlılık, 0.1-0.16 aralığı düşük duyarlılık, 0.17-0.23 aralığı orta duyarlılık ve 0.24-0.89 aralığı ise yüksek duyarlılık sınıfı olarak belirlenmiştir. Ohlmacher ve Davis (2003) ise heyelan duyarlılık sınıflarının belirlenmesinde 0.001'den küçük, 0.001-0.01, 0.01-0.1 ve 0.1 den daha büyük olasılık değerlerini kullanmıştır. Bu çalışmada kullanım kolaylığı sağlamak amacıyla heyelan duyarlılığı düşük-yok, orta ve yüksek olmak üzere 3

sınıfa ayrılarak kullanımı tercih edilmiştir. Burada 0-0.0500 olasılık aralığı çok düşük-yok, 0.0501-0.2400 aralığı orta, ve 0.2401-0.88 aralığı ise yüksek duyarlılık sınıfı olarak belirlenmiştir. Olabilirlik ağırlığı yönteminde ise 0-0.06500, 0.06501-0.300 ve 0.301-0.61 olasılık değerleri sırasıyla düşük-yok, orta ve yüksek duyarlılık olarak alınmıştır. Bu sınıfların belirlenmesinde fuyarlılık değerlerindeki kırılma noktaları esas alınmıştır.

Çizelge 4.13, Lojistik regresyon analizi sonunda belirlenen katsayılar

Tematik harita	Aralık	Sınıfı No	Katsayı	Standart hata
		Sabit katsayı	-1.2241	0.135709
Arazi kullanımı	Yerleşim alanı	1	-1.2079	0.075211
	Tarım alanı	2		
	Mera-orman	3		
	Mera-kayalık	4		
Yamaç eğimi	0-5	1	0.7860	0.0191
	5-10	2		
	10-15	3		
	15-20	4		
	20-25	5		
	25-30	6		
	30-35	7		
	35-40	8		
	40-45	9		
	45-50	10		
Yamaç yönelim açısı	0-45	1	-1.1091	0.01086
	45-90	2		
	90-135	3		
	135-180	4		
	180-225	5		
	225-270	6		
	270-315	7		
	315-360	8		
Yükseklik	947-1000	1	0.0077	0.0219
	1000-1100	2		
	1100-1200	3		
	1200-1300	4		
	1300-1400	5		
	1400-1500	6		
	1500-1600	7		
	1600-1700	8		
	1700-1800	9		
	1800-1900	10		
Jeolojik birim	Aluvyon	1	-0.7075	0.0573
	Yamaç molozu	2		
	Göksöğüt fm.	3		
	Anamas fm.	4		

Lojistik regresyon yöntemiyle üretilen haritada herhangi bir noktanın heyelan duyarlılığının kontrolü için: (1) analize dahil edilen haritalarda alınan noktanın sınıfları ilgili haritalardan belirlenmiştir. (2) bu sınıflara karşılık gelen B katsayıları Çizelge 4.13'den alınmıştır. (3) belirlenen sınıflar için W^+ değerleri Çizelge 4.1-4.5'den alınarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamaya ilişkin detaylar Çizelge 4.14 ve takiben metin içerisinde verilmiştir.

Çizelge 4.14, Üretilen haritalar üzerindeki bir noktanın heyelan duyarlılığının belirlenmesinde kullanılan katsayılar ve değerler.

Harita ismi	Sınıfı	B katsayısı	Bx sınıf	W^+ değeri
Arazi kullanım	2	-1.2079	-2.4158	0.3686
Yönelim	1	-1.1091	-0.1091	0.6080
Yükseklik	5	0.0077	0.0385	0.8565
Jeoloji	3	-0.7075	-2.1225	0.6646
Yamaç eğimi	4	0.7860	3.144	0.5456
		Sabit	-1.2241	
Toplam			z = -2.688	3.0433

Sabit katsayı = -1.2241

Prior olasılık = (heyelan hücre sayısı /toplam hücre sayısı)

Prior olasılık = 1201/50451

Prior olasılık = 0.0238

Lojistik regresyon yöntemi ile bir noktanın heyelan duyarlılığının belirlenmesi:

Z = -2.688 (Çizelge 4.14'den)

$P_{son} = 1/(1+e^{-z})$

$P = 1/(1+e^{2.688})$

P= 1/(1.0682)

P= 0.063

Yukarıda alınan herhangibir nokta için hesaplanan 0.063 heyelan duyarlılığı değeri lojistik regresyon yöntemi ile üretilen ve Şekil 4.26'da verilen haritadan bu değer 0.071 bulunmuştur. Üretilen haritadaki standart sapma değerleri de dikkate

alındığında hesaplanan ve haritadan belirlenen duyarlılık değerlerinin uyum içerisinde olduğu söylenebilir.

Olabilirlik ağırlık yöntemi ile alınan bir noktanın heyelan duyarlılığının belirlenmesi;

P_{son}= exp [Toplam W^+ + ln (pirior olasılık)]

P_{son}= exp [3.0433 + ln (0.0238)]

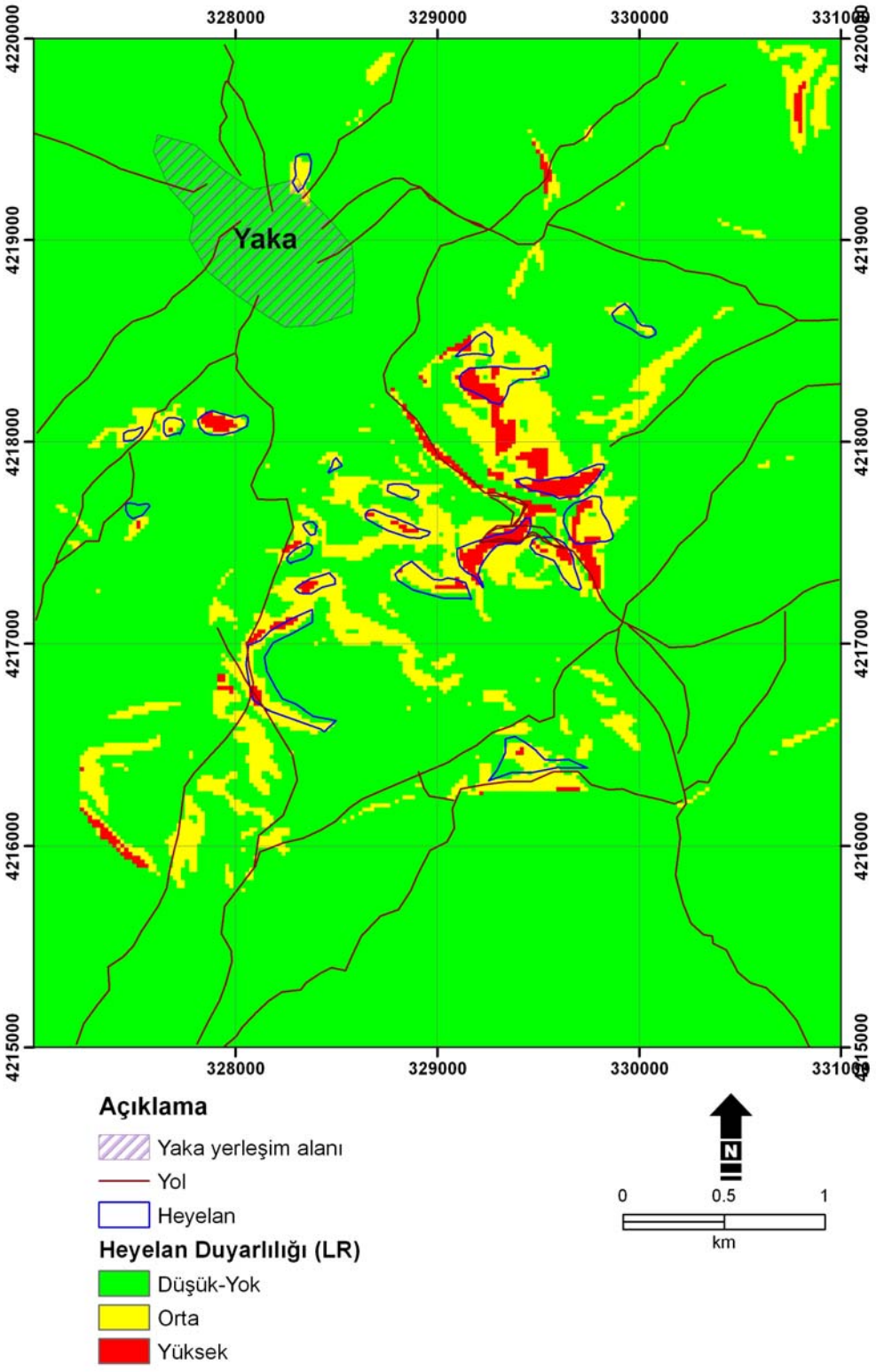
P_{son}= exp [3.0433 -3.738)]

P_{son}= exp[-0.6947]

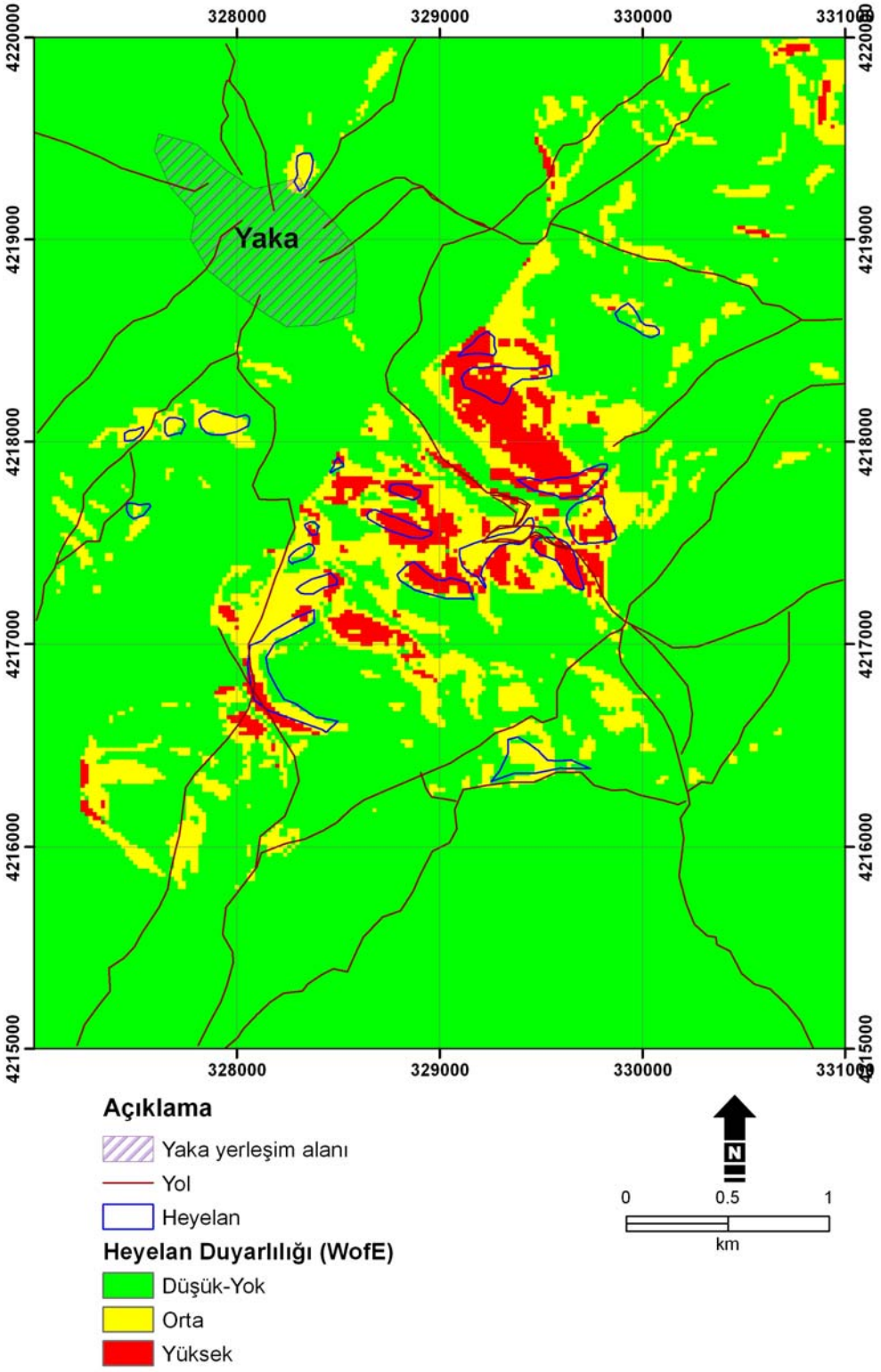
P_{son}= 0.499

Yukarıda verilen bir nokta için hesaplanan 0.499 duyarlılık değeri olabilirlik ağırlığı yöntemi ile üretilen ve Şekil 4.27'de verilen haritadan bu değer 0.42 olduğu tespit edilmiştir.

Hesaplanan ve üretilen haritalarda belirlenen değerler standart hatalar da dikkate alındığında bu değerlerin birbirlerine çok yakın olduğu söylenebilir.



Şekil 4.26, Lojistik regresyon yöntemi ile belirlenen heyelan duyarlılık haritası.



Şekil 4.27 Olabilirlik ağırlığı yöntemi ile belirlenen heyelan duyarlılık haritası.

5. HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Heyelan duyarlılık incelemelerinde, analize alınacak bağımsız değişkenlerin belirlenmesinde uygulayıcılar arasında belirli bir ittifak bulunmamaktadır. Burada heyelan analizini yapan araştırıcıların bilgi ve tecrübe birikimlerinden kaynaklananlar olduğu gibi lokal şartlardan kaynaklananlarında önemli olduğu görülmektedir. Bu çalışmada önceki çalışmalar bölümünde verilen araştırıcıların heyelan duyarlılık analizlerinin belirlenmesinde yoğun olarak kullandıkları bağımsız değişkenlerden arazi kullanımı, jeolojik birimler, yamaç eğimi, yamaç yönelimi açısı, yamaç plan eğriliği, yamaç profil eğriliği, yamaç tanjansiyel eğriliği, topografik nem indisi, akarsu aşındırma gücü, akış yolu uzunluğu ile yükseklik değişkenlerin kullanımı planlanmıştır. Lojistik regresyon ve olabilirlik ağırlığı analizlerinde kullanılan tüm bağımsız değişkenlere ilişkin detaylar da çizelgeler (Çizelge 4.1-4.12) halinde verilmiştir. Kullanım kolaylığı ile oluşturulacak modele katkısı göz önüne alınarak yukarıda sayılan değişkenlerden jeoloji, arazi kullanımı, yükseklik, yamaç yönelimi ile yamaç açısının kullanımı gerçekleştirilmiştir. Heyelan duyarlılık analizi, 4 jeolojik birim, 4 arazi kullanım sınıfı, 8 yamaç yönelimi, 10 yükseklik ve 10 yamaç açısı olmak üzere toplam 36 adet bağımsız değişken kullanılarak yapılmıştır. Burada kullanılan bilgisayar kapasitesinin yetersiz olmasından dolayı profil eğrilik haritası (5 sınıf), topografik nem haritası (5 sınıf) analilere dahil edilememiştir. Analiz sonucunda elde edilen lojistik regresyon denklemi aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + ... + \beta_p X_p \qquad (5.1)$$

Burada:

Y: Bağımlı değişken

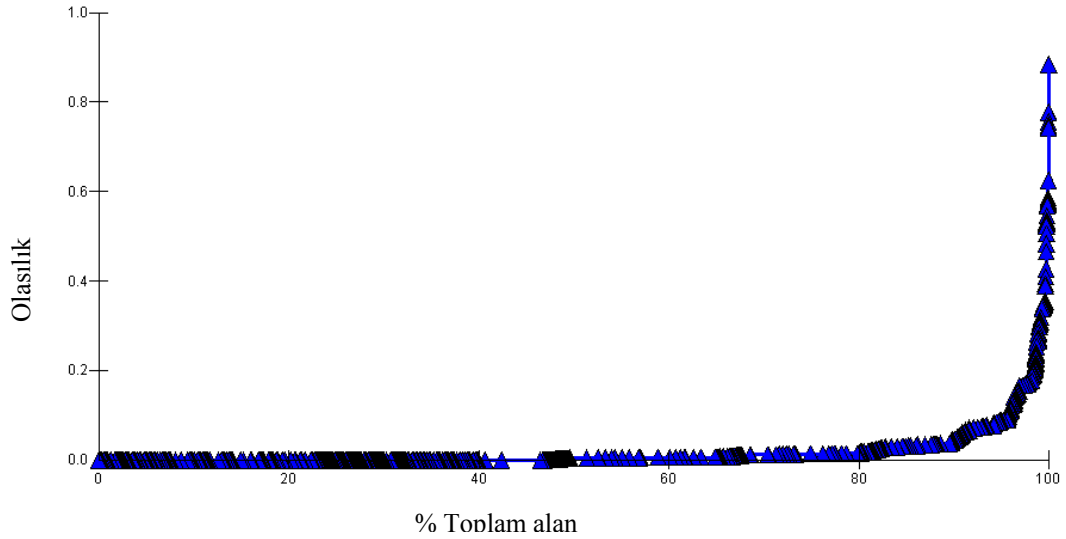
α : Lojistik regresyon sabit katsayısı

β_1 , β_2, β_3…: β_p : Bağımsız değişken katsayısı

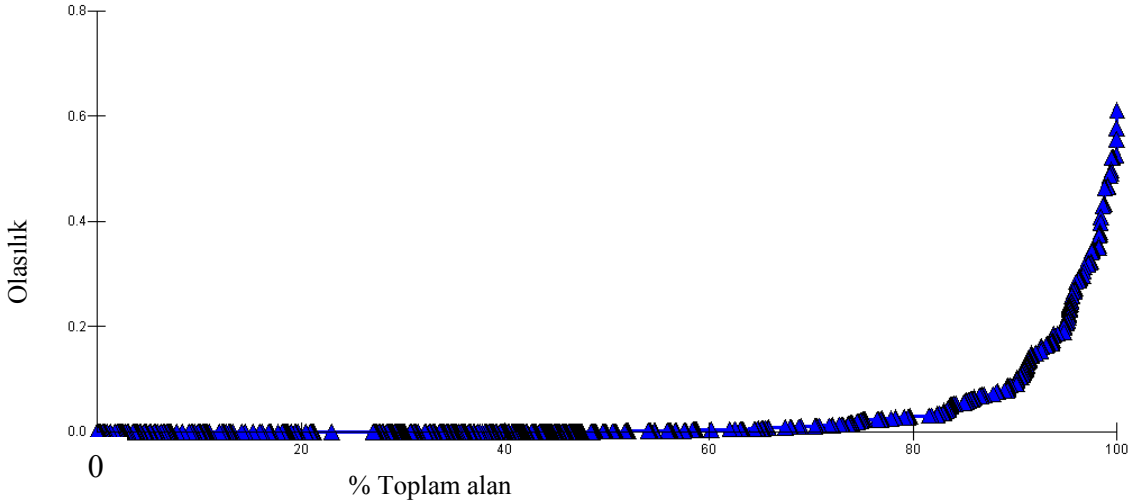
X_1 , X_2 X_3 ….X_p : Bağımsız değişkenler

P(heyelan) = -1.2241 - 1.2079 x (arazi kullanımı sınfı) - 0.7075 x (jeolojik birim sınıfı) - 0.1091 x (yamaç yönelim açısı sınıfı) + 0.0077 x (yükseklik sınıfı) + 0.786 x (yamaç eğimi sınıfı)

Burada verilen eşitlikten yükseklik ile yamaç eğiminin heyelan oluşumuna olumlu katkı sağladığı görülmektedir. Özekllikle yamaç eğiminin heyelan oluşumuna katkısının daha fazla olduğu eşitlikten açıkça görülmektedir. Duyarlılık analizinde jeoloji her ne kadar negatif etki gösterse de heyelanların tümüne yakınının Göksöğüt formasyonunuda oluşması jeolojinin heyelan oluşumunda bir etken olduğunu göstermektedir. Burada analize alınan tüm etkenlerin etkisini yansıtacak ve modele uyum sağlacak katsayılar belirlendiğinden lokal faktörlerin etkileri farklılıklar gösterebilmektedir. Jeoloji etkisinin bu anlamda değerlendirilmesi gerekmektedir. Belirlenen heyelan duyarlılık değerlerine karşılık toplam alan grafikleri Şekil 5.1, 5.2'de verilmiştir. Bu grafikler ARCSDM3 modülü vasıtası ile oluşturulmuşlardır. Bu grafiklerden de görüleceği üzere her iki analiz yönteminde de incelenen alanın ancak %2 lik kısmında %50'den fazla olasılıkla heyelan duyarlılığı tespit edilmiştir. İncelenen alanın %90'a yakın kısmında heyelan duyarlılık ihtimali değeri % 25' den daha düşüktür. Lojistik regresyon analizinde heyelan duyarlılığında maksimum %88, olabilirlik ağırlığı yönteminde ise %61 olasılık değerine ulaşılmıştır (Şekil 5.1 ve 5.2). Diğer taraftan arazide belirlenen heyelan alanları ile heyelan duyarlılık haritasındaki yüksek heyelan duyarlılığı gösteren alanlar büyük oranda çakışmıştır. Bu durum gözlenen ve uydurulan modellerin uyum içinde olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.1, Lojistik regresyon analizi ile belirlenen olasılık-%toplam alan grafiği



Şekil 5.2 Olabilirlik ağırlığı yöntemi ile belirlenen olasılık-% toplam alan grafiği

Lojistik regresyon modeliyle üretilen ve Şekil 4.27'de verilen heyelan duyarlılık haritası ile lojistik regresyon modeline dahil edilen arazi kullanım haritası, jeoloji haritası, yamaç eğimi, yamaç yönelimi ve yükseklik haritaları arasındaki zonal ilişkiler araştırılmıştır. Burada her sınıf aralığına düşen alanın bir nevi göstergesi olan hücre sayısı, sınıf aralığına düşen alanın toplam içerisindeki % değeri, sınıf aralığına düşen toplam alan, sınıf aralığında belirlenen duyarlılığın en yüksek değeri, sınıf aralığında belirlenen duyarlılığın değişim miktarı ile ortalama duyarlılık, duyarlılık standart sapması ve sınıf aralığına düşen heyelanlı hücre sayısı belirlenmiştir (Çizelge 5.1 ve 5.5). Bu çizelgelerden hareket edilerek çok yönlü

değerlendirmeler yapmak mümkündür. Burada sadece karşılaştırmalar yapılabilmesi için analize alınan her bağımsız değişken harita sınıfı için heyelan duyarlılığı, sınıf içindeki alan ve bu sınıf içerisine düşen heyelanlı hücre sayısına göre hazırlanan grafiklerin (Şekil 5.3-5.17) değerlendirmelerine yer verilmiştir.

Çizelge 5.1, Yamaç açısı - heyelan duyarlılığı ilişkisi

Yamaç Açısı-derece	Hücre sayısı	Alan %	Alan m^2	Duyarlılık En yüksek	Duyarlılık Değişimi	Ortalama Duyarlılık	Duyarlılık Standart sapması	Heyelan hücre sayısı
0-5	14057	27.863	5622800	0.0068	0.0068	0.0029	0.0025	41
5.1-10	10834	21.474	4333600	0.0172	0.0172	0.0083	0.0059	90
10.1-15	8348	16.547	3339200	0.0431	0.0431	0.0170	0.0152	142
15.1-20	6554	12.991	2621600	0.1036	0.1036	0.0323	0.0360	212
20.1-25	4797	9.508	1918800	0.2291	0.2291	0.0477	0.0722	229
25.1-30	3448	6.834	1379200	0.3936	0.3936	0.0512	0.1146	177
30.1-35	1663	3.296	665200	0.6252	0.6252	0.0493	0.1545	82
35.1-40	630	1.249	252000	0.7792	0.7792	0.0226	0.1283	14
40.1-45	103	0.204	41200	0.8841	0.8841	0.0257	0.1487	3
45.1-50	17	0.034	6800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0

Çizelge 5.2, Arazi kullanımı - heyelan duyarlılığı ilişkisi

Arazi kullanım sınıfı	Hücre sayısı	Alan %	Alan m^2	Duyarlılık En yüksek	Duyarlılık Değişimi	Ortalama Duyarlılık	Duyarlılık Standart sapması	Heyelan hücre sayısı
Yerleşim alanı	1177	2.333	470800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0
Tarım alanı	30444	60.344	12177600	0.8841	0.8841	0.0283	0.0621	861
Mera-orman	16116	31.944	6446400	0.5809	0.5809	0.0023	0.0200	36
mera-kayalık	2714	5.379	1085600	0.5234	0.5234	0.0340	0.0787	92

Çizelge 5.3 Yamaç yönelim açısı – heyelan duyarlılığı ilişkisi

Yamaç yönelim açısı - derece	Hücre sayısı	Alan %	Alan m^2	Duyarlılık En yüksek	Duyarlılık Değişimi	Ortalama Duyarlılık	Duyarlılık Standart sapması	Heyelan hücre sayısı
0-45	8231	16.315	3292400	0.7559	0.7559	0.0296	0.0645	244
45-90	3196	6.335	1278400	0.3531	0.3531	0.0184	0.0382	59
90-135	2047	4.057	818800	0.3506	0.3506	0.0179	0.0342	37
135-180	1095	2.170	438000	0.7792	0.7792	0.0254	0.0690	28
180-225	2210	4.380	884000	0.8841	0.8841	0.0280	0.0932	62
225-270	6002	11.897	2400800	0.5733	0.5733	0.0305	0.0720	183
270-315	11915	23.617	4766000	0.5707	0.5707	0.0144	0.0415	172
315-360	15755	31.228	6302000	0.7418	0.7418	0.0130	0.0426	205

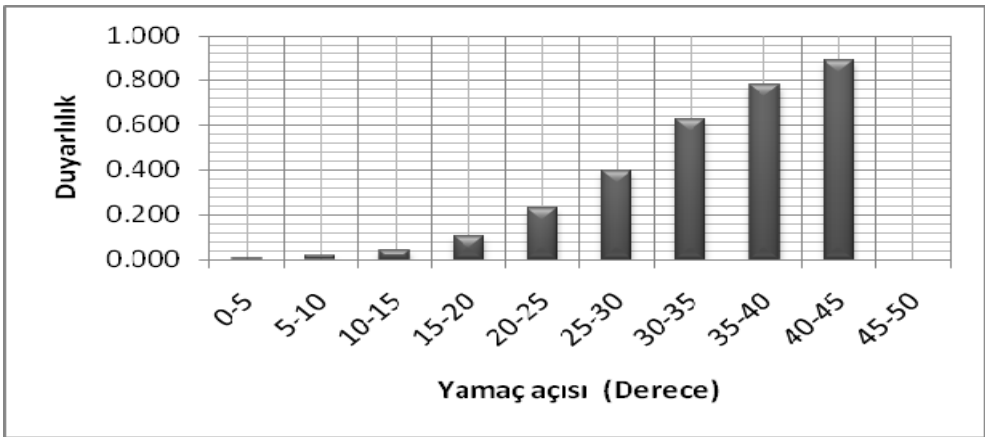
Çizelge 5.4, Jeoloji birimleri - heyelan duyarlılığı ilişkisi

Jeoloji birimleri	Hücre sayısı	Alan %	Alan m^2	Duyarlılık En yüksek	Duyarlılık Değişimi	Ortalama Duyarlılık	Duyarlılık Standart sapması	Heyelan hücre sayısı
Alüvyon	5047	10.004	2018800	0.0288	0.0288	0.0002	0.0012	1
Yamaç molozu	1301	2.579	520400	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0
Göksöğüt formasyonu	26284	52.098	10513600	0.8841	0.8841	0.0376	0.0706	988
Anamas formasyonu	17819	35.319	7127600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0

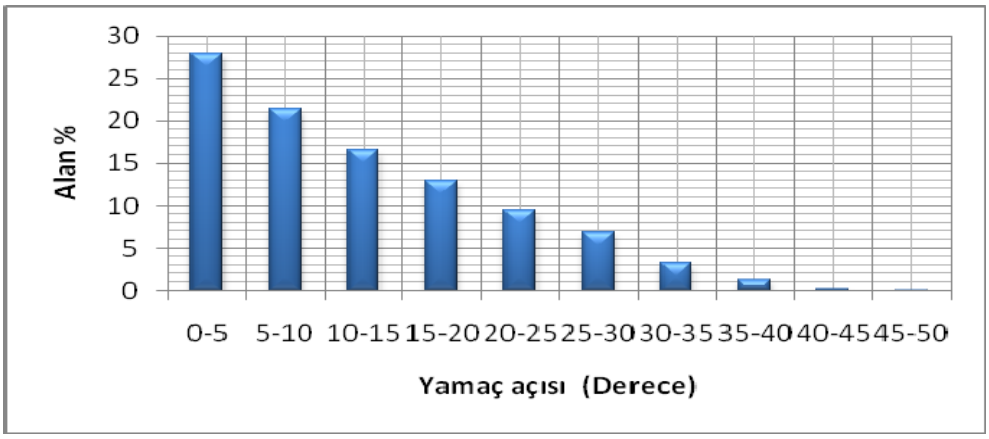
Çizelge 5.5, Yükseklik - heyelan duyarlılığı ilişkisi

Yükseklik - m	Hücre sayısı	Alan %	Alan m^2	Duyarlılık En yüksek	Duyarlılık Değişimi	Ortalama Duyarlılık	Duyarlılık Standart sapması	Heyelan hücre sayısı
947-1000	3934	7.798	1573600	0.0004	0.0004	0.0000	0.0000	0
1000-1100	5093	10.095	2037200	0.4654	0.4654	0.0128	0.0307	65
1100-1200	3599	7.134	1439600	0.5060	0.5060	0.0130	0.0427	47
1200-1300	3832	7.595	1532800	0.8841	0.8841	0.0447	0.0993	171
1300-1400	11829	23.447	4731600	0.7792	0.7792	0.0377	0.0756	446
1400-1500	10873	21.552	4349200	0.6252	0.6252	0.0225	0.0392	245
1500-1600	2173	4.307	869200	0.4275	0.4275	0.0071	0.0382	15
1600-1700	3484	6.906	1393600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0
1700-1800	4382	8.686	1752800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0
1800-1900	1252	2.482	500800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0

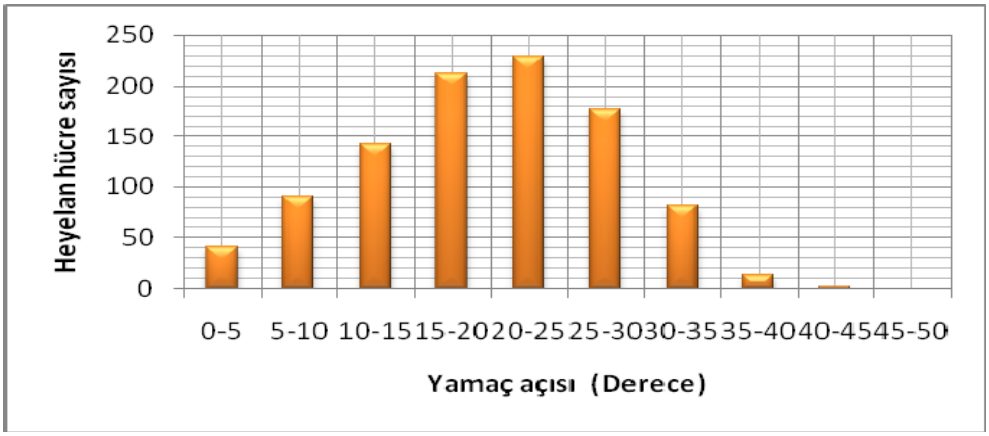
Yamaç açısı-duyarlılık, yamaç açısı % alan ilişkisi ve yamaç açısı-heyelanlı hücre sayısı grafikleri incelendiğinde (Şekil 5.3, 5.4 ve 5.5), heyelana karşı duyarlılığın yamaç açısı ile arttığı görülmektedir. En yüksek duyarlılık 40-45 derece arasında elde edilmiştir. Ancak bu sınıf aralığına düşen alanın yaklaşık %1 civarında olduğu görülmektedir. Diğer taraftan heyelanlı hücrelerin en fazla yoğun olduğu sınıf aralığının 15-25 derece arsında olduğu görülmektedir (Şekil 5.3). İncelenen alanın yaklaşık %50'lik kısmında yamaç açısının 10 dereceden daha düşük olması burada heyelan duyarlılığının düşük çıkmasına neden olmuştur. Çok düşük açılarda heyelan olma ihtimalinin düşük olması ile çok yüksek açılı alanlarda arazi alanının çok düşük olması buralarda heyelanlı alan hücre sayısının düşük olmasına yol açmıştır.



Şekil 5.3 LRA ile üretilen haritada yamaç açısı-duyarlılık ilişkisi

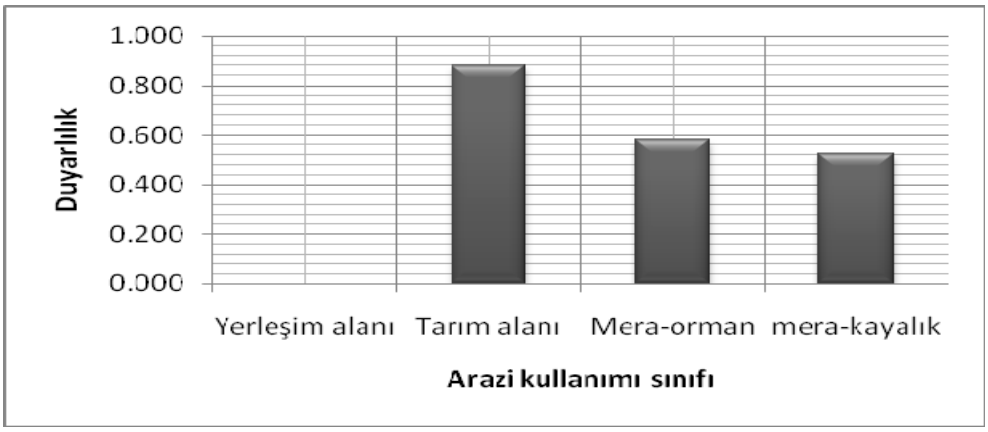


Şekil 5.4 LRA ile üretilen haritada yamaç açısı – alan ilişkisi

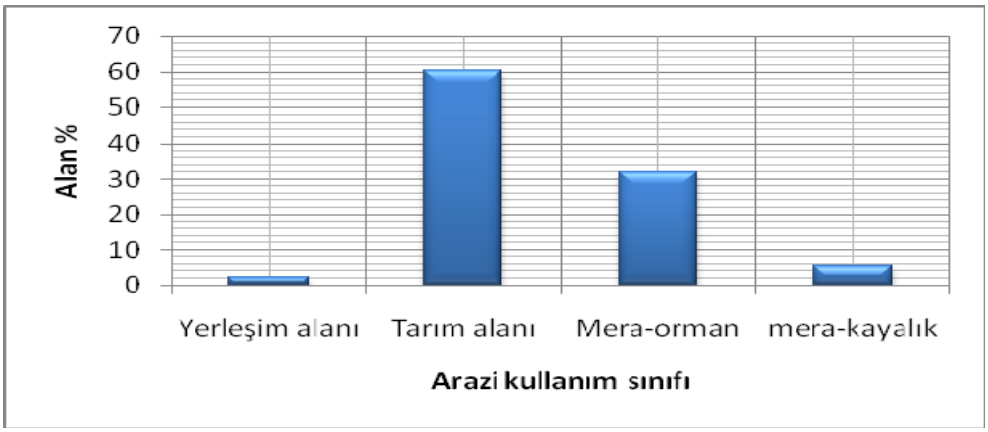


Şekil 5.5, LRA ile üretilen haritada yamaç açısı – heyelanlı alan hücre sayısı ilişkisi

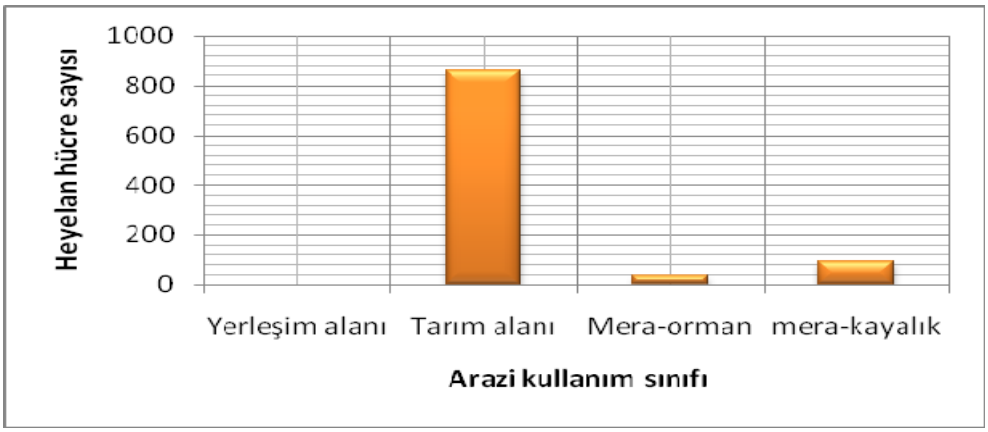
Arazi kullanımına göre inceleme yapıldığında en fazla heyelan duyarlılığı tarım alanında oluştuğu görülmektedir (Şekil 5.6, 5.7, 5.8).



Şekil 5.6, LRA ile üretilen haritada arazi kullanımı - duyarlılık ilişkisi



Şekil 5.7, LRA ile üretilen haritada arazi kullanımı – alan % ilişkisi



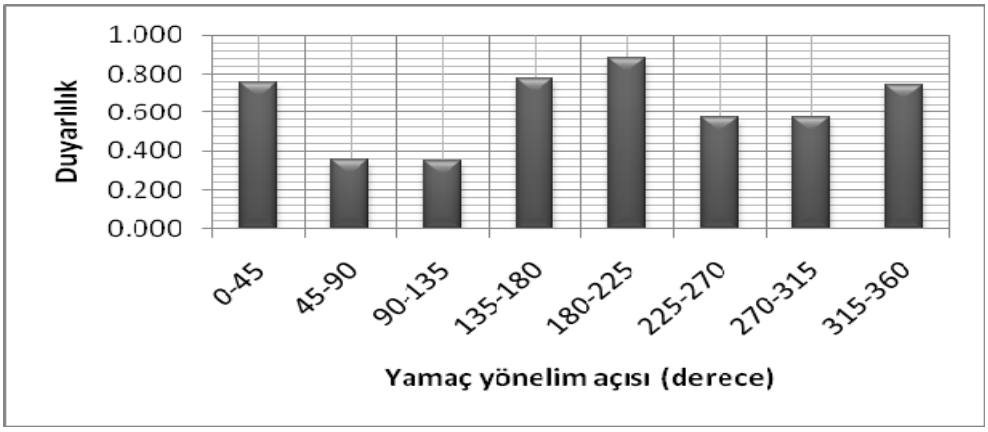
Şekil 5.8, LRA ile üretilen haritada arazi kullanım sınıflarına göre heyelan hücre sayısı.

Yamaç yönelim açısının kuzeyden itibaren saat dönüş yönünde alınan 315-45 derece arasında ve 135-225 derece arasındaki sınıflarda heyelan duyarlılığı derecesi artmaktadır (Şekil 5.9). Başka bir ifade ile kuzey ve güney yönleri esas alınmak kaydıyla bu yönlerle 45 derece sağa ve sola alınan aralıkta (kuzey ve güney yönlerinde) heyelan duyarlılığı artmaktadır. Heyelanlı alanın ise kuzeyle 45 derece doğu doğrultusunun kuzey batı yönünde kalan kesiminde daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 5.10). Heyelan duyarlılığının arttığı alan ile ve heyelanlı alanın kesişitiğ alanın ise 315-45 derece aralığında yanı kuzeye bakan yamaçlarda heyelan riskinin arttığı söylenebilir (Şekil 5.11). Yaka heyelanıda bu konumlu yamaçta oluşmuştur.

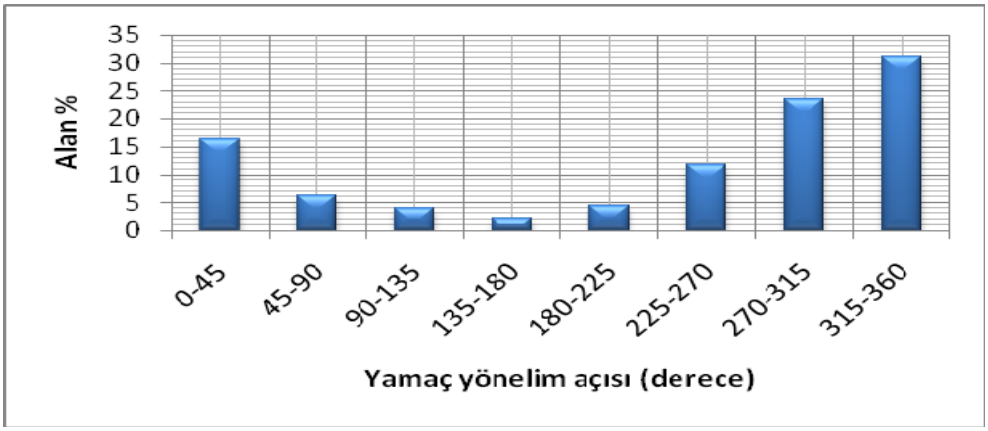
İncelenen alanın %52 'lik kısmınıda Göksöğüt formasyonu, % 36'lık kısmında ise Anamas formasyonu yüzeylemektedir. Heyelan duyarlılığının ve heyelanlı alanın hemen tamamiyle Göksöğüt formasyonunda olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.12, 5.13 ve 5.14).

Şekil 5.15, 5.16 ve 5.17 incelendiğinde incelenen alanın yaklışık %50'lik kısmının yüksekliği 1300 m ile 1500 m arasında, heyelan duyarlılığının ise 1200 ile 1400 m arasında ve heyelanlı alanın ise 1300 ile 1500 m aralığında olduğu görülmektedir.

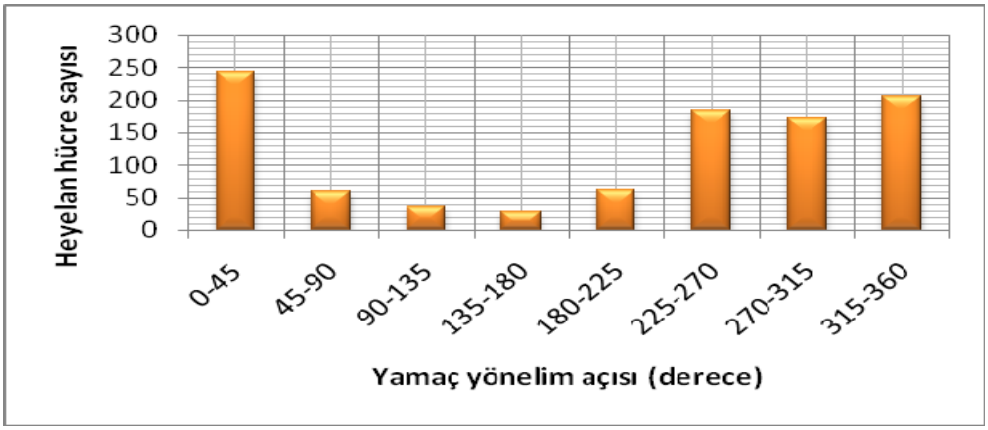
İncelenen alanda 1201 adet heyelan hücresi işleme konulmuş ancak üretilen haritada 989 adet heyelan hücresi bulunmaktadır. Başka bir ifade ile incelenen alanda bulunan heyelanlar %82 oranında temsil edebilecek model geliştirilebilmiştir. Duman ve ark. (2005) %83.8 oranında, Zhu ve Huang (2006) ise %84 oranında araziyi temsil edebilecek hassasiyette model oluşturmuşlardır. Diğer taraftan bu çalışma kapsamında üretilen heyelan duyarlılık haritasının, şartlı olasılık yöntemi kullanılarak aynı bölge için Özdemir (2009) tarafından üretilen heyelan duyarlılık haritası ile oldukça benzer olduğu da ayrıca tespit edilmiştir (Şekil 5.18).



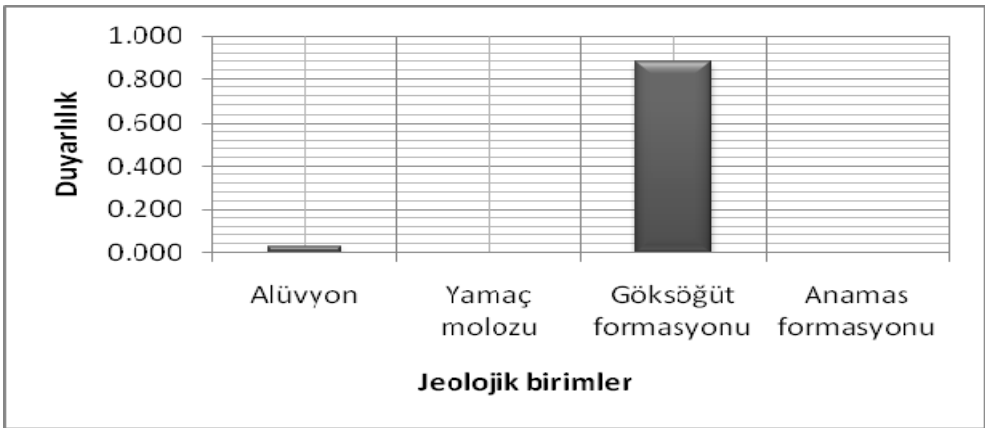
Şekil 5.9, LRA ile üretilen haritada yamaç yönelim açısı – heyelan duyarlılık değişimi



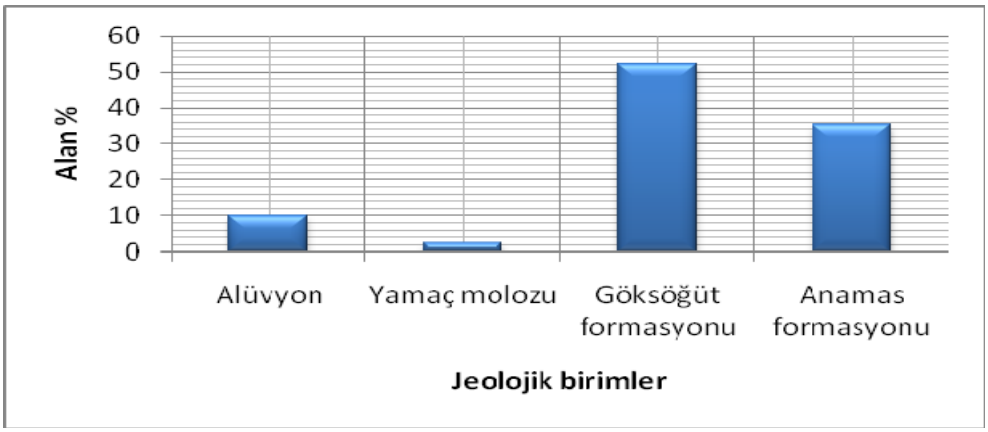
Şekil 5.10, Yamaç yönelim sınıfları içindeki alan % değerleri



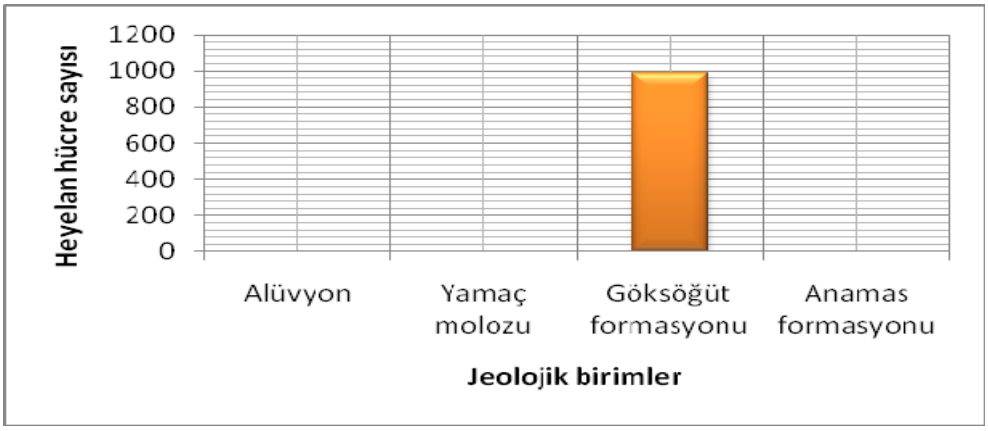
Şekil 5.11, LRA ile üretilen haritada yamaç yönelim sınıfları içindeki heyelan hücre sayısı



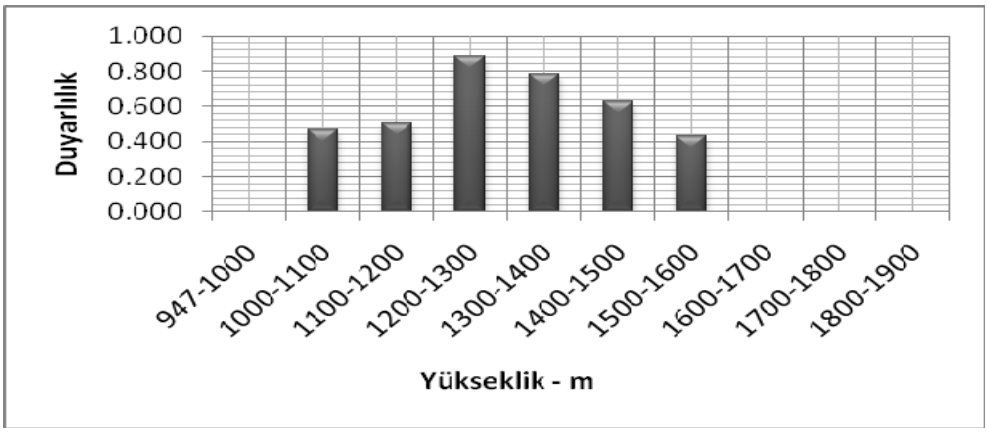
Şekil 5.12, LRA ile üretilen haritada jeolojik birimlerle heyelan duyarlılık değişimi



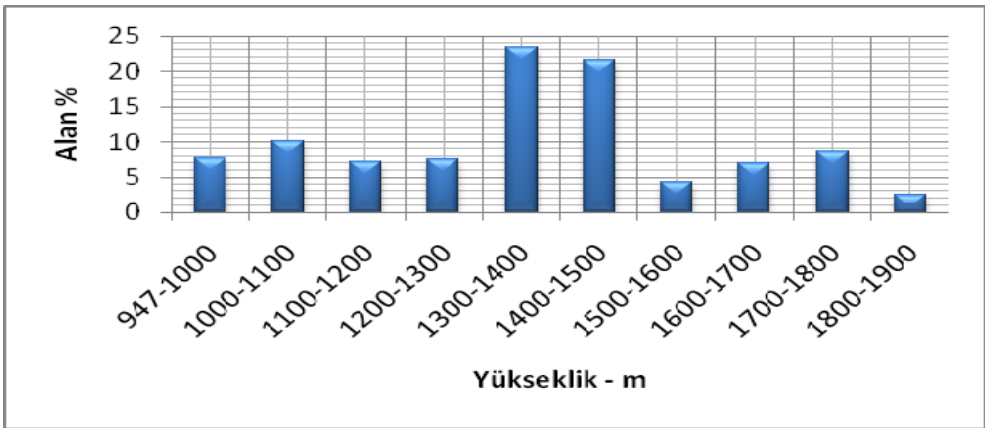
Şekil 5.13, Jeolojik birim sınıflar içindeki alan % değerleri



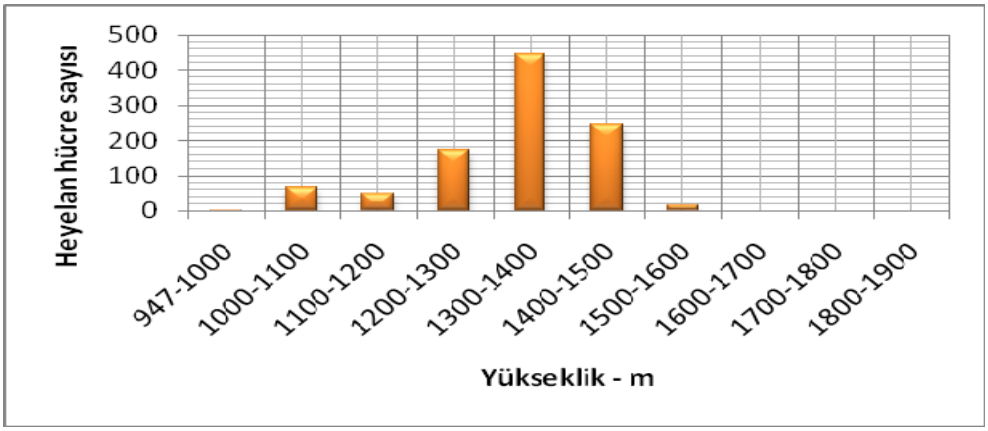
Şekil 5.14, LRA ile üretilen haritada jelojik birim sınıfları içinde heyelan hücre sayısı



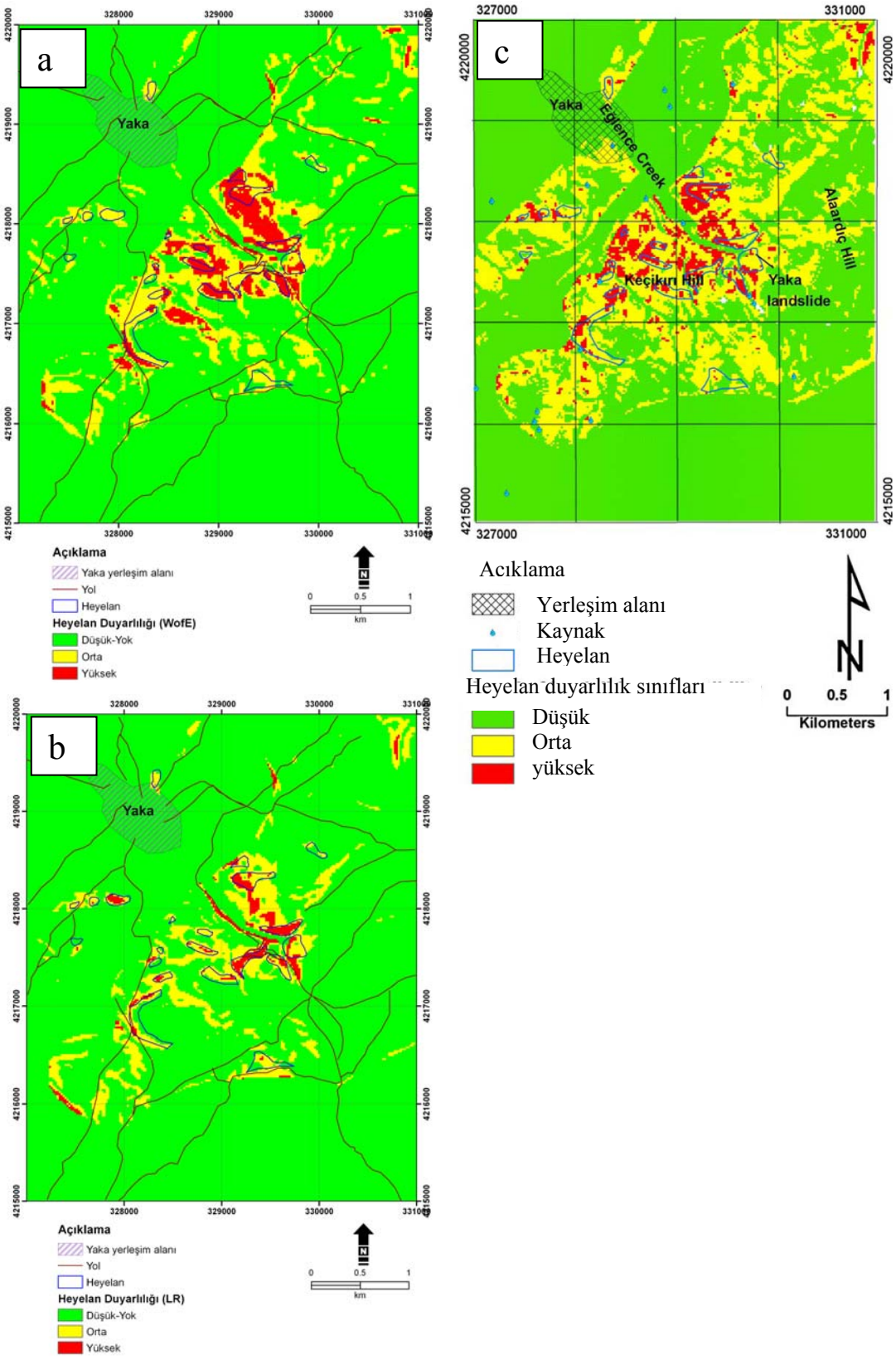
Şekil 5.15, LRA ile üretilen haritada yükseklik sınıflarına göre duyarlılık değişimi



Şekil 5.16, Yükseklik sınıflarına göre Alan % değerlerinin değişimi



Şekil 5.17, LRA ile üretilen haritada yükseklik –heyelanlı hücre sayısı ilişkisi



Şekil 5.18, Bu çalışma kapsamında üretilen heyelan duyarlılık haritaları ile (a, b) ve Özdemir (2009) tarafından üretilen heyelan duyarlılk haritası (c).

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma ile Yaka çevresinin heyelan duyarlılığı haritası lojistik regresyon yöntemi ile belirlenmiş, olabilirlik ağırlığı yöntemi ile denetlemesi yapılmıştır.

Gözlenen heyelanlar ile duyarlılık haritasında heyelan duyarlığı yüksek alanların üstelenmesi, lojistik regresyon yöntemi ile üretilen heyelan duyarlık haritası ile olabilirlik yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının ve daha önce aynı sahada şartlı olasılık yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının biribirilerine çok yakın benzerlikler göstermesi lojistik regresyon yönteminin bir bakıma başarıyla sahaya uygulandığını göstermektedir.

Lojistik regresyon eşitliğinde yükseklik ile yamaç eğiminin heyelan oluşumunu artırdığı tespit edilmiştir.

Arazi kullanımına göre en fazla heyelan duyarlılığı tarım alanlarında belirlenmiştir.

Heyelan duyarlılığı yamaç açısı ile artmakta en yüksek duyarlılık 40-45 derece arasında en fazla heyelan ise 15-25 derece aralığında oluşmuştur.

Heyelan duyarlılığı yükseklik olarak 1200 ile 1400 m arasında yüksek ancak heyelanlı alanın ise daha çok 1300 ile 1500 m aralığında olduğu görülmektedir.

Yamaç eğim yönüne göre 315-45 derece aralığında (kuzeye bakan yamaçlarda) heyelan riskinin arttığı tespit edilmiştir.

Yaka çevresinde killi kireçtaşı, marn ve kiltaşından oluşan Göksöğüt formasyonunun yüzeylendiği, çoğunlukla da ayrıştığı ve tarım alanı olarak kullanılan kesimlerde heyelan duyarlılığı daha yüksektir. Özellikle uzun süreli, fazla yağışlardan veya hızlı kar erimelerini takiben oluşan heyelanlardan sonra çamur akıntılarının oluşmasını da dikkate alarak, Yaka Kasabası için gerekli tedbirlerin alınması olası mal ve can kayıplarını azaltacak veya önleyecektir. Heyelan oluşumunun engellenmesi amacıyla heyelan olabilecek alanlara derin köklü ağaçlar dikilmesi ve yüzey sularının drene edilmesi önerilmektedir. Eğlence Deresi içerisine setler yapılarak heyelanı takiben çamur akıntısı haline dönüşen malzemenin bu dereyi takip ederek akışının engellenmesi gerekmektedir. Tedbir olması açısısndan Yaka içerisinden geçen kanalın genişletilmesi - yüksekliğinin artırılması, kanalın her

iki kenarında 5m'den az olmamak şartıyla bir güvenlik şeridinin oluşturulması olası çamur akıntısı durumunda can ve mal kaybını azaltacağı veya önleyeceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Abdüsselamoğlu, Ş. 1958. Sultandağı'nın 1/100.000 ölçekli jeolojik leveleri hakkında rapor: M.T.A. Gen. Müd. Derleme Rapor No. 2669.

Akay, E. 1981. Beyşehir Yöresinde (Orta Toroslar) Olası Alt Kimmeriyen Dağ Oluşum İzleri, Türkiye Jeol. Kur. Bült., 24/2, 25-29.

Akgün, A. and Bulut, F. 2006, GIS-based landslide susceptibility for Asrin-Yomra (Trabzon-North Turkey) region, Environ Geology (2007) 51:1377-1387

Albayrak, A.S. 2006. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri, Ankara: Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti.

Aleotti, P. ve Chowdhury, R. 1999. Landslide Hazard Assessment: Summary Review And New Perspectives. Bull. Eng. Geoll. Env., 58, 21-44.

Altınkale, S. 2001. Eğirdir ve Burdur Göllerinin Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal Karşılaştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Anbalagan, R. 1992. Terrain evaluation and landslide hazard zonation for environmental regeneration and land use planning in mountainous terrain. Proc. VI Int Symp on Landslides, Christchurch, New Zealand, 2:861–868

Anbalagan, R. and Singh, B. 1996. Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains–a case study from Kumaun Himalaya, India. Engineering Geology 43: 237-246.

Atkinson, P.M., Massari, R. 1998. Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in the central Appenines, Italy.

Ayalew, L., Yamagishi, H. and Ugawa, N. 2004. Landslide susceptibility mapping using GIS-based weigthed linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. Landslides, 1:1 73-81.

Ayalew, L. ve Yamagishi, H. 2005. The Application Of GIS- Based Logistic Regression For Landslide Susceptibility Mapping In The Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. Geomorphology, 65, 15-31.

Ayenew, T., Barbieri, G. 2005. Inventory of landslide and suscepti-bility mapping in the Dessie area, Northern Ethiopia. Eng Geol77:1–15

Aydın, A.F. 1993. Eğirdir Gölü Su Kalite Modellemesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Baeza, C. and Corominas, J. 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. Earth Surface Processes and Landforms, 26:12 1251-1263.

Barbieri G. and P. Cambuli, 2009. The weight of evidence statistical method in landslide susceptibility mapping of the Rio Pardu Valley (Sardinia, Italy). 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17 July 2009. http://mssanz.org.au/modsim09

Bell, F.G. 1999. Geological Hazards, E&FN SPON, London, s631.

Blumenthal, M., 1963. Le Systéme Structural du Taurus Sud-Anotolien: in Livre à La mémoire du Professeur P. Fallot, Mém. hs. sér. Soc. Géol. France, 2, 611-622 s.

Boray, A., Şaroğlu, F., Emre, Ö. 1985. Isparta Büklümünün Kuzey Kesiminde Doğu-Batı Daralma için Bazı Veriler, Jeoloji Mühendisliği, 23, 9-20.

Carrara, A., Merenda, L. 1976. Landslide inventory in northern Calabria, southern Italy.Geol. Soc. Am. Bull, 87: 1153–1162

Carrara A, Cardinali M, Detti R., Guzzetti F, Pasqui V and Reichenbach P 1991a. GIS Techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. Earth Surface Processes and Landform 16:5 427-445.

Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. and Reichenbach, P. 1991b. Geographical information systems and mutivariate models in landslide hazard evaluation. Proceedings ALPS 90 6th International Conference and Workshop on Landslides,Milan, 12 September 1990, 17-28.

Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F. and Reichenbach, P. 1995. GIS technology in mapping landslide hazard. In: Carrara, A. and Guzzetti, F. (eds.) Geographycal Information Systems in Assessing Natural Hazards. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 135-175.

Chung, F.C., Fabbri, A.G. and van Westen, C.J. 1995. Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation. In: Carrara, A. and Guzzetti, F. (eds.) Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 107-142.

Clerici, A., Perego, S., Tellini, C. and Vescovi, P. 2002. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. Geomorphology, 48: 349- 364.

Crozier, M.J. 1986. Landslides: causes, consequences & environment. Croom Helm Pub., London.

Cruden, D.M. 1991. A simple definition of a landslide. Bulletin International Association of Engineering Geology, 43: 27-29.

Cruden, D.M. and Varnes, D.J. 1996. Landslide types and processes. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (eds.) Landslides, Investigation and Mitigation, Transportation Research Board Special Report 247, Washington D.C., 36-75.

Çan, T., Nefeslioğlu, H. A., Gökçeoğlu, C., Sönmez H., Duman, T. Y. 2005. Susceptibility Assessments Of Shallow Earthflows Triggered By Heavy Rainfall At Three Catchments By Logistic Regression Analyses. Geomorphology (Baskıda).

Çörekçioğlu, Ş., 2004. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Yazı Havzasının (Orta-Çankırı) Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. Çukurova Üniv. Jeo. Müh. Bölümü Yüksek Lisans Tezi, 66 s. (Yayınlanmamış).

Dai, F.C. and Lee, C.F. 2002, Landslide characteristics and slope instability modelling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. Geomorphology, 42, pp. 213–238.

Dai FC, Lee CF, Li J, Xu ZW 2001 Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain Lantau Island,Hong Kong. Environ Geol 40(3):381–391

Demirkol, C., Sipahi, H., Çiçek, S., Barka, A., Sönmez, H. 1977. Sultandağının Stratigrafisi ve Jeoloji Evrimi, MTA Enstitüsü Jeoloji Dairesi, MTA raporu, Yayımlanmamış , Derleme No:6305.

Demirkol, C. ve Sipahi, H. 1979. Bağkonak-Çimendere-Muratdağı(Isparta)Yöresinin Jeolojisi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 7, 29-38.

Demirkol, C. 1982. Yalvaç-Akşehir Dolayının Stratigrafisi ve Batı Toroslarla Deneştirimi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi,14, 3-14.

Demirkol, C. ve Yetiş, C. 1985. Sultanda Kuzeybatısındaki Allokton Birimler ve Jeolojisi, Jeoloji Mühendisliği, 22, 3-10.

Demirkol, C. 1986. Sultandağı ve Dolayının Tektoniği, MTA Dergisi,107, 111-118.

Dietrich, W. E., Wilson, C. J. and Reneau, S. L. 1986. Hollows, colluvium, and landslides in soil-mantled landscapes, chapter 17 in Hillslope Processes, Edited by A. D. Abrahams, Allen and Unwin, Boston, 361-388.

Dietrich, W. E., Wilson, C. J., Montgomery, D. R, McKean, J. and Bauer, R. 1992. "Erosion Thresholds and Land Surface Morphology," Geology, 20: 675-679.

Dietrich, W. E., Wilson, C. J., Montgomery, D. R., and McKean, J. 1993. Analysis of erosion thresholds, channel networks, and landscape morphology using a digital terrain model. J.Geol. 101, 259-278.

Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L. and Ibsen, M.-L. (eds.) 1996. Landslide recognition. Identification, movements and causes. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, England, 251 p.

Donati, L. and Turrini, M.C. 2002. An objective method to rank the importance of the factors predisposing to landslides with the GIS methodology: application to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). Engineering Geology, 63:3-4 277-289.

DSİ XVIII. Bölge Müdürlüğü 1994. Eğirdir Gölü Hidrolojisi, Planlama Raporu, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara (Yayınlanmamış).

Duman T.Y. ,Can T., Gökçeoğlu C., Nefeslioglu H.A. 2005. Landslide susceptibility mapping of Çekmece area (Istanbul, Turkey) by conditional probability. Hydrol Earth Syst Sci Discuss 2:155–208. http://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net /2/155/2005/hessd- 155-2005.html

Dumont, J.F., Kerey, E., 1975. Eğirdir Gölü Güneyinin Temel Jeolojik Etüdü, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 18, 169-175.

Dunning, S.A., Rosser, N.J., Massey, C.R. 2006. Formation and failure of the Tsatichhu Landslide dam, Bhutan. Landslides 3:107–113. doi:10.1007/s10346-005-0032-x

Elitok, Ö. 2001. Şarkikaraağaç (Isparta) ve Çevresinin Jeolojisi, Minerolojisi ve Petrografisi, SDÜ Fen Bil. Enst. Doktora Tezi, 210 s.El-Naqa, A. 2001. Engineering geology assessment of El-Rabweh landslide/southeast of Amman City/Jordan. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. Vol. 60: 109-116

Ercanoğlu, M. ve Gökçeoğlu, C. 2002. Assessment Of Landslide Susceptibility For A Landslide Prone Area (North of Yenice, NW Turkey) by Fuzzy Approach. Environmental Geology, 41 (6), 720-730.

Ercanoğlu, M. and Gökçeoğlu, C. 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide Susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). Engineering Geology, 75:3-4 229-250.

Ercanoğlu, M., Gokceoglu, C. and Van Asch, Th.W.J. 2004. Landslide susceptibility zoning north of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques. Natural Hazards, 32:1-23.

Eren, Y. 1990. Engili (Akşehir) ve Bağkonak (Yalvaç) Köyleri Arasında Sultandağları Masifi'nin Tektonik Özellikleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 33.

Ergünay, O. 1999. A Perspective Of Disaster In Turkey: Issues And Prospects,Urban Settlements And Natural Disasters, Proceedings Of UIA Region II Workshop, Chamber of Architects Of Turkey.

Fernandez, C.I., DelCastillo, T.F., ElHamdouni, R., Montero, J.C. 1999. Verification of landslide susceptibility mapping: A case study. Earth Surf Proc Landforms 24:537–544

Gallant, J.C., and Wilson, J.P. 1996. TAPES-G: a grid based terrain analysis program for the enviromental sciences. Computers and Geosciences 22:713-22

Gorsevski, P.V., Gessler, P., Foltz, R.B 2000. Spatial prediction of landslide hazard using logistic regression and GIS. In: Proceed-ings of 4th International Conference on Integrating GIS and environmental modelling: problems, prospects and research needs, Banff, Alberta, 2–8 September 25–27

Gökçeoğlu, C. and Aksoy, H. 1996. Landslide susceptibility mapping of the slopes in the residual soils of the Mengen region (Turkey) by deterministic stability analyses and image processing techniques. Engineering Geology, 44: 147-161

Gökceoğlu, C., Sonmez, H., Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Can, T. 2005. The 17 March 2005 Kuzulu Landslide (Sivas, Turkey) and Landslide susceptibility map of its near vicinity. EngGeol81:65–83

Glade T., 1997. Establishing the Frequency and Magnitude of Landslide-Triggering Rainstorm Events in New Zealand. Environmental Geology 35 (2-3) August 1998

Gritzner, M.L., Marcus, W.A., Aspinall, R. and Custer, S.G. 2001. Assessing landslide potential using GIS, soil wetness modelling and topographic attributes, Payette River, Idaho. Geomoprhology, 37: 149-165.

Gupta, R.P. and Joshi, B.C. 1990. Landslide hazard zoning using the GIS approach A case study from the Ramganga catchment, Himalayas. Engineering Geology, 28:119-131.

Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P. 1999. Land-slide hazard evaluation:a review of current techniques and their applicationinamulti-scalestudy, Central Italy.Geomorphology 31:181–216

Guzzetti, F., Reichenbach, P., Cardinali, M., Galli, M. and Ardizzone, F. 2005. Landslide hazard assessment in the Staffora basin, northern Italian Apennines. Geomorphology. 72: 272–299.

Gülkan, P., Yücemen, S., Koçyigit, A., Doyuran, V., Başgöz, N. 1993. En son verilere göre hazırlanan Türkiye deprem bölgeleri haritası. ODTU Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, Rapor No. 93-01(in Turkish)

Hacettepe Üniversitesi, Çevre Uygulama ve Araştırma Merkezi, 1999. İçmesuyu Kaynağı Olarak Eğirdir Gölü'nün Korunması Projesi, Final Raporu, 156s., Ankara.

Hosmer, W. D., and Lemeshow, S., 2000. Applied Logistic Regression. Jhon Wiley and sonss, Inc. New-York, 375p.

Hutchinson, J.N. 1988. General report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrology. Proceedings 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, 1: 3-35.

Ildır, B.1995. Turkiyede heyelanların dağılımı ve afetler yasası ile ilgili uygulamalar. In: Onalp A (ed)Proceedings of 2nd national landslide symposium. Sakarya University, Turkey, pp 1–9 (in Turkish)

Jade, S. and Sarkar, S. 1993. Statistical model for slope instability classification. Enginnering Geology, 36: 91-98.

Karagüzel, R., Taşdelen, S., Akyol, E. 1995. An Analysis of the Level Fluctuations of Eğirdir Lake, SW-TURKIYE, Proceeding of The International Earth Sciences Colloquium On The Eagen Region (IESCA) V-II, 701-710.

Karakaya, F. 2003. Yalova-Orhangazi Arasındaki Bölgenin Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. Çukurova Üniv. Jeo. Müh. Bölümü Yüksek Lisans Tezi, 83 s. (Yayınlanmamış).

Kemp, L.D., G.F. Bonham-Carter, G.L. Raines, and C.G. Looney 2001, Arc-SDM: Arcview extension for spatial data modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural network analysis.

Koçyiğit, A. 1983. Hoyran Gölü (Isparta Büklümü) Dolayının Tektoniği, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 26, 1-10.

Koçyiğit, A. 1984. Güneybatı Türkiye ve Yakın Dolayında Levha İçi Yeni Tektonik Gelişim, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 27, 1-16.

Koçyiğit, A., Ünay, E., Saraç¸ G. 2000. Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west Central Anatolia and Isparta Angle: a case study in the Akşehir-Afyon Graben, Turkey. Tectonics and magmatism in Turkey and the surrounding area, vol 173. Geological Society, London, Special Publications, pp 405–421

Lee, S. and Min, K. 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. Environmental Geology, 40: 1095-1113.

Lee, S., Choi, J., and Min, K. 2002. Landslide susceptibility analysisi and verifiction using the Bayesian probability model. Environmental Geology, 43:120-131.

Lee, S., Choi, J. 2004. Landslide susceptibility map using GIS and the weight of evidence model. Int J Geogr Inf Sci 18(8):789–814

Lee, S. 2005. Application of logistic regression model and its validation for landslidesusceptibility mapping using GIS and remote sensing data. International Journal ofRemote Sensing, 26, pp. 1477–1491.

Lefevre, R. 1967. Un nouvel element de la geologie du Taurus lycien: les nappes d'Antalya (Turquie): C. r. SeancesAcad. Sci., Paris, 265, 1365-1368.

Lindsay, J.B. 2003. 'A physically based model for calculating contributing area on hillslopes and along valley bottoms' Water Resources Research 39, 1332, oi:10.1029 /2003 WR002576.

Maharaj, R. 1993. Landslide processes and landslide susceptibility analysis from an upland watershed: A case study from St. Andrew, Jamaica, West Indies. Engineering Geology, 34:53-79.

Mathew, J., Jha,V.K. and Rawat, G.S. 2007, Aplication of binary logistic analysis and its validation for landslide susceptibilty mapping in part of Garhwal Himalaya, India", International Journal of Remote Sensing 28:10,2257-2275.

Montgomery, D.R. and Dietrich, W.E. 1988. Where do channels begin, Nature, 336: 232-234

Montgomery, D. and Dietrich, W. 1989. Source Areas, Drainage Density and Channel Initiation. Water Resources Research, 25 (8): 1907-1918.

Montgomery, D.R. and Dietrich, W.E. 1994. A physically based model for the topographic control of shallow landsliding. Water Resources Research, 30:4 1153-1171.

Moore, I.D., and Burch., G.J. 1986a. Sediment Transport Capacity of Sheet and Rill Flow Application of Unit Stream Power Theory. Water Resources Research, Vol. 22, No. 8, pp 1350-1360

Moore, L.D., and Burch, G.J. 1986b. Modelling Erosion and Deposition: Topographic Effects. Transactions of the ASAE.

Moore, I.D., Grayson, R.B., Ladson, A.R. 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. Hydrol Process 5(1):3-30

Moore, I.D. and Wilson, J.P. 1992, Length-slope factors for the Resived Universal Soil Loss Equation: Simplifed method of estimation: Jour. Soil and Water Conversation, v. 4, no. 5, p. 423-428

Moore, I.D. and Wilson, J.P. 1994, Replay to "Comment on Length-slope factors for the Resived Universal Soil Loss Equation: Simplifed method of estimation" by George R. Foster: Jour. Soil and Water Conversation, v. 49, no. 2, p. 174-180

Nemčok, A., Pašek, J. and Rybár, J. 1972. Classification of landslides and other mass movements. Rock Mechanics, 4: 71-78.

Nurlu, M., Ozsarac¸V., Özmen, B.A. 1997. Case of study using remote sensing and GIS techniques after Dinar (SW Turkey). Earthquake international symposium on geology and environment, September 1–5,İstanbul

Ohlmacher, C.G. and Davis, J.C., 2003, Using multiple logistic regression and GIS technology to predict landslide hazard in northeast Kansas, USA. Engineering Geology, 69, pp. 331–343.

Özdamar, K. 2002. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi. Eskişehir : Kaan Kitabevi

Özdemir , A. 2008. Zemin Mekaniği ve Zemin Mühendisliğine Giriş, İnci Matbaası, Konya, 840s.

Özdemir, A. and Delikanlı, M. 2008, A geotecnical investigation of the retrogressive Yaka landslide and the debris flow threatening the town of Yaka (Isparta, SW Turkey), Natural Hazards, 49:113-136

Özdemir, A. 2009. Landslide susceptibility mapping of vicinity of Yaka Landslide (Gelendost, Turkey) using conditional probability approach in GIS. Environ Geol, 57:1675–1686

Özgül, N. 1971. Orta Torosların Kuzey Kesiminin Yapısal Gelişiminde Blok Hareketlerin Önemi, Türkiye Jeoloji Kur. Bült., 14, 75-87.

Özgül, N. 1976. Torosların Bazı Temel Jeoloji Özellikleri, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 19, 65-78.

Özgül, N., Bölükbaşı, S., Alkan, H., Öztaş , Y. ve Korucu, M. 1991. Göller bölgesinin tektonostratigrafik birlikleri, O. Sungurlu Semp. 213-237.

Öztürk, M.E., Öztürk, Z., Acar, Ş., Ayaroğlu, A.1981. Şarkikaağaç (Isparta) ve dolayının Jeolojisi, MTA, Jeoloji Dairesi, Rapor N0:7045, 190s.

Pachauri, A.K. and Pant, M. 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes. Engineering Geology, 32: 81-100.

Pachauri, A.K., Gupta, P.V. and Chander, R. 1998. Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas. Environmental Geology, 36:3-4 325-334.

Pack, R.T.,1995,"Statistically-based terrain stability mapping methodology for the Kamloops Forest Region, British Columbia", Proceedings of the 48th Canadian Geotechnical Conference, Canadian Geotechnical Society,Vancouver, BC, 1995

Pistocchi, A., Luzi, L. and Napolitano, P. 2002. The use of predictive modeling techniques for optimal exploitation of spatial databases: a case study in landslide hazard mapping with expert system-like methods. Environmental Geology, 41:7 765- 775.

Sawatzky, DL, GL Raines, GF Bonham-Carter and CG Looney. 2004. ARCSDM3.1: ArcMAP Extension for Spatial Data Modelling Using Weights of Evidence,

Logistic Regression, Fuzzy Logic and Neural Network Analysis. Natural Resources Canada, Geological Survey of Canada, Ottawa, Canada. Accessed August 16, 2006 at http://www.ige.unicamp.br/sdm/ArcSDM31/(last updated September 27, 2006).

Sidle, R.C., A.J. Pearce, and C.L. O'Loughlin,1985,Hillslope stability and land use, Water Resources Monograph, Vol. 11, 140 pp., Am. Geophys. Union, Washinton, DC, 1985.

Sidle, R.C.,1992, A theoretical model of the effects of timber harvesting on slope stability,Water Resources Research, 28, 1897-1910, 1992

Soeters, R., Van Westen, C.J. 1996. Slope instability recognition, analysis, and zonation. In: Turner AK, Schuster RL (eds) Landslides: investigation and mitigation. Transportation Research Board Special Report 247, pp 129–177

Soyaslan, İ.İ. 2004. Egirdir Gölü doğusunun hidrojeoloji incelemesi ve yeraltı suyu modellemesi. Suleyman Demirel Universitesi, Fen Bilimleri Enstitusu doktora tezi, pp 210, Isparta (in Turkish)

Süzen, M.L. and Doyuran, V. 2004a. A comparison of the GIS based landslide susceptibilit assessment methods: multivariate versus bivariate. Environmental Geology, 45:5 665-679.

Süzen, M. L. ve Doyuran, V., 2004b. Data Driven Bivariate Landslide Susceptibility Assessment Using Geographical Information Systems: A Method And Application To Asarsuyu Catchment, Turkey. Engineering Geology, 71, Issues 3-4, 303-321.

Şenel, M., Gedik, İ., Dalkılıç, H., Serdaroğlu, M., Bilgin A.Z., Uğuz, M.F. Bölükbaşı, A.S., Metin, Y., Korucu M. ve Özgül, N. 1996. Isparta Büklümü Doğusunda, Otokton ve Allokton Birimlerin Stratigrafisi (Batı Toroslar), MTA. Dergisi, 118, 111-160.

Teoman, M.B., Topal, T., Işık, N.S. 2004. Assessment of slope stability in Ankara clay:a case study along E90 highway. Environ Geol 45:963–977. doi:10.1007/s00254-003- 0954-3-2275

Topçam, A.,Atıgan, A., Alkan N., Özpınar B., ve Ağacık Ö. 1977. Devlet Su İşeri Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı,

Hoyran-Gelendost ve Yalvaç Ovaları Hidrojeolojik Etüd Raporu, DSİ ,İşletme Müdürlüğü Matbaası, 56 s., Ankara

Turrini, M.C. and Visintainer, P. 1998. Proposal of a method to define areas of landslide hazard and application to an area of the Dolomites, Italy. Engineering Geology, 50: 255-265.

Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Topal, T.Y., Sönmez, H., Tuncay, E., Ergüler, Z.A. and Kaşmer, Ö. 2006, Assessment of environmental and engineering geological problems for the possible re-use of an abandoned rock-hewn settlement in Ürgüp (Cappadocia), Turkey. Environmental Geology.

Varnes, D.J. 1978. Slope movements: types and processes. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J. (eds.) Landslide analysis and control, National Academy of Sciences, Transportation Research Board Special Report 176, Washington, 11-33.

Van Westen, C.J., Rengers, N., Soeters, R. 2003. Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment, Natural Hazards 30:399–419, 2003.

Wachal, D.J., Hudak, P.F. 2000. Mapping landslide susceptibility in Travis County, Texas, USA. GeoJournal 51:245–253, 2000

Wilson, J.P. and Gallant, J. C., 2000. Terrain analysis principles and applications. Jhon Wiley and Sons, Inc. , New-York 478-479 page

WP/WLI - International Geotechnical societies' UNESCO Working Party on World Landslid Inventory (1990) A suggested method for reporting a landslide. International Association Engineering Geology Bulletin, 41: 5-12.

Woodcock, N.H. ve Robertson, A.H.F., 1977. Imbricate thrust belt tectonics and sedimentation as a guide to emplacement of part of the Antalya Complex S W Turkey: Abstracts 6th Colloquium Geology Aegean Region, İzmir, Turkey.

Yağmurlu, F. 1987. Salihli güneyinde üste doğru tabakalaşan Neojen yaşlı alüvyon yelpaze çökelleri ve Gediz grabeninin tektonosedimanter gelişimi,Türkiye Jeoloji Bülteni, 30, (2), 33-41, Ankara.

Yağmurlu, F. 1991. Yalvaç-Yarıkkaya Neojen Havzasının Stratigrafisi ve Depolama Ortamları, Türkiye Jeoloji Bülteni, 34, 9-19.

Yağmurlu, F. 1992. Yalvaç-Yarıkkaya (Isparta) Yöresindeki Linyit Yataklarının Jeolojik Konumu ve Petrokimyasal Özellikleri, Doğa-Türk Yerbilimleri Dergisi, 35-42.

Yeşilnacar E. ve Topal T. 2005. Landslide Susceptibility Mapping: A Comparison Of Logistic Regression And Neural Networks Methods In A Medium Scale Study, Hendek Region (Turkey). Engineering Geology, 79, 3/4, 251–266.

Zhu, L. and Huang, J.F. 2006. (GIS-based logistic regression method for landslide susceptibility mapping in regional scale, Journal of Zhejiang University Science A 2006 7(12):2007-2017

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Isparta'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Isparta'da tamamladı. 1997 yılında Anadolu Üniversitesi İşletme Bölümünden, 2004 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Halen Isparta Bayındırlık ve İskan Müdürlüğünde Jeoloji Mühendisi olarak görev yapmaktadır.