

**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI HEYELAN
DUYARLILIK HARİTALARININ OLUŞTURULMASINDA
İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERİN VE YAPAY SİNİR
AĞLARININ KULLANILMASI:
KUMLUCA-ULUS (BARTIN) BÖLGESİ**

**USAGE OF STATISTICAL TECHNIQUES AND
ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN PRODUCING
LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPS BASED ON
GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS:
KUMLUCA-ULUS (BARTIN) REGION**

NESLİHAN YÜKSEL

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
JEOLJİ Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
DOKTORA TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2007

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ OLUŞTURULMASINDA İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERİN VE YAPAY SİNİR AĞLARININ KULLANILMASI: KUMLUCA-ULUS (BARTIN) BÖLGESİ

Neslihan Yüksel

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, coğrafi bilgi sistemi (CBS) tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında, literatürde yaygın olarak kullanılan istatistiksel analizler ile yeni ve gelişmekte olan bir yaklaşım olan yapay sinir ağı (YSA) yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması ve performanslarının karşılaştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, ülkemizde heyelanların sıklıkla geliştiği, Batı Karadeniz Bölgesi'nde bir alan seçilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında, 280 adet heyelan tespit edilmiş ve özellikleri kaydedilmiştir. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde; topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yamaç şekli, drenaja yakınlık, sırtlara yakınlık, topoğrafik nemlilik indeksi, faylara yakınlık, toprak kalınlığı, bitki örtüsü yoğunluğu, bitki türü ve yollara yakınlık olmak üzere toplam 12 adet parametre dikkate alınmıştır. Üç farklı yaklaşımın temel alındığı iki değişkenli istatistiksel analizler, faktör analizi, ayırma (diskriminant) analizi, lojistik regresyon analizi ve YSA yöntemleri kullanılarak inceleme alanının, 7 farklı yöntem ile heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. YSA'nın eğitilme aşamasında kullanılan, öğrenme algoritmalarının ve YSA'nın tasarımında kullanılan; ağ topolojisi, öğrenme katsayısı, momentum değeri, başlangıç ağırlık değerleri, dönüşüm fonksiyonları ve tekrarlama sayısı gibi sistemin kestirdiği sonuçları doğrudan etkileyen parametrelerin, sonuçlar üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Oluşturulan haritaların performanslarının belirlenmesinde; heyelanların, duyarlılık sınıfları içindeki dağılımları dikkate alınmıştır. En yüksek performansa sahip ağ tasarımının kullanıldığı, YSA yöntemi ile oluşturulan haritada, heyelanların % 93'ünün, "yüksek" ve "çok yüksek" heyelan duyarlılığı sınıfında yer aldığı saptanmıştır. YSA yöntemi ile üretilen duyarlılık haritasının, istatistiksel yöntemler ile üretilen haritalara göre daha iyi performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Bu haritayı, gösterdiği performansa göre sırasıyla; lojistik regresyon analizi, faktör analizi, ayırma analizi ve iki değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak oluşturulan haritalar, takip etmektedir.

Anahtar kelimeler: Ayırma (diskriminant) analizi, Batı Karadeniz Bölgesi, coğrafi bilgi sistemi (CBS), faktör analizi, heyelan, heyelan duyarlılık haritası, iki değişkenli istatistiksel analizler, lojistik regresyon analizi, yapay sinir ağları (YSA).

Danışman: Prof. Dr. Hüsnü AKSOY, Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

USAGE OF STATISTICAL TECHNIQUES AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN PRODUCING LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPS BASED ON GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS: KUMLUCA-ULUS (BARTIN) REGION

Neslihan Yüksel

ABSTRACT

The present study aims to produce landslide susceptibility maps based on geographical information system (GIS), using conventional statistical analyses and newly introduced artificial neural networks (ANN); and compare their performances. For this purpose, an area in the Western Black Sea Region, where landslides extensively develop, was selected. During field studies, detailed records of 280 landslides were taken to prepare a comprehensive database. In the evaluation of landslide susceptibility, twelve parameters have been taken into account, such as topographical elevation, slope angle, slope aspect, shape of slope, closeness to drainage, closeness to ridges, topographical wetness index, closeness to faults, soil thickness, land cover density, vegetation type, and closeness to roads. Landslide susceptibility maps of the study area were prepared using seven different methods, such as bivariate statistical analyses based on three approaches, factor analyses, discriminant analyses, logistic regression analyses and artificial neural networks. In the study, the effects of the parameters directly affecting the results estimated by the system, such as learning algorithms used in the teaching stage of the ANN; network topology, learning rate, momentum, initial weights, transformation functions, number of iterations used in the network design were also evaluated. In assessing the performances of the maps produced, the distribution of the landslides in susceptibility classes was taken into consideration. It has been determined that, in the map produced by ANN with the highest network design performance, 93 percent of the landslides took place in the zones of “high” and “very high” susceptibility classes. It was also found that the susceptibility map produced by ANN yielded a better performance compared to those produced through statistical methods. The performances of other methods were found to be in the following respects: logistic regression analysis, factor analysis, discriminant analysis, and bivariate statistical analysis.

Key words: Artificial neural networks (ANN), bivariate statistical analyses, discriminant analysis, factor analysis, geographical information system (GIS), landslide, landslide susceptibility map, logistic regression analysis, West Black Sea Region.

Danışman: Prof. Dr. Hüsnü AKSOY, Hacettepe University, Faculty of Engineering, Geological Engineering Department

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında, bilimsel katkı, görüş ve eleştirilerinin yanısıra manevi desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Hüsnü Aksoy'a,

Tez çalışması süresince, yaptıkları öneri ve eleştirilerle çalışmanın içeriğinin şekillenmesinde önemli katkılar sağlayan, Prof. Dr. Vedat Toprak ve Yrd. Doç. Dr. Levent Tezcan'a,

Çalışmanın içeriğinin şekillendirilmesi ve son halini almasında yaptığı, değerli eleştiriler ve katkılar nedeniyle Doç. Dr. Murat Ercanoğlu ve Doç. Dr. Lütfi Süzen'e,

İstatistiksel analiz uygulamalarında, yaptıkları katkılar nedeniyle Yrd. Doç. Dr. Levent Tezcan, Prof. Dr. Hüseyin Tatlıdil ve Prof. Dr. Cem Saraç'a, çalışmalarında her zaman destek olan Prof. Dr. Reşat Ulusay'a,

Arazi çalışmalarındaki katkılarından dolayı Doç. Dr. Murat Ercanoğlu ve Jeo. Yük. Müh. Özgü Kaşmer'e,

103Y-126 no.lu araştırma projesine sağladığı maddi destekten dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na,

Çalışma alanına ait orman haritalarının teminini sağlayan, Çevre ve Orman Bakanlığı Özel Kalem Müdürü İsmail Belen'e ve Orman Müh. Umut Adıgüzel'e, toprak ve yol haritalarının temininde yardımcı olan Afet İşleri Genel Müdürlüğü Daire Başkanı İbrahim Yaşar'a,

Tez çalışması boyunca gösterdikleri anlayıştan dolayı İller Bankası Genel Müdürlüğü, Etüt Plan ve Yol Dairesi Başkanlığı, Jeoteknik Etüt Şube Müdürlüğü çalışanlarına,

Ve her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen en değerli varlığım sevgili aileme,

TEŞEKKÜR EDERİM.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa No
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. İnceleme Alanının Tanıtımı.....	4
1.2. İnceleme Alanının Bölgesel Jeolojik Özellikleri.....	4
1.3. İnceleme Alanının Genel Morfolojik Özellikleri.....	7
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	9
2.1. İnceleme Alanın Jeolojisi ve Jeomorfolojisine İlişkin Önceki Çalışmalar.....	9
2.2. Heyelan Duyarlılık, Tehlike ve Risk Haritalarının Üretilmesine Yönelik Önceki Çalışmalar.....	11
3. HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİNDE KULLANILAN ÖLÇEK, HARİTALAMA BİRİMİ VE YÖNTEMLER.....	39
3.1. Heyelan Duyarlılık, Tehlike ve Risk kavramları.....	39
3.2. Heyelan Duyarlılık Değerlendirmelerinde Kullanılan Ölçekler.....	42
3.3. Heyelan Duyarlılık Değerlendirmelerinde Kullanılan Haritalama Birimleri.....	43
3.4. Heyelan Duyarlılık Değerlendirmelerinde Kullanılan Yöntemler.....	45
3.4.1. Nitel yöntemler.....	45
3.4.1.1. Jeomorfolojik analizler.....	46
3.4.1.2. Parametre haritalarının kullanımı.....	47
3.4.1.2.1. İndeks veya Parametre Haritalarının Çakıştırılması Yöntemi....	47
3.4.1.2.2. Mantıksal analitik modeller.....	48
3.4.2. Nicel yöntemler.....	48
3.4.2.1. İstatistiksel analizler.....	48
3.4.2.1.1. İki değişkenli istatistiksel analizler.....	49
3.4.2.1.2. Çok değişkenli istatistiksel analizler.....	50
3.4.2.2. Jeoteknik yaklaşımlar.....	51
3.4.2.2.1. Deterministik analizler.....	51

3.4.2.2.2. Olasılığa dayalı yaklaşımlar.....	52
3.4.2.3. Yapay sinir ağı yöntemi.....	52
4. YAPAY SİNİR AĞI SİSTEMLERİ.....	55
4.1. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi.....	56
4.2. Yapay Sinir Ağı Sistemlerinin Yapısı.....	57
4.3. Yapay Sinir Ağı Sistemlerinin Sınıflandırılması.....	58
4.3.1. Hopfield ağları.....	59
4.3.2. Hamming ağları.....	61
4.3.3. Carpenter/Grossberg ağları.....	63
4.3.4. Tek tabakalı ağlar.....	65
4.3.5. Çok tabakalı ağlar.....	67
4.3.6. Kohonen ağları.....	70
4.4. Yapay Sinir Ağlarının Üstünlük ve Sınırlamaları.....	72
5. İNCELEME ALANININ HEYELAN ENVANTERİNİN VE VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI.....	76
5.1. Heyelan envanterinin oluşturulması.....	77
5.2. Veri tabanının oluşturulması.....	84
6. İNCELEME ALANININ HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİNDE KULLANILAN PARAMETRELER.....	87
6.1. Faylara Yakınlık.....	87
6.2. Tabakaların Yamaçlarla İlişkisi.....	90
6.3. Toprak Türü ve Derinliği.....	94
6.4. Topoğrafik ve Göreceli Yükseklik.....	99
6.5. Yamaç Eğimi.....	105
6.6. Yamaç Eğim Yönü.....	107
6.7. Yamaç Şekli.....	112
6.8. Drenaj Ağı.....	113
6.9. Sırtlara Yakınlık.....	116
6.10. Topoğrafik Nemlilik İndeksi.....	118
6.11. Bitki Örtüsü Yoğunluğu.....	122
6.12. Bitki Türü.....	126
6.13. Yollara yakınlık.....	131
7. İKİ DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL ANALİZ YÖNTEMİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ OLUŞTURULMASI.....	133
7.1. Heyelan Yoğunluğu Temel Alınarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması.....	136

7.2. Van Westen (1993) Tarafından Önerilen Yaklaşım Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması.....	144
7.3. Süzen and Doyuran (2005) Tarafından Önerilen Yaklaşım Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması.....	150
8. ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL ANALİZ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ OLUŞTURULMASI.....	160
8.1. Faktör Analizi.....	161
8.1.1. Faktör analizine ilişkin genel bilgiler.....	161
8.1.2. Faktör analizi yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması.....	162
8.2. Ayırma (Diskriminant) Analizi.....	172
8.2.1. Ayırma analizine ilişkin genel bilgiler.....	172
8.2.2. Ayırma (diskriminant) analizi yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması.....	174
8.3. Lojistik Regresyon Analizi.....	186
8.3.1. Lojistik regresyon analizine ilişkin genel bilgiler.....	186
8.3.2. Lojistik regresyon analizi yöntemi kullanılarak inceleme alanının heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması.....	189
9. YAPAY SİNİR AĞI YÖNTEMİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ OLUŞTURULMASI.....	203
9.1. Veri Setinin Hazırlanması.....	204
9.2. Yapay Sinir Ağının Öğrenme Algoritması.....	215
9.2.1. Geri yayılım (back propagation) algoritması.....	215
9.2.2. Hızlı yayılım (quick propagation) algoritması.....	217
9.2.3. QN (quasi-Newton) algoritması.....	218
9.2.4. CGD (conjugate gradient descent) algoritması.....	219
9.3. Gizli Tabaka ve Düğüm Sayısının Belirlenmesi.....	221
9.4. Dönüşüm Fonksiyonları.....	230
9.5. Öğrenme ve Momentum Katsayısı.....	231
9.6. Başlangıç Ağırlık Değerleri.....	233
9.7. Tekrarlama Sayısı.....	234
9.8. Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması.....	235
10. HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA.....	240
10.1. YSA Yöntemi ve İstatistiksel Analiz Yöntemleri Kullanılarak Oluşturulan Heyelan Duyarlılık Haritalarının Performanslarının Değerlendirilmesi.....	240

10.2. Tartışma.....	245
11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	253
12. YARARLANILAN KAYNAKLAR.....	259
ÖZGEÇMİŞ.....	275
EK 1. Bitki türü ve özellikleri	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	5
Şekil 1.2. İnceleme alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası.....	8
Şekil 3.1. Heyelan duyarlılık ve tehlike değerlendirmelerinde kullanılan yöntemler.....	46
Şekil 4.1. İnsan beynindeki bir düğümün yapısı.....	56
Şekil 4.2. Yapay sinir ağlarında basit bir düğümün fonksiyonel yapısı....	58
Şekil 4.3. Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması.....	59
Şekil 4.4. Hopfield ağlarının çalışma mekanizması.....	60
Şekil 4.5. Hamming ağının çalışma mekanizması.....	61
Şekil 4.6. Carpenter/Grossberg ağının çalışma mekanizması.....	63
Şekil 4.7. Tek tabakalı ağların çalışma mekanizması.....	66
Şekil 4.8. Çok tabakalı yapay sinir ağlarının genel yapısı.....	68
Şekil 4.9. Kohonen ağlarının genel yapısı.....	70
Şekil 4.10. Klasik ve sinir ağı sistemlerinde sınıflamaların blok diyagramlar.....	73
Şekil 5.1. İnceleme alanında belirlenen heyelanların dağılımı.....	78
Şekil 5.2. İnceleme alanında gözlenen heyelan türlerinin idealize edilmiş şekilleri.....	79
Şekil 5.3. Çalışma alanında gözlenen dairesel kayma türündeki heyelanlara ilişkin bir örnek.....	81
Şekil 5.4. Çalışma alanında gözlenen toprak akması türündeki heyelanlara ilişkin bir örnek.....	81
Şekil 5.5. Çalışma alanında gözlenen toprak kayması türündeki heyelanlara ilişkin bir örnek.....	82
Şekil 5.6. Heyelan uzunluğuna göre heyelanların yüzde dağılımı.....	82
Şekil 5.7. Heyelan genişliğine göre heyelanların yüzde dağılımı.....	83
Şekil 5.8. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanılan parametre haritaları.....	86
Şekil 6.1. İnceleme alanındaki faylar ve heyelan dağılımı.....	89
Şekil 6.2. Faylara olan uzaklığa göre heyelanların dağılımı ve alansal dağılım.....	90
Şekil 6.3. İnceleme alanında hakim olan tabaka konumları.....	91
Şekil 6.4. Kinematik anlamda düzlemsel kayma koşulu.....	92

Şekil 6.5. İnceleme alanında hakim tabaka konumlarına göre belirlenen olası düzlemsel kayma veya toprak kayması türündeki heyelanlı alanlar.....	93
Şekil 6.6. İnceleme alanının toprak haritası.....	96
Şekil 6.7. İnceleme alanındaki toprak grubu ve derinlik sınıflarına göre heyelanların yüzde dağılımı.....	98
Şekil 6.8. Toprak ve kaya zeminlerin yayılımı ve toprak derinliği haritası	98
Şekil 6.9. Toprak derinliğine göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.....	99
Şekil 6.10. İnceleme alanının topoğrafik yükseklik haritası ve heyelanların dağılımı.....	102
Şekil 6.11. Topoğrafik yükseklik değerlerine göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.....	103
Şekil 6.12. İnceleme alanının göreceli yükseklik haritası ve heyelanların dağılımı.....	104
Şekil 6.13. Göreceli yükseklik değerlerine göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.....	105
Şekil 6.14. İnceleme alanının yamaç eğimi haritası ve heyelanların dağılımı.....	108
Şekil 6.15. Yamaç eğimi değerlerine göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.....	109
Şekil 6.16. İnceleme alanının yamaç eğim yönü haritası ve heyelanların dağılımı.....	111
Şekil 6.17. Yamaç eğim yönü değerlerine göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.....	112
Şekil 6.18. İnceleme alanının yamaç şekli haritası ve heyelanların dağılımı.....	114
Şekil 6.19. Yamaç şekline göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.....	115
Şekil 6.20. İnceleme alanının drenaj ağı haritası ve heyelanların dağılımı.....	117
Şekil 6.21. Drenaj ağına olan yakınlığa göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.....	118
Şekil 6.22. İnceleme alanının sırt eksenleri haritası ve heyelanların dağılımı.....	119
Şekil 6.23. Sırtlara olan yakınlığa göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.....	120
Şekil 6.24. İnceleme alanının topoğrafik nemlilik indeksi haritası ve heyelanların dağılımı.....	121

Şekil 6.25. Topoğrafik nemlilik indeksi değerlerine göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.....	122
Şekil 6.26. İnceleme alanının bitki örtüsü yoğunluğu haritası ve heyelanların dağılımı.....	125
Şekil 6.27. Bitki örtüsü yoğunluğuna göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.....	126
Şekil 6.28. İnceleme alanının orman haritası.....	128
Şekil 6.29. Bitki türüne göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.....	129
Şekil 6.30. İnceleme alanının yol ağı haritası ve heyelanların dağılımı...	132
Şekil 6.31. Yollara yakınlığa göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.....	132
Şekil 7.1. Heyelan yoğunluğu temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin frekans dağılımı.....	140
Şekil 7.2. Ortalama ve standart sapma değeri kullanılarak belirlenen heyelan duyarlılık sınıfları.....	141
Şekil 7.3. Heyelan yoğunluğu dikkate alınarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.....	143
Şekil 7.4. Van Westen (1993) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin frekans dağılımı.....	149
Şekil 7.5. Van Westen (1993) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.....	151
Şekil 7.6. Süzen and Doyuran (2004) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin frekans dağılımı.....	157
Şekil 7.7. Süzen and Doyuran (2004) tarafından önerilen yaklaşım kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.....	159
Şekil 8.1. Faktör analizi yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.....	171
Şekil 8.2. Sınır koşulları dikkate alınarak seçilen heyelan olmayan alanlar ve heyelanlı alanlar.....	176
Şekil 8.3. Gelişigüzel seçilen heyelan olmayan alanlar ve heyelanlı alanlar.....	176
Şekil 8.4. Heyelanlı ve heyelan olmayan alanlar için ayırma puanları frekans dağılımı.....	182
Şekil 8.5. Ayırma analizi yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.....	184
Şekil 8.6. Lojistik regresyon analizi yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.....	200
Şekil 9.1. Gelişigüzel seçilen değerler kullanılarak oluşturulan eğitim-deneme-kontrol veri setlerinde heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin dağılımı.....	207

Şekil 9.2. Sınır koşulları dikkate alınarak oluşturulan eğitim-deneme-kontrol veri setlerinde heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin dağılımı.....	211
Şekil 9.3. Geri yayılım öğrenme algoritması için en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip üç tabakalı ağ tasarımı.....	229
Şekil 9.4. Geri yayılım öğrenme algoritması için en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip dört tabakalı ağ tasarımı.....	229
Şekil 9.5. Yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.....	238
Şekil 10.1. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarında benzer heyelan duyarlılığına sahip alanlar.....	244

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Heyelan duyarlılık değerlendirme yöntemlerinde kullanılan ölçekler.....	43
Çizelge 3.2. Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan yöntemlerin üstünlük ve sınırlamaları, ölçek türü ve CBS kullanımı.....	53
Çizelge 4.1. Hopfield ağı algoritması.....	60
Çizelge 4.2. Hamming ağı algoritması.....	62
Çizelge 4.3. Carpenter/Grossberg ağı algoritması.....	64
Çizelge 4.4. Tek tabakalı ağların algoritması.....	66
Çizelge 4.5. Çok tabakalı ağların algoritması.....	69
Çizelge 4.6. Kohonen ağlarının algoritması.....	71
Çizelge 5.1. Varnes (1978) tarafından önerilen heyelan sınıflama sistemi.....	79
Çizelge 6.1. Toprak grubu ve derinlikleri.....	97
Çizelge 6.2. Bitki türlerinin gelişme çağı ve kapalılık oranlarının tanımlanma indeksi.....	130
Çizelge 7.1. Heyelanlı ve heyelan olmayan piksellere ait değişkenlerin istatistiksel özellikleri.....	135
Çizelge 7.2. Heyelanlı piksellere ait değişkenlerin istatistiksel özellikleri.....	135
Çizelge 7.3. Heyelan yoğunluğu temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi (W_i) değerleri.....	136
Çizelge 7.4. Heyelan yoğunluğu temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin sınıflandırılması.....	142
Çizelge 7.5. Van Westen (1993) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi (W_i) değerleri.....	144
Çizelge 7.6. Van Westen (1993) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin sınıflandırılması.....	149
Çizelge 7.7. Heyelanların kümülatif yüzde dağılımı dikkate alınarak belirlenen parametre sınıfları.....	152
Çizelge 7.8. Süzen and Doyuran (2004) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi (W_i) değerleri.....	153
Çizelge 7.9. Süzen and Doyuran (2004) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin sınıflandırılması.....	157
Çizelge 8.1. Değişkenlere ait korelasyon matrisi.....	164
Çizelge 8.2. Temel bileşenler analizi sonuçları.....	166
Çizelge 8.3. 12 adet değişkenin ortak varyans değerleri.....	166
Çizelge 8.4. 11 adet değişkenin ortak varyans değerleri.....	166

Çizelge 8.5. Özdeğer istatistiğine bağlı faktör sayısı ve açıklanan varyans yüzdesi.....	167
Çizelge 8.6. Döndürülmüş faktör matrisi.....	168
Çizelge 8.7. Faktör puanı katsayısı matrisi.....	169
Çizelge 8.8. Ters kümülatif khi-kare değerleri ve Mahalanobis uzaklıkları kullanılarak hesaplanan korelasyon katsayıları .	177
Çizelge 8.9. Özdeğer istatistiği ve kanonik korelasyon değerleri.....	178
Çizelge 8.10. Ayırma analizi ile elde edilen yapı matrisi.....	179
Çizelge 8.11. Ayırma analizi doğru sınıflandırma sonuçları.....	181
Çizelge 8.12. Ayırma fonksiyonunun performansının denenmesi amacıyla iki gruba ayrılan veri setine ait doğru sınıflandırma sonuçları.....	182
Çizelge 8.13. Gelişigüzel seçilen değerler kullanılarak oluşturulan veri setleri için ayırma analizi doğru sınıflandırma sonuçları.....	186
Çizelge 8.14. Lojistik regresyon analizi doğru sınıflandırma sonuçları....	190
Çizelge 8.15. Aşamalı lojistik regresyon analizi iterasyon tarihçesi.....	192
Çizelge 8.16. Aşamalı lojistik regresyon analizi modelinin R^2 istatistiği	195
Çizelge 8.17. Aşamalı lojistik regresyon analizi doğru sınıflandırma sonuçları.....	196
Çizelge 8.18. Aşamalı lojistik regresyon analizi istatistikleri.....	197
Çizelge 8.19. Gelişigüzel seçilen değerler kullanılarak oluşturulan veri setleri için lojistik regresyon analizi sınıflandırma sonuçları.....	202
Çizelge 9.1. Hızlı yayılım algoritması için üç tabakalı YSA'na ait doğru sınıflandırma sonuçları.....	223
Çizelge 9.2. Geri yayılım algoritması için üç tabakalı YSA'na ait doğru sınıflandırma sonuçları.....	224
Çizelge 9.3. QN algoritması için üç tabakalı YSA'na ait doğru sınıflandırma sonuçları.....	225
Çizelge 9.4. CG algoritması için üç tabakalı YSA'na ait doğru sınıflandırma sonuçları.....	226
Çizelge 9.5. Geri yayılım algoritması için dört tabakalı YSA'na ait doğru sınıflandırma sonuçları.....	227
Çizelge 9.6. Farklı dönüşüm fonksiyonları için doğru sınıflandırma sonuçları.....	231
Çizelge 9.7. Geri yayımlı YSA için öğrenme oranı ve momentum değerlerine göre doğru sınıflandırma sonuçları.....	233
Çizelge 9.8. Öğrenme algoritması ve başlangıç ağırlık değerlerine göre doğru sınıflandırma sonuçları.....	234
Çizelge 10.1. Heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının değerlendirilmesi.....	242
Çizelge 10.2. Benzer sınıflandırılan piksellerin belirlenmesi için kullanılan yaklaşım.....	244
Çizelge 10.3. Benzer sınıflandırılan pikseller içinde duyarlılık sınıflarının kapladığı alanlar ve bu alanlar içindeki heyelanların yüzde dağılımı.....	245

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AA	Ayırma analizi
BP	Geri yayılım
BSP	Benzer sınıflandırılan pikseller
CBS	Coğrafi bilgi sistemleri
CF	Certainty factor
CGD	Conjugate gradient descent
Ç.D.İ.A.	Çok değişkenli istatistiksel analizler
Eş.	Eşitlik
FA	Faktör analizi
GYYSA	Geri yayımlı yapay sinir ağı
İ.D.İ.A.	İki değişkenli istatistiksel analizler
K.Y.H.M.	Köye Yönelik Hizmetler Müdürlüğü
LRA	Lojistik regresyon analizi
M.T.A.	Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü
N.H.D.İ.	Normalleştirilmiş heyelan dağılım indeksi
QN	Quasi Newton
QP	Hızlı yayılım
Wi	Heyelan duyarlılık indeksi
YSA	Yapay sinir ağları

1. GİRİŞ

Doğa olayları, doğanın iç dengelerinin yeniden düzenlenmesi döngüsünün sonuçları olup dünyanın oluşumundan günümüze kadar devam etmektedir. Doğa olaylarının, doğal afetlere dönüşmesi ise insan yaşamının başlaması ile eş zamanlıdır. Doğal afetler; deprem, heyelan, taşkın gibi olayların meydana gelmesi sonucunda oluşan doğal hasar ile sosyal, ekonomik, politik ve kültürel faktörlere bağlı olan toplumsal hasarın, aynı yer ve zamanda meydana gelmesinin sonucudur (Alcantara-Ayala, 2002).

Son yıllarda, dünyadaki nüfus yoğunluğunda meydana gelen artışa, hızlı ve plansız kentsel gelişmeye bağlı olarak, doğal afetler sonucunda oluşan can ve mal kayıplarında önemli oranda artış meydana gelmiştir. Küresel ölçekte, heyelanların verdiği zararlar incelendiğinde, heyelanlar sonucunda meydana gelen yaşam kayıpları, doğal afetlerde yaşamını yitirenlerin, % 14'ünü oluşturmaktadır. 1967-1991 yılları arasında, doğal afetlerde oluşan can kaybının % 5'i, heyelanlardan kaynaklanmıştır. 1971-1974 yılları arasında, dünya çapında her yıl 600 kişi, heyelanlar sonucunda yaşamını yitirmiştir. Amerika, Japonya, İtalya ve İsviçre'de meydana gelen ekonomik zararlar, diğer ülkelere göre daha fazladır ve yılda 1 ile 5 milyar doları bulmaktadır. Gelişmekte olan veya gelişmemiş ülkelerde, heyelanların neden olduğu can kayıpları daha fazla olup ekonomik kayıplar, gelişmiş ülkelere göre ülke ekonomisine çok daha fazla zarar vermektedir. Heyelanların neden olduğu zararlar, genellikle kaydedilen ve belirlenebilen zarardan daha fazladır. Bunun nedeni, heyelanların doğrudan belirlenebilen can ve mal kayıpları gibi zararlarının yanı sıra, birçok dolaylı etkisinin de olmasıdır. Heyelanlardan etkilenen bölgelerde, tarım ve orman alanlarında meydana gelen üretim kayıpları, bu alanlardaki gayrimenkullerin değerinin düşmesi, vergi kayıpları, heyelanların önlenmesi ve zararlarının azaltılmasına yönelik çalışmalarla ilgili harcamalar ve işgücü kayıpları gibi belirlenmesi oldukça güç olan dolaylı etkiler, ülke ekonomilerine, doğrudan etkilere göre daha fazla zarar vermektedir (Schuster and Fleming, 1986; Swanston and Schuster, 1989; Alexander, 1993; Rosenfeld, 1994; Alexander, 1995; Guzzetti et al., 2000).

Ülkemizde de her yıl, doğal afetler nedeniyle birçok insan yaşamını yitirmekte ve büyük ekonomik kayıplar meydana gelmektedir. Heyelanlar, ülke ekonomisine verdiği zarar açısından değerlendirildiğinde, depremlerden sonra ikinci sırayı almakta ve doğal afetler nedeniyle meydana gelen kayıpların, % 18'ini oluşturmaktadır (İlçir, 1995). 1932-1997 yılları arasında, doğal afetlerin neden olduğu yapı hasarları istatistikleri dikkate alındığında, toplam hasarın % 15'inin, heyelanlar sonucunda meydana geldiği belirlenmiştir (Özmen vd., 1997). Türkiye'de, 1950-2004 yılları arasında 4000 adet heyelan meydana gelmiş ve yaklaşık 170000 konut, heyelanlardan etkilenmiştir. Ülkemizde, heyelanların sık olarak meydana geldiği bölgeler; Karadeniz, Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgeleridir. 1950-2004 yılları arasında meydana gelen heyelanların, neden olduğu can kayıpları ve hasarlar dikkate alındığında, Karadeniz Bölgesi, ilk sırayı almaktadır (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2004).

Heyelanların sosyo-ekonomik açıdan verdiği zararların farkına varılması nedeniyle, heyelan zararlarının azaltılmasına yönelik çalışmaların temelini oluşturan; heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmeleri, hem yer bilimcileri hem de kamu ve yerel yönetimleri ilgilendiren önemli bir konu haline gelmiştir (Aleotti and Chowdhury, 1999). Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde, "geçmiş ve bugün, geleceğin anahtarıdır" ilkesi temel alınarak, "geçmişte meydana gelen heyelanların oluştuğu koşulları sağlayan alanlar, potansiyel duraysız alanlardır" kabulü yapılmaktadır (Varnes et al., 1984; Carrara et al., 1991; Hutchinson, 1995; Van Westen et al., 1997; Guzzetti et al., 1999). Bu nedenle, duyarlılık değerlendirmelerinin en önemli aşamalarından biri, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin ve bunların önem derecelerinin belirlenmesidir. Literatürde, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde, genel olarak iki yaklaşım kullanılmaktadır. Bunlar, öznel içeren nitel yöntemler ve veri yönetimli olan istatistiksel analizlerdir. Nitel yöntemlerde, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin ağırlık değerleri, araştırmacının tecrübesine dayalı olarak, nicel yöntemlerde ise istatistiksel analizler ile belirlenmektedir. Son yıllarda, coğrafi bilgi sistemi (CBS), bilgisayar teknolojisi ve yazılımlarındaki gelişmeler, çok sayıdaki verinin depolanmasına ve istatistiksel analizlerle değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Bu durum, kişisel bilgi ve tecrübeye dayalı olmayan istatistiksel analizler ve yapay zeka yöntemlerinin, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanımının artmasına

neden olmuştur. Ancak, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi amacıyla kullanılacak yöntem ve parametrelerin seçimine ilişkin, araştırmacılar arasında bir fikir birliği sağlanamamıştır.

Doktora tezi çalışmasında, Türkiye’de heyelanların sık olarak geliştiği ve meydana gelen heyelanlar sonucunda önemli ölçüde can ve mal kayıplarının olduğu, Batı Karadeniz Bölgesi’nde bir alan seçilmiştir. Bu çalışmanın amacı, neden-sonuç ilişkisinin doğrusal olmayan koşullara bağlı olduğu ve heyelan oluşumu gibi karmaşık ilişkilerin bulunduğu problemlerin çözümünde, yeni bir yaklaşım olan yapay sinir ağı (YSA) yönteminin, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanımının araştırılması ve inceleme alanının, heyelan duyarlılık haritasının üretilmesidir. Son yıllarda, farklı yöntemlerle oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının karşılaştırıldığı çalışmalar yapılmakla birlikte, bu çalışmaların sayısı sınırlıdır ve genellikle, iki yöntemin karşılaştırılmasını kapsamaktadır. Bu çalışmanın amaçlarından biri de, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde, literatürde yaygın olarak kullanılan istatistiksel analizler ile heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi ve yöntemlerin performanslarının karşılaştırılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda, heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde, analizlere temel teşkil edecek olan heyelan envanteri, arazi çalışmaları ile oluşturulmuştur. Heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelere ait haritalar, ilgili kurum ve kuruluşlardan sağlanmış ve sayısal veri tabanı elde edilmiştir. Heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelerin önem derecelerini temsil eden ağırlık değerleri, farklı yöntemler ile belirlenmiştir. İki değişkenli istatistiksel analizler, faktör analizi, ayırma analizi, lojistik regresyon analizi ve YSA yöntemleri kullanılarak inceleme alanının heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuş ve sonuç haritaları karşılaştırılarak, yöntemlerin güvenilirliği araştırılmıştır. Ayrıca, YSA yöntemi uygulamalarında, farklı algoritmalara sahip yapay sinir ağları kullanılarak, performansları değerlendirilmiştir. YSA’nın yapısal özellikleri ve ağ topolojileri değiştirilerek bu değişimlerin, sonuçlar üzerindeki etkileri ve yapay sinir ağı yönteminin performansı araştırılmıştır.

1.1. İnceleme Alanının Tanıtımı

İnceleme alanı, Batı Karadeniz Bölgesi'nde, Bartın ilinin güneydoğusundan başlayarak Karabük ilinin kuzeyine kadar devam eden yaklaşık 595 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanı, 1/25.000 ölçekli Zonguldak E28c3, Zonguldak E29d4, Zonguldak E29d3, Zonguldak F28b2, Zonguldak F29a1 ve Zonguldak F29a2 topografik paftaları içinde olup 36. UTM zonunun N4580⁵⁰⁰-4608⁴⁵⁰/E447⁷⁵⁰-479²⁵⁰ koordinatları arasında kalan kesimde yer almaktadır.

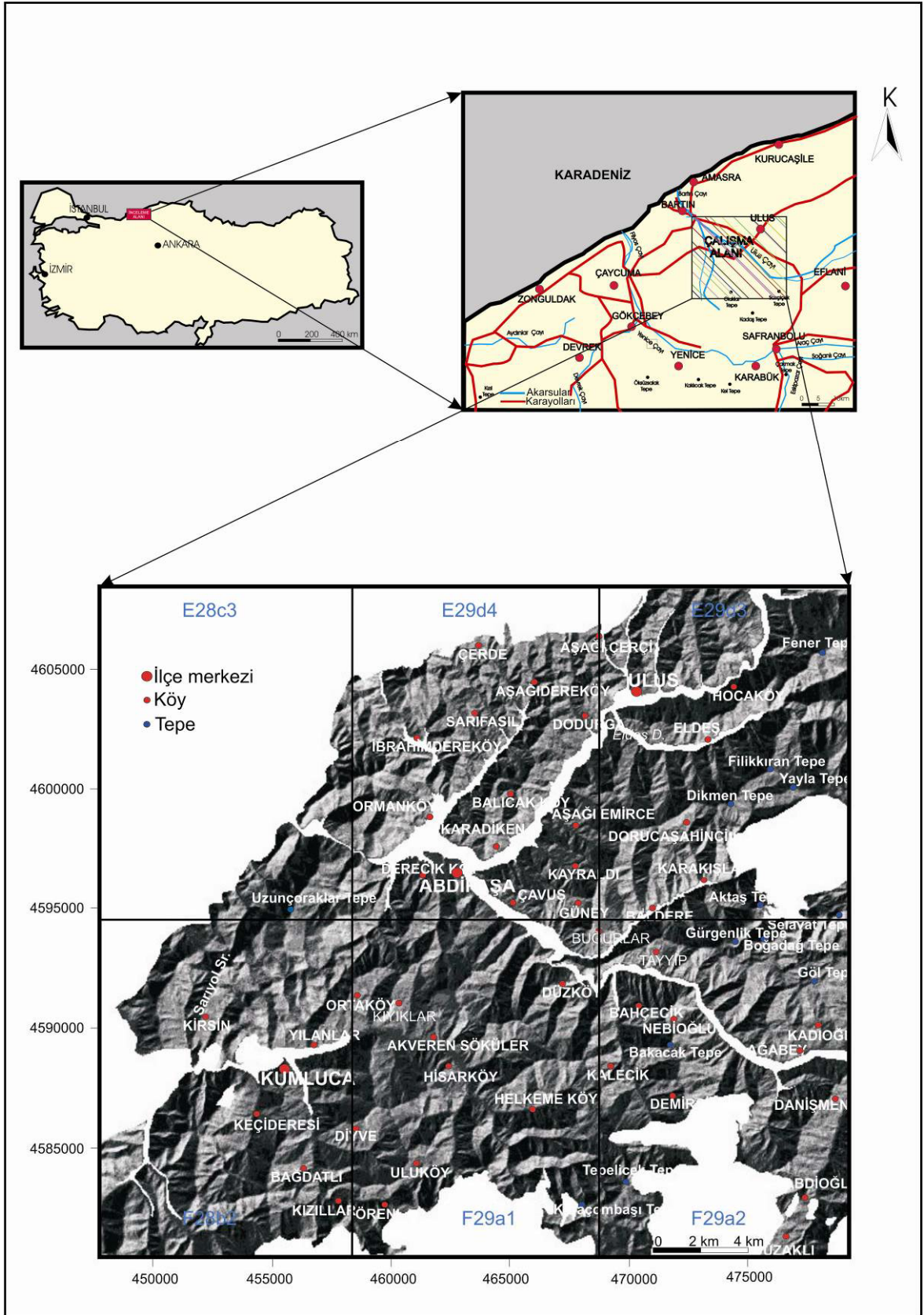
Çalışma alanında genel olarak kırsal yerleşim hakim olup en önemli yerleşim merkezleri Ulus, Abdipaşa ve Kumluca ilçeleridir. Çalışma alanındaki en önemli yükseltiler; Selavat Tepe (1189 m), Boğadağ Tepe (1126 m), Yayla Tepe (1024 m) ve Filikkıran Tepe (983 m)'dir. Bölgedeki önemli akarsular; Bartın Çayı, Ulus Çayı, Ovaçay, Ovacuma Deresi ve Kocanoz Dere'sidir (Şekil 1.1).

İnceleme alanında, bol yağışlı tipik Karadeniz iklimi hüküm sürmekte olup yıllık ortalama toplam yağış, 1030 mm/yıl'dır (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2006). Kış aylarında meydana gelen uzun ve sürekli yağışlar ile bahar aylarında etkin olan ani ve şiddetli yağışlar, çalışma alanındaki heyelanların gelişmesinde oldukça önemli bir rol oynamaktadır.

Çalışma alanındaki bitki örtüsü, genellikle Karadeniz bitki topluluğu olan kayın, gürgen ve meşe ağaçlarından oluşmakta olup göknar, karaçam, sarıçam ve sahil çamlarını da içermektedir. İnceleme alanındaki ulaşım, bütün yerleşim merkezlerini birbirine bağlayan ana yollar ile çok sayıda köy yollarıyla sağlanmaktadır.

1.2. İnceleme Alanının Bölgesel Jeolojik Özellikleri

İnceleme alanının içinde bulunduğu Batı Karadeniz Bölgesi, Dogger boyunca Paleotetis okyanusunun kapanması ile sıkışma rejimi altında kalmıştır. Malm sırasında platform karbonatları çökelebilecek kadar sığ kalmış olan bölgede, Alt Kretase başında, Neotetis'in açılmasına paralel olarak Ulus Havzası gelişmiştir. Alt Kretase sonrasında, Anatolidler ve Pontidler arasında, Neotetis'in kuzey kolunun kapanması ile yay tipi volkanizma, bölgede tüm Geç Kretase boyunca etkin olarak



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

oldukça kalın örtüler oluşturmıştır. Neotetis'in kapanmasından sonra Anatolidler ve Pontidler, kıta-kıta çarpışmasına geçmişlerdir. Bunun sonucunda, Miyosen sırasında, bölgede yaygın olarak yatay hareketler gelişmiştir. Kabuk kalınlaşmasına neden olan bu hareketler faylanmaya da sebep olmuşlardır. Batı Karadeniz Bölgesi'nde K-G ve/veya KB-GD yönünde meydana gelen sıkışma ve gerilmeler sonucunda, D-B ve KD-GB yönünde faylar oluşmuştur (Yergök vd., 1987a).

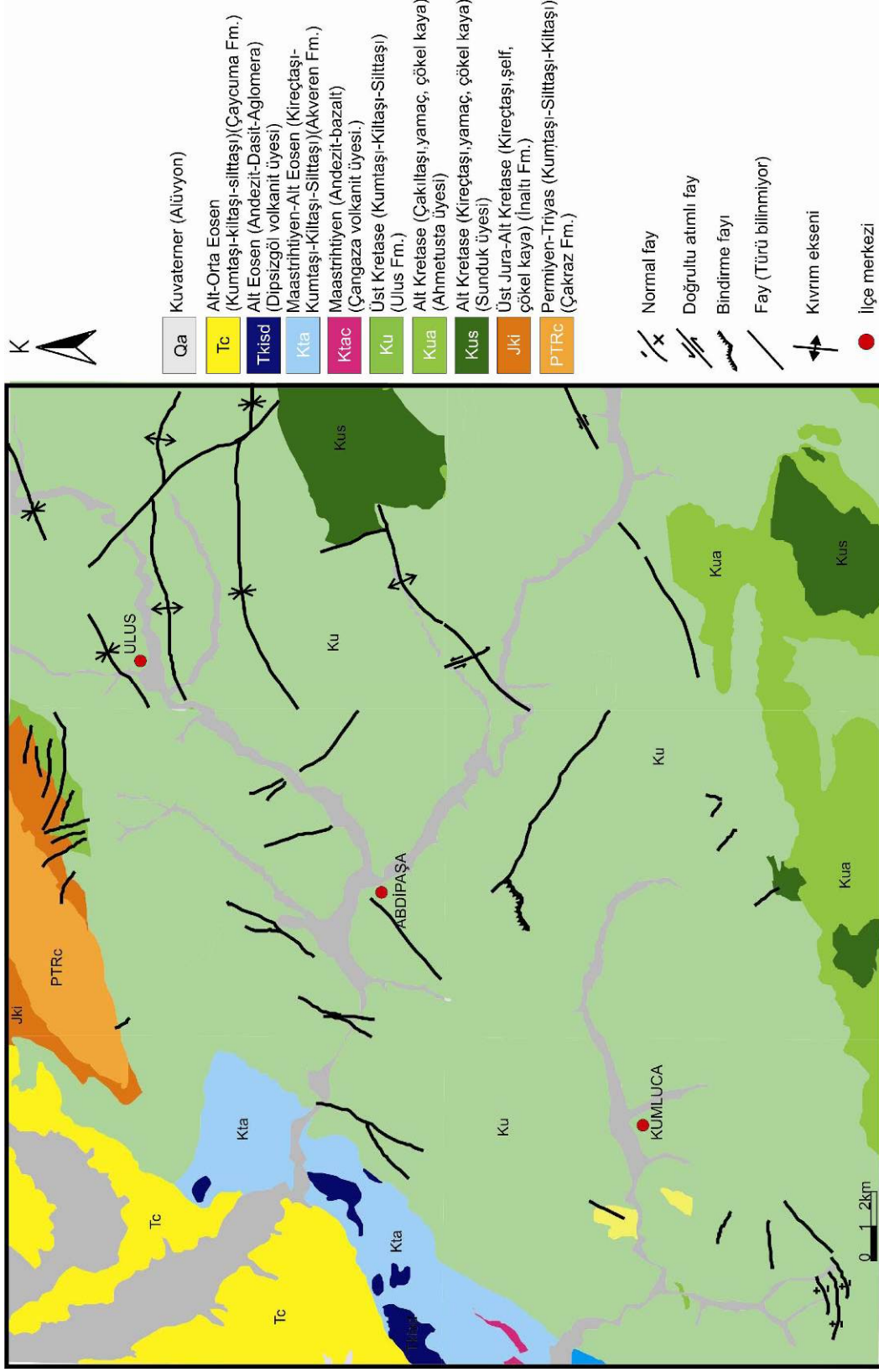
İnceleme alanı ve çevresindeki en yaşlı birim, Permiyen-Triyas yaşlı Çakraz formasyonudur. Çakraz formasyonu, kırmızı renkli kumtaşı, silttaşı ve kiltası ar dalanmasından oluşan karasal birimdir. Kiltası ve silttaşı seviyeleri, ince-orta tabalanma gösterirken, kumtaşı seviyeleri kalın tabalanmalıdır ve formasyonun kalınlığı, ortalama 2000 m'dir. Çakraz formasyonunun üzerinde Üst Jura-Alt Kretase yaşlı, gri renkli, kalın tabakalanmalı ve yer yer masif resifal kireçtaşlarından oluşan İnaltı formasyonu bulunmaktadır. Çakraz formasyonunun üzerinde, Alt Kretase-Senomaniyen yaşlı Ulus formasyonu yer almakta ve türbiditik filiş karakterindeki Ulus formasyonu; kumtaşı, kiltası ve silttaşı ar dalanmasından oluşmaktadır. İçerisinde yer yer detritik kireçtaşı ve konglomera ara seviyeleri bulunan bu birim, genellikle kireçtaşı, nadir olarak kızıl kumtaşına ait olistolitler de içermektedir. Ayrıca, Ulus formasyonunda, asidik ve bazik damar kayaları da mevcuttur. Formasyon içerisinde yer alan kumtaşı seviyeleri, ince-orta tabakalanmalı; kiltası-silttaşı seviyeleri, ince tabakalanmalı; detritik kireçtaşı seviyeleri, orta-kalın tabakalanmalı olup konglomeratik seviyeler masifdir. Ulus formasyonunun rengi; yeşil, sarımsı yeşil ve gridir. Alt Kretase başında, tansiyonel kuvvetler ile açılan Ulus baseni, sürekli malzeme ile dolmuştur ve dolduğu süreç içerisinde de havza, çökmesine devam etmiştir. Bazı yerlerde dik şevler, bazı yerlerde basamak faylarla inen topoğrafyalar gelişmiş, basenin gidişine paralel olan bu yapıları dik yönde kesen kanyonlar boyunca havzaya kaba detritikler gelmiştir. Ulus Formasyonunun kalınlığı, ortalama 2000 metredir. Türbiditik bir fasiyes olduğu için sık sık fasiyes ve kalınlık değişimleri mevcuttur. İnceleme alanının doğu ve güney kesimlerinde, orta-kalın katmanlı ve masif kireçtaşlarından oluşan Ulus formasyonunun, Alt Kretase yaşlı Sunduk üyesi ve güney kesimlerinde, çakıltası-kumtaşı birimlerinden oluşan Alt Kretase yaşlı Ahmetusta üyesi yüzeylenmektedir. Ulus formasyonunun üzerinde, Maastrihtiyen yaşlı,

andezit ve bazaltlardan oluşan Alaplı formasyonunun Çangaza volkanit üyesi ile Maastrichtiyen-Alt Eosen yaşlı, killi kireçtaşı, marn, kilitaşı, silttaşı, kumtaşı, çakilitaşı, resifal kireçtaşı ve volkanitlerden oluşan Akveren formasyonu bulunmaktadır. Sarı, beyaz ve gri renkli Akveren formasyonunun kalınlığı 350-1000 m arasındadır. İnce orta tabakalı kumtaşı, silttaşı ve kilitaşı ardalanmasından oluşan, aglomera, tüfit ve marn ara seviyeleri içeren, filiş karakterindeki Alt-Orta Eosen yaşlı Çaycuma formasyonu, Akveren formasyonunun üzerinde yer almaktadır. Çaycuma formasyonunun kalınlığı, 390-1200 m arasındadır. İnceleme alanında dere ve akarsu yataklarında, bazen ince şeritler halinde bazen de geniş alanlar kapsayan Kuvater yaşlı alüvyonlar yer almaktadır. İnceleme alanındaki alüvyonlar, çeşitli kayalara ait kil, silt, kum, çakıl ve blok boyutlarındaki malzemeden oluşmaktadır. Kum, çakıl ve blokların tane şekli; köşeli, yassı, yarı yuvarlak ve yuvarlak arasında değişim göstermektedir (Tokay, 1954; Ketin ve Gümüş, 1962; Akyol, vd., 1974; Arpat, vd., 1978; Saner, vd., 1979; Deveciler, 1986; Yergök, vd., 1987a; Yergök, vd., 1987b). İnceleme alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası, Şekil 1.2'de sunulmaktadır.

1.3. İnceleme Alanının Genel Morfolojik Özellikleri

İnceleme alanı genel olarak, KD-GB uzanımlı yükselim kuşakları içinde, K-G yönünde açılmış bir aşınma oyuğudur. Çalışma alanı, akarsularla yarılmış olan plato ve tepeliklerden oluşmaktadır. Bartın çayının genişlediği alanlarda ve dik yamaçlar arasında dar ve derin vadiler yer almakta ve şehir merkezine doğru düz ovalar artmaktadır. Akarsuların taşımış olduğu alüvyal oluşumlar, ova morfolojisini oluşturmaktadır.

İnceleme alanı içerisinde düzenli ve/veya düzensiz akışa sahip birçok akarsu mevcut olup bunlar, dentritik bir drenaj sistemi oluşturmaktadır. Drenaj ağının karmaşıklığı, Batı Karadeniz dağ silsilesinin çok kıvrımlı ve paralellik göstermeyen vadilere sahip oluşundan kaynaklanmaktadır (Yergök, vd., 1987a; Çevre ve Orman Bakanlığı, 2006).



Şekil 1.2. İnceleme alanı ve çevresinin genel jeolojisi haritası (Timur vd., 1997'den basitleştirilerek alınmıştır).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde, inceleme alanı ile ilgili ve heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının üretilmesine yönelik olarak çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Heyelan değerlendirmelerine ilişkin çalışmalar, 50 yıl öncesine kadar uzanmaktadır. Uluslararası literatürde, son yıllardaki genel eğilimi yansıtabilmek amacıyla bu bölümde, yaklaşık son 10 yıl içerisinde yapılmış güncel çalışmalara yer verilmiştir. Çalışma alanına yönelik önceki çalışmalar ve heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının üretilmesine yönelik önceki çalışmalar, özet olarak aşağıda sunulmaktadır.

2.1. İnceleme Alanının Jeolojisi ve Jeomorfolojisine İlişkin Önceki Çalışmalar

Güner (1975), Filyos vadisi ve çevresinin jeomorfolojik olarak incelenmesi amacına yönelik olarak yaptığı çalışmada, bölgenin çeşitli çevresel sorunlar taşıdığını vurgulamıştır. Bu sorunların en önemlisinin inceleme alanında meydana gelen heyelanlar olduğunu belirten araştırmacı, heyelanların gelişmesinde etkin olan en önemli faktörlerden birinin bitki örtüsünün tahribi olduğunu vurgulamıştır. Ayrıca, bölgede hüküm süren iklim koşulları nedeniyle, kayalarda ileri derecede bozunmanın varlığına dikkat çekerek, bu durumun birimlerin dayanımının azalmasına yol açtığını belirtmiştir.

Batı Karadeniz Bölgesi'nde Alaplı, Bartın ve Cide çevresinin stratigrafisinin ayrıntılı olarak incelendiği bir çalışma, Deveciler (1986) tarafından gerçekleştirilmiştir. Araştırmacı, Paleozoyikten itibaren çalışma alanında yer alan formasyonların jeolojik, paleontolojik ve tektonik özelliklerini ortaya koymuştur. Alt kretase başında Ulus baseninin açılması sonucunda, bazı yerlerde dik şevler, bazı yerlerde basamak faylarla inen topoğrafyalar geliştiğini, basenin gidişine paralel yönde gidiş gösteren bu yapıları dik yönde kesen kanyonlar boyunca havzaya gelen iri taneli malzemenin Zonguldak Formasyonu ile Ulus Formasyonu arasında Kirpe çakıltası üyesinin gelişmesine neden olduğunu ortaya koymuştur.

Yergök vd. (1987a, b), Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer alan birimleri; Zonguldak yakın çevresindeki Paleozoyik yaşlı birimler ve bunların üzerine gelen Alt Jura-

Orta Jura yaşıllı çökeller, Zonguldak yakın çevresinde ve sahil boyunca yer alan Üst Mesozoyik-Tersiyer istifi ve Karabük yakın çevresinde yer alan birimler olmak üzere ayırarak ayrıntılı olarak değerlendirmişlerdir. Çalışma alanındaki formasyonların; kaya türü özellikleri, dokanak ilişkisi, kalınlık ve yanal değişimi ve fosil içerikleri belirlenmiş ve ortamsal yorumlamaları yapılmıştır. Araştırmacılar, Ulus formasyonunu, Kirpe çakıltası üyesi, Urşankaya volkanit üyesi, Gözsökü metadetritik üyesi, Söğütözü üyesi, Güzle kireçtaşı üyesi, Kofunoğlu Çakıltası üyesi, Şekdere üyesi, Akçayıbaz üyesi, Ortaharman üyesi, İrna üyesi, Harmancık üyesi ve Bakacak bazik volkanit üyesi olmak üzere 12 üyeye ayırmışlardır.

Duman vd. (1998), yerbilimi verilerinin yeterince dikkate alınmadığı arazi kullanım planlamalarında zaman, maliyet ve çevre açısından önemli sorunlarla karşılaşılmasının kaçınılmaz olduğunu vurgulamışlardır. Aşağı Filyos vadisinin arazi kullanım kapasitesinin belirlenmesi amacıyla yaptıkları çalışmada jeoloji, hidrojeoloji, kaya türlerinin mühendislik özellikleri, fizyografik yapısı, güncel jeomorfolojik süreçleri ve depremsellik özellikleri olmak üzere yerbilimi verilerini dikkate almışlardır. Kütle hareketleri, taşkın vb. doğal afetlere yol açabilen süreçleri ön planda tutarak, inceleme alanını ortak özellik sunan alanlara göre 5 ana ve 11 alt arazi kullanım potansiyeli sınıfına ayırmışlardır.

İsmailoğlu vd. (1999), Aşağı Filyos Vadisi, Bartın, Karabük, Alaplı Yörelerinde 1998 Mayıs' ta meydana gelen heyelanları ve taşkın alanlarını incelemişlerdir. Araştırmacılar, potansiyel duraysızlık haritalarının hazırlanması gerektiğini vurgulayarak, yerleşim ve sanayileşme alanlarının bu zonlar dışına kaydırılmasını ve bunun olanaksız olduğu durumlarda ise yeraltısularının drene edilmesi, bulonlama veya istinat duvarlarının inşa edilmesini önermişlerdir.

Duman vd. (2005), MTA'da 1997 yılında başlatılmış olan Türkiye Heyelan Envanter Haritalama Projesi kapsamında, Kuzeybatı Anadolu heyelan envanteri çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. 39081 km² yayılıma sahip olan çalışma alanında heyelan lokasyonlarını ve özelliklerini belirlemişler, heyelanları, türleri, derinlikleri vb. özelliklerini temel alarak sınıflandırmışlardır. Araştırmacılar, çalışma alanının % 7.1'inin heyelanlardan etkilenmiş olduğunu saptamışlar ve heyelanların en çok,

Kretase filiş, Paleosen-Eosen filiş ve Paleosen-Orta Eosen yaşı volkanik birimlerde geliştiğini belirlemişlerdir.

Bu çalışmaların dışında, Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nün Batı Karadeniz Bölgesi'nde hazırlamış olduğu, değişik zamanlarda meydana gelen heyelanların lokasyonları ve hasar durumunu içeren çok sayıda raporu bulunmaktadır.

2.2. Heyelan Duyarlılık, Tehlike ve Risk Haritalarının Üretilmesine Yönelik Önceki Çalışmalar

Choubey and Litoria (1990) tarafından Garhwal Himalayalar'da yapılan çalışmanın ilk aşamasında, yamaç eğimini esas alan arazi sınıflama haritası (TCM) oluşturulmuştur. Arazi sınıflama haritası, jeoloji-yapısal unsurlar haritası ile karşılaştırılmış ve bindirme fayları ile sırt eksenlerine çok yakın alanlarda heyelan yoğunluğunda artış olduğu belirlenmiştir. Çalışmanın sonraki aşamasında, bitki örtüsü, yerleşim alanları, drenaj ve yol ağı parametrelerini içeren fizyografik ve arazi kullanımı haritası üretilmiştir (PLM). Hava fotoğrafları yardımı ile elde edilen heyelan envanter haritası, TCM ve PLM haritalarının karşılaştırılması ile heyelan tehlike haritası üretilmiş ve inceleme alanı yüksek, orta, düşük ve çok düşük duyarlılık sınıfı olmak üzere dört heyelan tehlikesi sınıfına ayrılmıştır.

Gupta and Joshi (1990), heyelan duyarlılık ve tehlike değerlendirmelerinde coğrafi bilgi sistemiyle kullanılabilecek bir yöntem geliştirmek amacıyla yaptıkları çalışmada, Ramganga havzasının heyelan duyarlılık haritasını üretmişlerdir. Heyelan envanterini, hava fotoğrafı yorumlamaları ve arazi çalışmalarıyla elde eden araştırmacılar, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde; litoloji, arazi kullanımı, ana tektonik-makaslıma zonuna yakınlık ve yamaç yönelimi parametrelerini dikkate almışlardır. Önerdikleri "Heyelan nominal risk faktörü" indeksi değeri ile inceleme alanını düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç heyelan duyarlılığı sınıfına ayırmışlardır. Deprem ve yağış parametrelerinin heyelan oluşumunda son derece önemli parametreler olduğuna dikkat çekerek, yeterli ve güvenilir veriye ulaşılamaması nedeniyle değerlendirmelerde kullanılamadığını vurgulamışlardır.

Carrara et al. (1991), heyelan tehlike haritalarının üretilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada istatistiksel yöntemler ve coğrafi bilgi sistemleri tekniklerini kullanmışlardır. Litoloji, yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, süreksizlik yönelimi ile yamaç yönelimi arasındaki ilişki, eklem pürüzlülük katsayısı ve arazi kullanım potansiyeli ile heyelan oluşumu arasındaki ilişki çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden biri olan diskriminant analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. Yüksek öz değerlerle temsil edilen her bir parametrenin diskriminant fonksiyonları elde edilerek standartlaştırılmış diskriminant fonksiyonu katsayıları (SDFK) üretilmiş ve SDFK puanları kullanılarak inceleme alanının heyelan tehlike haritası oluşturulmuştur. Carrara et al. (1991), çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak yapılan heyelan tehlike ve risk değerlendirmelerinin nesnel olduğunu belirtmişlerdir. Heyelan tehlike değerlendirmelerinde kullanılan parametrelere ait veri tabanının oluşturulmasının oldukça güç ve zaman alıcı işlemler gerektirdiğini belirten araştırmacılar, bu işlemlerin bazılarının bilgisayar ortamında yapılabilmesi amacıyla bir yazılım geliştirmişler ve güncel CBS yazılımlarının verilerin toplanması, depolanması ve sunulması için etkin bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır.

Chang (1991), heyelan tehlike zonlaması amacıyla yaptığı çalışmada; inceleme alanını aynı veya benzer jeolojik ve jeomorfolojik özelliklere göre alt birimlere ayırmıştır. Yamaç eğimi, litoloji, yapısal özellikler, toprak türü ve kalınlığı, kaya kütleleri içerisindeki süreksizlik yoğunluğu ve jeomorfolojik süreçlerin derecesini heyelan yoğunluğuna göre sınıflandırarak puan atamıştır. Araştırmacı, her bir sınıfa ait puanları toplayarak, her bir alt birim için tehlike katsayısını belirlemiş ve bu katsayıya göre heyelan tehlike zonlama haritasını üretmiştir.

Choubey et al. (1991), Himalaya’larda Uttarkashi ve Tehri bölgelerinin heyelan tehlike zonlamasını oluşturmak amacıyla yaptıkları çalışmada; heyelan oluşumu ile litoloji, yamaç eğimi, sırt ve fay gibi yapısal unsurlara yakınlık ve bitki örtüsü parametreleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Araştırmacılar, Choubey and Litoria (1990) tarafından kullanılan parametre haritalarının karşılaştırılması yöntemi ile inceleme alanının heyelan tehlike haritasını üretmişlerdir.

Heyelan tehlike zonlaması amacıyla yaptıkları çalışmada Mehrotra et al (1991), arazi çalışmaları ve hava fotoğrafları yorumlamaları ile belirledikleri 309 adet eski ve aktif heyelanın, yamaç eğimi, litoloji, yapısal unsurlara yakınlık, drenaj yoğunluğu ve arazi kullanım potansiyeli ile ilişkisini istatistiksel analizler yardımıyla değerlendirmişlerdir. Heyelan oluşumunda etkin olan her bir parametreyi sınıflandırarak, bu sınıflar için heyelan frekansına göre heyelan duyarlılık indeksi hesaplamışlardır. Beş parametre için belirlenen heyelan duyarlılık indeksine göre çalışma alanını çok yüksek duyarlılıktan, çok düşük duyarlılığa kadar beş duyarlılık sınıfına ayırmışlardır. Araştırmacılar, inceleme alanında heyelanların oluşumunda en etkin olan parametrenin yamaç eğimi, bunu etkinlik derecesine göre sırasıyla litoloji, drenaj yoğunluğu, faylara olan yakınlık ve arazi kullanımının takip ettiğini belirtmişlerdir.

Moore et al (1991), Filipinler'in Aurora Bölgesi'nde kütle hareketlerinin dağılımını ve nedenlerini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada; litoloji, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi ve toprak kalınlığı faktörleri ile heyelan yoğunluğu arasındaki ilişkiyi araştırmışlar ve sismik aktivite ile tropik yağışların heyelan oluşumunda tetikleyici faktör olduğunu belirtmişlerdir. Hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve arazi çalışmalarıyla belirledikleri heyelanların % 71'inin ormanların yok edilmesi ve yol yapımı gibi insan etkisi faktörü nedeniyle, % 24'ünün ise doğal nedenlerle oluştuğunu ortaya koymuşlardır.

Anbalagan (1992) tarafından heyelan tehlike zonlaması amacıyla yapılan çalışmada; heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerden litoloji, yapısal özellikler, yamaç eğimi, göreceli yükseklik, arazi kullanımı ve bitki örtüsü ile yeraltısuyu koşulları için bir puanlama sistemi önerilmiştir. Bu parametreler kendi içinde sınıflandırılarak her bir sınıf için "Heyelan tehlikesi değerlendirme faktörü (LHEF)" puanı belirlenmiştir. Litoloji parametresi, toprak-kaya türü ve bozunma derecesi, yapısal özellikler parametresi ise süreksizlikler ile yamaç konumu arasındaki ilişki dikkate alınarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca, bu çalışmada arazi gözlemlerine dayanan ve yamacın su durumuna göre akış, damlama, ıslak, nemli ve kuru olmak üzere yeraltısuyu koşullarının dikkate alındığı bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Anbalagan (1992), heyelan tehlike değerlendirme faktörü puanlarının

toplanması ile elde edilen değere göre çok düşük tehlike zonundan çok yüksek tehlike zonuna kadar 5 tehlike sınıfı içeren bir tehlike zonlama sistemi önermiştir.

Pachauri and Pant (1992), Himalaya’larda Aglar Nehri havzasının heyelan tehlike haritalarının üretilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada; heyelanlar ile litoloji, aktif faylara yakınlık, yamaç yönelimi ile süreksizlik yönelimi arasındaki ilişki (jeoteknik parametreler), sırtlara olan yakınlık, göreceli yükseklik, yamaç eğimi, bitki örtüsü ve yol yoğunluğu parametreleri arasındaki ilişkileri değerlendirmişlerdir. İnceleme alanında heyelan oluşumu üzerinde bozunma ve yeraltısuyu parametrelerinin de etkin olduğu ancak, bu parametrelerin analizlerde değerlendirilemediği vurgulanmıştır. Araştırmacılar, yamaç yönelimi ile süreksizlik yöneliminin yaklaşık paralel olduğu alanlarda heyelan yoğunluğunun önemli bir oranda arttığını saptamışlardır. Heyelan tehlike haritalarının üretilmesinde ağırlıklı puanlama sistemini kullanan araştırmacılar, her bir parametreyi kendi içinde sınıflandırarak heyelan yoğunluğuna göre 0 ile 4 arasında değişen puanlar atamışlar ve sekiz parametre için ağırlık değerlerine göre 3 ile 11 arasında değişen puanlama sistemini oluşturmuşlardır. Bu puanların toplanması ile inceleme alanının çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük olmak üzere 5 heyelan tehlikesi sınıfına göre heyelan tehlike haritasını üretmişlerdir.

Maharaj (1993) tarafından Jamaika’nın St Andrew bölgesinde yapılan çalışmada; heyelanlar ile jeolojik, jeomorfolojik ve jeoteknik parametreler arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi ve inceleme alanında gelecekte oluşması muhtemel heyelanların tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Hava fotoğrafları ve arazi çalışmaları ile elde edilen heyelan envanter haritası ve parametre haritaları karşılaştırılarak inceleme alanının heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Heyelan duyarlılık sınıflarının belirlenmesinde heyelan yoğunluğu dikkate alınarak kümeleme (cluster) analizi kullanılmış ve inceleme alanı aşırı derecede yüksek, çok yüksek, orta derecede yüksek-yüksek, orta ve çok düşük olmak üzere 5 heyelan duyarlılığı sınıfına ayrılmıştır. Yüksek yamaç eğimi, bozunma derecesinin artması ve yol yapımının inceleme alanındaki heyelan duyarlılığını arttırdığına dikkat çeken araştırmacı, yağışın heyelanların oluşmasında tetikleyici bir faktör olduğunu ancak, bu parametreye ilişkin yeterli verinin olmaması nedeniyle dikkate alınamadığını vurgulamıştır.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi amacıyla Tully Vadisi'nde yapmış oldukları çalışmada Jager and Wieczorek (1994), toprak türü ve yamaç eğimi ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkiyi istatistiksel analizler ile değerlendirmişlerdir. Araştırdıkları parametreleri sınıflandırarak her bir sınıftaki heyelanlı piksel sayısının heyelan olmayan piksel sayısına oranını kullanarak regresyon analizi yardımıyla heyelan duyarlılığı için olası değerleri hesaplamışlar ve çalışma alanını düşük, orta ve yüksek olmak üzere 3 heyelan duyarlılığı sınıfına ayırmışlardır. Jager and Wieczorek (1994), bölgedeki heyelanları, karın ani erimesi, aşırı yağışlar ve insan kaynaklı faktörlerin tetiklediğini vurgulamışlardır.

Mejia-Navarro and Wohl (1994), Kolombiya'nın Medellin bölgesinde, CBS yöntemini kullanarak heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalarını oluşturmuşlardır. Litoloji, yapısal özellikler, iklim, topoğrafya, jeomorfolojik özellikler, arazi kullanımı ve hidroloji parametrelerinin değerlendirildiği çalışmanın ilk aşamasında, her bir parametre, heyelanla olan ilişkisine göre 10 sınıfa ayrılmış, sonraki aşamada ise her bir parametreye öznel olarak ağırlık değerleri atanmıştır. Parametre haritalarının, ağırlık değerleri dikkate alınarak çakıştırılması ile heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Araştırmacılar, atanan ağırlık değerlerinin çalışma alanı için geçerli ve öznel değerler olduğunu ve başka bir alanda kullanılması durumunda değiştirilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Tetikleyici parametrelerden biri olan yağış parametresini dikkate alarak inceleme alanının heyelan tehlike haritasını, yaşam ve sosyo-ekonomik koşulları dikkate alarak heyelan risk haritasını oluşturmuşlardır.

Anbalagan and Singh (1996), bölgesel ölçekte yapılan heyelan tehlike değerlendirmeleri ile kısa sürede geniş alanların haritalanabildiği ve böylece yüksek heyelan tehlikesi taşıyan alanların tanımlanarak daha detaylı çalışmalara yardımcı olduğunu ifade etmişlerdir. Bölgesel ve yarı bölgesel ölçekte yapılan çalışmaların temelini genellikle ampirik yaklaşımlara, büyük ölçekte yapılan detaylı çalışmaların ise analitik yöntemlere dayandığını belirtmişlerdir. Heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen litoloji, göreceli yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yapısal unsurlar, arazi kullanımı ve bitki örtüsü parametrelerini kullanarak heyelan tehlike haritasını oluşturmuşlar ve heyelan tehlike olasılığı ve

oluşabilecek potansiyel kayıpları temel alan Risk Değerlendirme Matrisi (RAM) yaklaşımı ile inceleme alanının heyelan risk haritasını üretmişlerdir.

Luzi and Pergalani (1996), literatürde yaygın olarak kabul gören heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemlerin seçiminin; alanın büyüklüğüne, çalışmanın amacına, finansal kaynaklara ve projenin süresine bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Söz konusu haritaların üretilmesinde kullanılan yöntemleri, yer bilimi yaklaşımları ve mühendislik yaklaşımları olmak üzere iki grupta sınıflandırarak, doğrudan ve dolaylı haritalama yöntemlerini içeren yer bilimi yaklaşımları ile kısa sürede çok büyük alanlarda değerlendirme yapılabildiğini ancak sonuçların çok kesin olmadığını belirtmişlerdir. Deterministik analizler temeline dayanan mühendislik yaklaşımları ile yapılan çalışmaların kesin doğruluğa ulaştığını ancak, işlemlerin çok fazla zaman gerektirdiğini vurgulamışlardır. Luzi and Pergalani (1996) statik, pseudostatic ve dinamik koşulları değerlendirerek şev duraysızlığı haritalarının üretilmesi amacıyla yaptıkları çalışmada, statik ve pseudostatik koşullar için sonsuz şev modeli ve dilimleme yöntemini kullanarak güvenlik katsayısı ve kritik yatay ivme değerini belirlemişler, dinamik koşullar için Newmark yöntemini kullanarak yer değiştirme miktarını hesaplamışlardır. İstatistiksel yöntemler ve CBS teknikleri ile inceleme alanının 1/50000 ölçekli şev duraysızlığı zonlama haritasını oluşturan araştırmacılar, yeterli jeoteknik verinin elde edilememesi, yenilme yüzeyi ve geometrisinin tanımlanamaması nedeniyle deterministik yaklaşımların bu ölçekte kullanımının çok büyük sınırlamaları olduğunu vurgulamışlardır.

Gökçeoğlu and Aksoy (1996), makaslama dayanımı parametreleri, göreceli yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, bitki örtüsü, drenaja olan yakınlık ve faylara olan yakınlık parametrelerini dikkate alarak, istatistiksel ve deterministik yöntemler ile Mengen bölgesinde yaklaşık 120 km²'lik bir alanın heyelan duyarlılığı haritasını üretmişlerdir. Kuzey Anadolu Fayı'na yaklaşık 10 km uzaklıkta bulunan inceleme alanında, heyelanların yaklaşık %88'inin ana faya 250 m'den daha yakın mesafedeki alanlarda oluştuğunu saptamışlardır. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde çakıştırma yöntemini kullanan araştırmacılar, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelere farklı ağırlık değerleri atayarak deneme-yanılma yöntemiyle heyelan duyarlılığı değerlendirmeleri yapmışlardır. Söz konusu

haritalar ile mevcut heyelan dağılımını karşılaştıran araştırmacılar, her bir parametrenin eşit ağırlıkta kullanılması ile üretilen haritaların en iyi sonucu verdiğini belirlemişlerdir.

Mevcut heyelan tehlike ve risk değerlendirme yöntemlerinin öznel olduğunu vurgulayan Chowdhury and Flentje (1997), bu yöntemlerin yerini nicel değerlendirme yöntemlerinin alması gerektiğini belirtmişlerdir. Daha doğru, yeni koşullara uyarlanabilir ve güncellenebilir heyelan tehlike ve risk haritalarının oluşturulması amacıyla yaptıkları çalışmada, coğrafi bilgi sistemleriyle birlikte kullanılabilecek bir yazılım geliştirmişlerdir.

Van Westen et al. (1997) tarafından yapılan çalışmada, heyelan tehlike haritalarının oluşturulmasında literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin genel özellikleri, üstünlük ve sınırlamaları ortaya konulmuştur. Heyelen tehlike haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemler, küçük ölçekte kullanılan nitel yöntemler, orta ölçekte kullanılan istatistiksel analizleri kapsayan nicel yöntemler ve büyük ölçekte kullanılan deterministik yaklaşımlar olmak üzere üç grupta sınıflandırılmıştır. Nitel yöntemler olarak tanımlanan doğrudan haritalama yöntemlerinin, araştırmacının tecrübesine dayanan subjektif yöntemler olduğunu belirtmişler ve pratikte yaygın bir kullanım alanı bulamadığını vurgulamışlardır. İstatistik temelli nicel analizleri; veriye dayanan çok değişkenli istatistiksel analizler, tecrübeye dayanan iki değişkenli istatistiksel analizler ve olasılık fonksiyonlarını içeren tahmine dayanan yöntemler olmak üzere üç sınıfta değerlendirmişlerdir. Çok değişkenli istatistiksel analizlerde ölçeğe ve yapılan sınıflamaya bağlı olarak hücre boyutunun artmasının, homojenliğin azalmasına neden olduğunu ve böylece hatalı değerlendirmelere yol açılabildiğini vurgulamışlar ve uygun boyutta hücre seçiminin çok önemli olduğuna dikkat çekmişlerdir. İki değişkenli istatistiksel analizlerde, ağırlık değerlerinin atanmasında uzman görüşünün kullanılmasının, yöntemin üstünlüğü olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıntılı çalışmalarda kullanılan deterministik yaklaşımlar için jeoteknik parametrelerin elde edilmesinin güçlüğü, yöntemin sınırlaması olarak değerlendirilmiş ve söz konusu yöntemin kullanımına karar verilmeden önce maliyet/kazanç oranının belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. Araştırmacılar, heyelanların oluşma olasılığının hesaplanabilmesi için geçmişte meydana gelen

heyelanların tarihleri ile yağış ve deprem gibi tetikleyici parametrelere ait tarihsel kayıtların tam ve güvenilir olması gerektiğini belirterek bu verilerin eksikliğinin tekrarlama aralıklarının bulunmasını engellediğine dikkat çekmişlerdir.

Aleotti et al. (1998), heyelan duyarlılık ve tehlike haritalarının üretilmesinde yeni bir yaklaşım olan yapay sinir ağı yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasını üretmek ve heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin ağırlık değerlerini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada; jeoloji, jeomorfoloji, hidroloji, toprak türü ve kalınlığı parametrelerini dikkate almışlardır. Çalışmanın ilk aşamasında, arazi çalışmalarıyla heyelan envanter haritası oluşturulmuştur. Sonraki aşamada, heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelere ait sayısal veri tabanı oluşturulmuş, sayısal olmayan veriler için göreceli olarak indeks değerleri atanmıştır. Son aşamada, ileri beslemeli algoritmaya sahip yapay sinir ağı sistemi ile ağın öğrenme aşaması tamamlanmış ve sorgulama yapılarak çalışma alanının heyelan duyarlılık sınıfları belirlenmiştir. Araştırmacılar, geleneksel yöntemlerle yapılması güç olan heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde, yapay sinir ağı yönteminin etkin bir yaklaşım olduğunu vurgulamışlardır.

Heyelan tehlike haritalama yöntemlerinden biri olan doğrudan haritalama yöntemlerinin, araştırmacının bilgi ve tecrübesine dayanan öznel yöntemler olduğuna dikkat çeken Atkinson and Massari (1997), dolaylı yöntemlerin nesnel olduğunu belirtmişlerdir. İtalya'nın Apennines bölgesinin heyelan duyarlılık haritasını üretmek amacıyla yapılan çalışmanın ilk aşamasında, heyelan oluşumu ile litoloji, tabaka eğimi ve doğrultusu, yamaç eğimi, yamaç yönelimi ve çizgisellik yoğunluğu parametreleri arasındaki ilişkiler lojistik regresyon analizi yöntemi ile değerlendirilmiştir. Litoloji ve yamaç eğimi, heyelan oluşumu üzerinde en etkin parametreler olarak belirlenirken yamaç yöneliminin etkisinin çok az olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında, ilk aşamadaki analizlerde kullanılan parametrelere, bitki örtüsü, toprak kalınlığı, yamaç şekli ve yükseklik parametreleri eklenmiş ve yapılan analizlerde bitki örtüsü ve yamaç şeklinin, litoloji ve yamaç eğiminden daha etkin olduğu saptanmıştır. Üretilen haritaların doğruluğunun değerlendirilebilmesi için gelecekte oluşacak heyelanlar ile karşılaştırılması gerektiğini ancak, bunun uygulanabilir olamaması nedeniyle geçmişte oluşmuş heyelanlarla karşılaştırılabileceğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, lojistik regresyon

analizleri kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının performansının oldukça iyi olduğuna dikkat çekmişler ve sürekli, kategorik ya da hem sürekli hem kategorik verilerin birarada kullanılabilirliğinin yöntemin bir avantajı olduğunu vurgulamışlardır.

Binaghi et al (1998) tarafından yapılan çalışmada; heyelan tehlike haritalarının üretilmesinde literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin genel özellikleri, üstünlük ve sınırlamaları ortaya konulmuştur. Jeomorfolojik yaklaşımların en büyük sınırlamasının, yöntemin öznel içermesi olduğu belirtilmiştir. İstatistik temelli yaklaşımların kullanılmasında karşılaşılan en büyük problemin, sürekli veya kesikli veri gibi farklı özelliklere sahip parametre haritalarının karşılaştırılmasındaki güçlükler olduğuna dikkat çekilmiştir. Ayrıca, doğal hatalardan kaynaklanan girdi verisinin heterojen olması ve belirsizlik içermesi durumunda bu hatanın analizlere ve dolayısıyla sonuç haritalarına yansıtacağı belirtilerek bu durumun istatistik temelli yaklaşımların bir diğer sınırlaması olduğu vurgulanmıştır. Heyelan tehlike değerlendirmeleri için bulanık mantık, yapay sinir ağları, olasılık yaklaşımları ve genetik algoritmaların özellikle heterojen ve belirsizlik içeren çok kaynaklı verilerin sınıflandırılması ve analizlerinde oldukça başarılı yöntemler olduğu belirtilmiştir. Binaghi et al (1998), litoloji, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, drenaj ağına yakınlık, fay zonlarına yakınlık, arazi kullanımı parametrelerini dikkate alarak Belirlilik faktörü (Certainty Factor, CF) ve bulanık mantık temelli Dempster-Shafer yaklaşımlarını kullanarak heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmuşlardır. Her iki yöntemin de oldukça iyi sonuçlar veren ve uygulanabilir yöntemler olduğunu belirtmişlerdir.

Nagarajan et al. (1998), Hindistan'ın batı sahillerinde, şiddetli yağışlardan sonra çok büyük kayıplara neden olan heyelanların olduğu bir alanda, uzaktan algılama ve CBS tekniklerini kullanarak inceleme alanının heyelan tehlike haritasını üretmişlerdir. Heyelan envanterini, heyelanların geliştiği tarihten önce ve sonra çekilmiş uydu görüntülerinden elde eden araştırmacılar, heyelan tehlike değerlendirmelerinde arazi kullanımı ve bitki örtüsü, çizgisellikler, drenaj ağı yoğunluğu, yamaç eğimi, göreceli yükseklik, yamaç şekli ve yol yoğunluğu parametrelerini dikkate almışlardır. Heyelan yoğunluğuna bağlı olarak, araştırmacılar tarafından atanan ağırlık değerlerine göre parametre haritaları

çakıştırılmış ve inceleme alanının çok düşük, düşük, orta, orta-yüksek, yüksek ve çok yüksek olmak üzere altı heyelan tehlikesi sınıfına göre heyelan tehlike haritası oluşturulmuştur.

Turrini and Visintainer (1998), heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen bozunma, geçirgenlik, yamaç yönelimi ve süreksizlik yönelimi arasındaki ilişki, yamaç eğimi, arazi kullanımı ve bitki örtüsü parametrelerini dikkate alarak Anbalagan et al. (1992) tarafından kullanılan yöntemle, İtalya'nın Dolomites bölgesinin heyelan tehlike haritasını oluşturmuşlardır. Her bir parametre haritasını aynı özelliğe sahip alanlara göre sınıflandırarak parametre haritalarına önem derecelerine göre 0 ve 2 arasında değişen puanlar atamışlar ve söz konusu puanların toplamı ile Anbalagan et al. (1992) tarafından önerilen toplam puana göre tehlike sınıflamasını kullanmışlardır. Araştırmacılar, bu yöntemin kolay uygulanabilir olmasının üstünlük olduğunu belirterek düşük maliyetle çok büyük alanlarda bile yeterli doğrulukta sonuçların alınabileceğini vurgulamışlardır.

Aleotti and Chowdhury (1999), son yıllarda heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmesi çalışmalarında, dünya çapında büyük bir oranda artışın olduğuna dikkat çekmişler ve literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemler için yeni bir sınıflama önermişlerdir. Heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmelerinde kullanılan yöntemleri, kalitatif ve kantitatif yöntemler olmak üzere başlıca iki gruba ayıran araştırmacılar, yöntemlerin üstünlük ve sınırlamalarını ortaya koymuşlar ve yöntem seçiminin ekonomik koşullara bağlı olduğunu ifade etmişlerdir. Kalitatif yöntemlerin, araştırmacının tecrübesine dayanan öznel yöntemler olduğunu, kantitatif yöntemlerin ise matematiksel yöntemler ve istatistiksel analizler içeren nesnel yöntemler olduğunu belirtmişlerdir. Aleotti and Chowdhury (1999), heyelan duyarlılığı ve tehlikesinin değerlendirilmesinde, yapay sinir ağı yönteminin etkili ve umut verici bir araç olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Fernandez et al. (1999), heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi amacıyla bir çok yöntemin kullanıldığını ancak, bu yöntemler arasında hangisinin en doğru yöntem olduğunun belirlenemediğini ifade etmişlerdir. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde "matris yönteminin" güvenilirliğini belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, düşey yöndeki

eğrisellik, litoloji, yapısal özellikler, ortalama yıllık yağış, bitki örtüsü ve drenaj ağı parametrelerini dikkate alarak İspanya'nın Rute bölgesinin heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Çalışmanın ilk aşamasında, grid ağı ile temsil edilen alanda, mevcut heyelanların bulunduğu pikseller için bütün parametrelerin kombinasyonlarını içeren matrisler oluşturulmuş, heyelanın olmadığı piksellere "0" değeri atanmıştır. İkinci aşamada, bütün alanı temsil edecek şekilde her bir piksel için parametre fonksiyonlarını içeren matrisler oluşturulmuştur. İki matrisin oranı ile değerleri, 0 ve 1 arasında değişen ve göreceli heyelan duyarlılığını temsil eden heyelan duyarlılık matrisi elde edilmiştir. Çalışmanın son aşamasında, yöntemin doğruluğunu kontrol etmek amacıyla Goodman-Kruskal gamma (γ) ve Kolmogorov –Smirnov (K-S) testi kullanılmıştır. γ değerinin 0.5'in üzerinde olması durumunda çok iyi bir ilişki olduğunu belirten araştırmacılar, heyelan duyarlılığı matrisleri ile heyelan envanteri arasındaki ilişkinin %99 güvenilirlikte K-S testine göre γ değerini 0.67 olarak belirlemişler ve yöntemin oldukça başarılı olduğunu vurgulamışlardır.

Guzzetti et al. (1999), heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde öncelikle uygun haritalama biriminin seçilmesi gerektiğine dikkat çekmişlerdir. Haritalama birimlerini hücre (grid), arazi birimi, benzer koşul birimleri (unique condition), eğim birimi ve topoğrafik birimler olmak üzere 5 gruba ayırmışlar ve haritalama birimlerinin; kullanılan parametre sayısına, inceleme alanının ölçeğine, parametre haritalarının türüne, kalitesine ve çözünürlüğüne bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemlerin, genel özellikleri, üstünlük ve sınırlamalarını ortaya koymuşlardır. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemleri, nitel ve nicel yöntemler olarak sınıflandırarak nitel yöntemleri, doğrudan ve dolaylı haritalama yöntemleri olarak ikiye ayırmışlardır. Araştırmacının tecrübesine dayanan jeomorfolojik yaklaşımları, doğrudan haritalama yöntemleri ve araştırmacının tecrübesine bağlı olarak heyelan oluşumunda etkin olan parametrelere atanan ağırlık değerlerine göre parametre haritalarının karşılaştırılmasının temel alındığı heuristic (indeks haritalarının karşılaştırılması) yaklaşımları, dolaylı yöntemler olarak tanımlamışlardır. Nitel yöntemlerin en büyük sınırlamasının, öznel içerme olduğunu belirtmişler ve nicel yöntemler olarak tanımladıkları, istatistik temelli yaklaşımlar ve jeoteknik yaklaşımların tamamının objektif yöntemler olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, heyelan duyarlılık

haritalarının oluşturulmasında, diskriminant analizi, lineer ve lojistik regresyon analizi ve yapay sinir ağı analizlerinin en çok tercih edilen yöntemler olduğunu vurgulamışlardır.

Barredo et al. (2000), CBS yöntemini kullanarak Kanarya Adaları'nda bir bölgenin 1/25000 ölçekli heyelan tehlike haritasını oluşturmuşlardır. 49 km²'lik yayılıma sahip çalışma alanının, çok düzensiz bir topoğrafyaya sahip olduğunu ve topoğrafya farkının 1600 metreyi bulduğunu belirterek bölgede, gravite kaymalarından kaynaklanan lav akımları ve volkanik breşlerden oluşan geniş heyelan kütlelerinin varlığını saptamışlardır. Söz konusu çalışmada, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde, doğrudan ve dolaylı haritalama yöntemleri kullanılarak bu yöntemlerin üstünlük ve sınırlamaları ortaya konulmuştur. Doğrudan haritalama yönteminde, detaylı jeomorfolojik haritalar hazırlanmış ve araştırmacıların tecrübesine dayalı olarak heyelan tehlike dereceleri belirlenmiştir. Dolaylı yöntemde ise yamaç eğimi, heyelan aktivitesi, malzeme türü, drenaja yakınlık ve arazi kullanımı parametreleri dikkate alınarak çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri kullanılmıştır. Doğrudan haritalama yöntemleri ile üretilen heyelan duyarlılık haritalarının iyi sonuçlar verdiğini ancak, uzun zaman alan arazi çalışmalarını gerektirmesi ve araştırmacının tecrübesine dayalı öznel yöntemler olmasının, yöntemin sınırlamaları olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, özellikle temeli istatistiksel analizlere dayanan dolaylı haritalama yöntemlerinin, doğrudan haritalama yöntemlerine göre iyi bir alternatif olduğunu vurgulamışlardır.

Heyelan tehlike ve risk haritalarının üretilmesinde kullanılan bir çok yöntem olduğunu ancak, söz konusu haritaların oluşturulmasında kullanılacak yöntemler hakkında görüş birliğine varılamadığını ifade eden Guzzetti et al. (2000), güncel ve en iyi sonucu veren yöntemlerin, istatistiksel yöntemler ve jeoteknik yaklaşımlar olduğunu vurgulamışlardır. Jeoteknik verilerin çalışma alanını temsil edecek şekilde elde edilmesinin güçlüğü nedeniyle, jeoteknik yaklaşımların uygulamasının sınırlı kaldığını ve daha çok küçük alanlarda uygulandığını belirterek istatistiksel yöntemlerin çok büyük alanlarda kolaylıkla kullanılabildiğine dikkat çekmişlerdir. Heyelan envanter haritasındaki hata ve belirsizliklere bağlı olarak sonuçların değişkenlik göstermesinin ve bu durumun üretilen heyelan tehlike haritalarına yansımalarının, istatistik ve jeoteknik yaklaşımların sınırlaması olduğunu belirten

araştırmacılar, hiç bir istatistiksel yöntemin bütün haritalama birimlerinde mükemmel bir sınıflandırma yapamayacağını vurgulamışlardır.

Luzi et al. (2000), heyelanların, depremler tarafından tetiklendiği bir bölge olan Serchio Nehri havzasının, 1/10000 ölçekli heyelan tehlike haritasını üretmişlerdir. Depremler tarafından tetiklenen heyelanların değerlendirilmesinde, kritik yatay ivme değerini dikkate alarak sonsuz şev modelini temel alan yaklaşımların yaygın olarak kullanıldığını belirtmişlerdir. Ancak, geometrik, hidrolojik ve jeoteknik parametrelerin, alansal dağılımdaki değişkenliğinin, hatalı değerlendirmelere neden olabileceğine dikkat çekmişlerdir. Söz konusu parametrelerin alansal dağılımının belirlenmesinde, çok kaynaklı verilere uygulanabilen farklı olasılık dağılımları ile karakterize edilebilen simülasyon yöntemlerinin kullanılması gerektiğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar, raster formatında yapılan analizlerde, en uygun haritalama birimi olarak kabul gören piksel birimini kullanmışlardır. Ancak, şev duraylılığı analizlerinde, her bir pikselin komşu piksellerle birleştirilmesinin güç olduğunu, dolayısıyla sınır koşullarının ihmal edildiğini ve bu durumun, piksel tabanlı analizlerin en önemli sınırlaması olduğunu belirtmişlerdir.

Muson iklim koşullarına sahip alanlarda, heyelan tehlike haritalarının üretilmesine yönelik bir yöntem geliştirmek amacıyla yaptıkları çalışmada Nagarajan et al. (2000), Hindistan'da tropikal bir bölge olan Konkan bölgesinin, heyelan tehlike haritasını üretmişlerdir. Bitki örtüsü yoğunluğu, drenaj yoğunluğu, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, göreceli yükseklik, litoloji, bozunma, süreksizlikler, çizgisellik, toprak türü ve derinliği, toprak-kaya ilişkisi, günlük yağış miktarı ve yağış şiddeti parametreleri ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkileri değerlendirmişlerdir. Söz konusu parametreler, alt sınıflara ayrılmış ve her bir parametre alt sınıfına, heyelan yoğunluğu dikkate alınarak puanlar atanmıştır. Heyelan oluşumunda etkin olan her bir parametrenin, göreceli olarak önemini yansıtan puanların belirlenmesi ise tecrübeye dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Tropikal bölgelerde, bozunma ve yağış parametrelerinin heyelan oluşumunda çok etkin parametreler olduğu belirtilerek, bu parametrelere en yüksek ağırlık değerleri atanmıştır. Çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek tehlike sınıfı olmak üzere 5 heyelan tehlike sınıfına göre inceleme alanının heyelan tehlike haritasını oluşturan araştırmacılar,

Çalışma alanının % 5.83'ünün yağışlar tarafından tetiklenen heyelanlara çok yüksek ve yüksek duyarlılıkta olduğunu saptamışlardır.

Batı Karadeniz Bölgesi'nde, bölgesel ölçekli heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla Temiz (2000) tarafından yapılan çalışmada; litoloji, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, bitki örtüsü ve yağış parametreleri ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. 100*100 m'lik grid ağı sisteminde, her bir parametre sınıfındaki heyelan yoğunluğu dikkate alınarak parametre sınıflarına puanlar atanmış ve klasik çakıştırma yöntemi kullanılarak inceleme alanının heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. İnceleme alanındaki heyelanların % 72'sinin filiş karakterindeki birimlerde meydana geldiği saptanmış ve heyelan duyarlılığının en yüksek olduğu kesimlerin, filişin bozunma ürünü olan toprak zeminler ve bitki örtüsü olmayan veya seyrek bitki örtüsü ile kaplı alanlar olduğu belirlenmiştir. Temiz (2000), mevcut heyelanların oluştuğu tarihlerdeki yağış verilerini dikkate alarak yaptėı değerlendirmede, inceleme alanındaki heyelanların oluşmasında, kiş aylarında meydana gelen uzun ve sürekli yağışlar ve bahar aylarında etkin olan ani ve şiddetli yağışların etkili olduğunu saptamıştır. İnceleme alanı içindeki 13 yağış istasyonuna ait veriler kullanılarak, heyelanların tetiklenmesine neden olan uzun ve sürekli yağışlar için eşik yağış değerleri belirlenmiş ve bu yağış değerlerinin gelecekte gerçekleşme olasılıkları, Log Pearson III dağılımı kullanılarak modellenmiştir.

İran'ın Khorshrostan bölgesinin heyelan tehlike haritasını üretmek amacıyla yaptıkları çalışmada Uromeihy and Mahdavifar (2000); litoloji, yamaç eğimi, faylara yakınlık ve arazi kullanımı potansiyeli parametrelerini dikkate almışlardır. İnceleme alanındaki heyelanların oluşmasında yağış faktörünün çok etkin olduğunu belirtmişler ancak, bölgenin tamamında yağış miktarının yaklaşık eşit olması nedeniyle bu parametrenin ihmal edildiğine dikkat çekmişlerdir. 500*500 m'lik grid ağı sisteminini kullanarak, her bir parametre sınıfı için heyelanlı piksellerin heyelan olmayan piksellere oranı ile tanımlanan "Alansal yüzde indeksi"ni (SPI) hesaplamışlar ve fuzzy ilişkileri temeline dayanan Monte Carlo simülasyon yöntemi ile her bir parametrenin ağırlık değerlerini ve "Potansiyel tehlike indeksi" (HPI) değerlerini hesaplamışlardır. Heyelan oluşumunda en etkin parametrenin litoloji olduğunu saptayan Uromeihy and Mahdavifar (2000), HPI değerlerine göre

çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük heyelan tehlike sınıfına göre inceleme alanının heyelan tehlike haritasını oluşturmuşlar ve alanın %24'ünün, çok yüksek heyelan potansiyeline sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Heyelan duyarlılığı haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntemleri 3 gruba ayıran Baeza and Corominas (2001), büyük ölçekli çalışmalarda kullanılan deterministik yaklaşımların heyelan duyarlılığını en doğru şekilde belirleyen yöntemler olduğunu, ancak maliyeti yüksek detaylı arazi ve laboratuvar çalışmalarına dayalı verileri gerektirmesi nedeniyle yaygın bir kullanım alanı bulamadığını ifade etmişlerdir. Orta ve küçük ölçekli çalışmalarda kullanılan jeomorfolojik yaklaşımların en önemli sınırlamasının, araştırmacının tecrübesine bağlı olarak öznellik içermesi olduğuna dikkat çekmişlerdir. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında, istatistiksel yöntemlerin çok kullanışlı ve objektif yöntemler olduğunu vurgulamışlardır. Topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, su toplama alanı, havza eğimi, havza uzunluğu, bitki yoğunluğu, toprak türü, gevşek sediman kalınlığı, yamaç şekli ve arazi kullanım potansiyeli parametrelerini dikkate alan araştırmacılar, çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerini kullanarak heyelan duyarlılığı haritasını üretmişlerdir. Çalışmanın ilk aşamasında, temel bileşenler analizi ile heyelan oluşumunda en etkin parametreleri belirlemişler ve etkin olmayan parametreleri değerlendirme dışı bırakmışlardır. Faktör analizi ve diskriminant analizi gibi bazı istatistiksel analizlerin kalitatif verilerle ilgili sınırlamalar içerdiğini vurgulayarak kalitatif verilere tecrübeye dayalı olarak sayısal değerler atadıklarını belirtmişlerdir. Son aşamada, temel bileşenler analizi yöntemi ile etkin olduğu belirlenen yamaç eğimi, su toplama alanı, gevşek sediman kalınlığı, yamaç şekli ve arazi kullanımı parametrelerinin, diskriminant fonksiyonlarını belirlemişler ve heyelan duyarlılık sınıflarını oluşturmuşlardır. Baeza and Corominas (2001), özellikle sığ heyelanlara yönelik duyarlılık haritalarının oluşturulmasında, kullandıkları yöntemin son derece başarılı olduğunu vurgulamışlardır. Toprak türünün, heyelan oluşumu üzerinde çok etkin bir parametre olmasına rağmen analiz sonuçlarına göre etkin bulunmamasının nedenini, toprak türü açısından çalışma alanının homojen olmasından kaynaklandığı, şeklinde açıklamışlardır.

Gritzner et al. (2001), topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yamaç şekli ve nemlilik indeksi parametreleri ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkiyi değerlendirdikleri çalışmalarında; istatistiksel analizler ve coğrafi bilgi sistemi yöntemlerini kullanarak A.B.D'deki Payette Nehri havzasının heyelan tehlike haritasını üretmişlerdir. Khi-kare analizi ve CBS tabanlı Bayesian olasılık modeli kullanılarak yapılan değerlendirmeler sonucunda heyelan oluşumunda en etkin parametrelerin, topoğrafik yükseklik ve yamaç eğimi olduğu, diğer parametreler ile heyelanlar arasında istatistiksel açıdan anlamlı ilişkilerin elde edilemediği belirlenmiştir. Bayesian olasılık modeli sonuçlarına göre etkin olarak belirlenen parametreler dikkate alınarak inceleme alanının heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Araştırmacılar, modelleme çalışmalarında doğru ve güvenilir sonuçlara ulaşılmasının geniş bir veri tabanının oluşturulması, yüksek çözünürlüklü ve kaliteli veri kullanımı ile mümkün olabileceğini vurgulamışlardır. Ayrıca, istatistiksel değerlendirmeleri temel alan bu tür çalışmalarda, bir bölgeden elde edilen sonuçların başka bölgeler için uygulanmasının yanlış sonuçlar verebileceğini belirtmişlerdir. Gritzner et al. (2001), özellikle yakın geçmişte bu konudaki modellerin coğrafi bilgi sistemlerinin ve bilgisayar teknolojisinin önemli ölçüdeki gelişimine bağlı olarak, gelecekte heyelanların değerlendirilmesi açısından daha verimli sonuçların elde edilebileceği yeni modellerin ve yaklaşımların önerileceğine inandıklarını vurgulamışlardır.

Lee et al. (2001) tarafından yapılan çalışmada; litoloji, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, faylara olan yakınlık, drenaj ağı, erozyon, bitki örtüsü ve ortalama yıllık yağış parametreleri kullanılarak, yapay zeka ve coğrafi bilgi sistemi (AIGIS) yöntemleri ile Hong Kong'da Lantau Adası'nın heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin; doğal belirsizlikler, veri kalitesi, miktarı ve doğruluğuna bağlı parametre belirsizlikleri ve model belirsizlikleri olmak üzere 3 tür belirsizlik içerdiğini ifade eden araştırmacılar, doğal belirsizliklerin, doğal koşullardan kaynaklandığını ve azaltılamayacağını belirtmişlerdir. AIGIS tabanlı yöntemlerin üstünlüklerinin, geleneksel yöntemlerden farklı olarak doğrusal olmayan ilişkileri kullanmaları, farklı nitelikteki verilerin analizinde hiç bir sınırlamanın olmaması, sonuçların coğrafi bilgi sistemi ortamına aktarılması ve kullanılmasının basit olması ve yeni verilerin girilmesiyle sistemin otomatik olarak güncellenmesi olduğunu vurgulamışlardır. Kestirim değerleri ile

mevcut koşulları değerlendiren Lee et al. (2001), yöntemin oldukça başarılı ve yüksek güvenilirlikte olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Kore'nin Yongin Bölgesi'nin heyelan duyarlılığı haritasının üretilmesi amacıyla Lee and Min (2001) tarafından yapılan çalışmada; litoloji, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, toprak türü ve kalınlığı, bitki örtüsü ve arazi kullanımı parametreleri dikkate alınmıştır. Diğer çalışmalardan farklı olarak, heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen bitki örtüsü parametresi, Lee and Min (2001) tarafından ağaç türü, çapı, yaşı ve bitki örtüsü yoğunluğu olarak ayrıntılı bir şekilde değerlendirilmiştir. Heyelan oluşumu ile söz konusu parametreler arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde, olasılık ve lojistik regresyon analizleri kullanılmıştır. Lojistik regresyon analizinin, sürekli ve kategorik verilerin birlikte kullanımı için sınırlama içermemesi nedeniyle, diğer çok değişkenli istatistiksel yöntemlere göre üstün olduğu vurgulanmıştır. Araştırmacılar, lojistik regresyon analizi yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritaları ile mevcut koşulların karşılaştırılması sonucunda, kestirilen değerlerin yeterli güvenilirlikte bulunduğunu ve yöntemin oldukça başarılı olduğunu ortaya koymuşlardır.

Shaban et al. (2001), Lübnan'da plansız olarak yapılan yol çalışmalarının ekonomik kayıplara neden olduğunu ve insan yaşamını risk altında bıraktığını belirterek, heyelanların yoğun olarak geliştiği Beirut-Broummana karayolunun geçtiği bir bölgede, heyelan duyarlılık haritasını üretmişlerdir. Litoloji, yamaç eğimi, su akış rejimi, toprak türü ve bitki örtüsü parametrelerini heyelan oluşumu üzerindeki etkisini dikkate alarak sınıflandırmış ve duyarlılık puanlarını atamışlardır. Hava fotoğrafı yorumlamaları ve arazi gözlemlerine bağlı olarak her bir parametrenin ağırlık değerini öznel olarak belirleyen araştırmacılar, duyarlılık ve ağırlık puanlarının çarpımı ile elde ettikleri değerlere göre inceleme alanının heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Bitki örtüsü parametresinin, heyelan oluşumu üzerinde olumlu ve olumsuz etkilerinin bulunduğuna dikkat çeken araştırmacılar, bitki köklerinin, dayanımı düşük toprak ve kaya zeminlerde duraysızlığı tetiklediğini, yüksek dayanımlı kaya zeminlerde ise duraysızlık olasılığını azalttığını ifade etmişlerdir.

Şiddetli yağışlar ve insan aktivitesine bağlı olarak heyelanların geliştiği Etiyopya'da Wondogenet Bölgesi'nin heyelan duyarlılık haritası, CBS ve uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak Temesgen et al. (2001) tarafından oluşturulmuştur. Litoloji, drenaja yakınlık, faylara yakınlık, yamaç eğimi, yamaç yönelimi ve bitki örtüsü parametreleri dikkate alınarak bu parametreler, sınıflandırılmış ve her bir sınıfa heyelan yoğunluğuna bağlı olarak, önem derecesine göre heyelan duyarlılık puanları atanmıştır. Araştırmacılar, klasik çakıştırma yöntemlerini kullanarak inceleme alanının heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Heyelan duyarlılık haritasını heyelan envanter haritası ile karşılaştırmışlar ve mevcut heyelanların % 59'unun yüksek duyarlılık zonunda yer aldığını ve sonuçların tatmin edici olduğunu belirtmişlerdir.

Clerici et al. (2002), heyelan duyarlılık zonlaması amacıyla İtalya'nın Parma nehri havzasında yaptıkları çalışmada; karmaşık işlemleri gerektirmeyen basit bir istatistiksel yöntem olarak nitelendirdikleri durumsal analiz (conditional analysis) yöntemini kullanmışlardır. Çalışma alanını, benzer özellikler gösteren alt birimlere ayırmışlar ve heyelan olasılığını, söz konusu alt birimlerdeki heyelanlı alanların toplam alana oranı şeklinde hesaplamışlardır. Geçmişte meydana gelmiş olan heyelanların oluşma koşullarının, gelecekte de heyelan oluşumuna neden olabileceği esasına dayanan durumsal analiz yöntemi ile güvenilir sonuçlara ulaşılmasının, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin farklı bileşimleri ile heyelan yoğunluğunun karşılaştırılması ve parametre sınıflarının değiştirilerek analizlerin tekrar edilmesiyle mümkün olabileceğini vurgulamışlardır. Yöntemin en büyük sınırlamasının, analizlerin yeniden ilk aşamaya dönülerek tekrar edilmesi olduğuna dikkat çeken araştırmacılar, bu sorunu gidermek için işlemlerin büyük alanlarda bile kolay ve hızlı bir şekilde yapılmasına olanak sağlayan bir yazılım geliştirmişlerdir. Litoloji, yamaç eğimi, yapısal unsurların yamaçlarla ilişkisi, yağış ve arazi kullanımı parametrelerini dikkate alarak inceleme alanının heyelan duyarlılık haritasını üretmişlerdir.

Dai and Lee (2002), litoloji, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yamaç şekli, arazi kullanımı ve drenaj ağına yakınlık parametrelerini dikkate alarak tropikal yağışların hakim olduğu bir bölge olan Lantau Adası'nın, 1/20000 ölçekli heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Heyelan yoğunluğu ile heyelan

oluşumunda etkin olan parametreler arasındaki ilişkiler, çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden biri olan lojistik regresyon analizi ile değerlendirilmiştir. Lojistik regresyon analizi uygulamalarında, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerden her biri, sırayla analizlerden çıkartılarak sonuçlar karşılaştırılmış ve inceleme alanındaki heyelanların oluşmasında yamaç şekli ve drenaja yakınlık parametrelerinin etkin olmadığı saptanmıştır. Lojistik regresyon analizinde, sürekli ve kategorik veri kullanımında bir sınırlamanın olmadığına dikkat çeken araştırmacılar, bu durumun, lojistik regresyon analizini diğer çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden üstün kıldığını vurgulamışlardır. Dai and Lee (2002), söz konusu yöntem kullanılarak elde edilen sonuçların, sahadaki mevcut koşullar ile % 85 oranında uyumluluk gösterdiğini ve yöntemin, son derece başarılı olduğunu ifade etmişlerdir. Coğrafi bilgi sistemlerinin, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde çok önemli bir araç olduğunu vurgulamışlardır.

Pistocchi et al. (2002), İtalya'da Apennines bölgesinin heyelan tehlike haritasını üretmek amacıyla yaptıkları çalışmada, olasılık kestirim modellerini kullanmışlardır. Litoloji, yapısal unsurlara yakınlık, yıllık yağış miktarı, bitki türü, yamaç eğimi, yamaç yönelimi ve drenaj ağı olmak üzere toplam 7 adet parametreyi dikkate almışlardır. Bu parametreler ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkiler, Bayesian olasılığı, “ve”, “veya”, “toplama”, “çarpma” ve “gama” işlemcileri kullanılarak bulanık mantık ve belirlilik faktörü (certainty factor, CF) yöntemleri ile değerlendirilmiştir. Farklı kestirim yöntemlerinin sonuçları, tahmin oranı indeksi kullanılarak karşılaştırılmış ve Bayesian modelinin alanı temsil edici veri eksikliği nedeni ile tatmin edici sonuçlar vermediği, CF yöntemi ile kestirilen sonuçların daha başarılı olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar, bulanık işlemcilerin kullanıldığı modelin, bölgedeki durumu en iyi yansıtan model olduğunu saptamışlardır. Ancak, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin, bölgeden bölgeye değişim göstermesi nedeniyle modelin, dikkatle uygulanması gerektiğini vurgulamışlardır.

Zhou et al. (2002) tarafından yapılan çalışmada, sayısal veri tabanına dayanan uzaysal veri analizi ve interaktif haritalama yöntemlerini içeren istatistiksel yöntemlerle, heyelanlar ve heyelanların oluşmasında etkin olan parametreler arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, histogram, çakıştırma ve dinamik haritalama yöntemleri birlikte kullanılmıştır.

Şiddetli yağışlardan sonra heyelanların oluştuğu bir bölge olan Lantau Adası'nda (Hong Kong) yaptıkları çalışmada Zhou et al (2002), heyelanların büyük bir çoğunluğunun, adanın orta ve batı kısımlarında yamaç eğiminin 25^0 - 35^0 arasında olduğu alanlarda, az bir kısmının ise adanın doğu kesimlerinde yamaç eğimi 30^0 - 35^0 olan kesimlerinde geliştiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, heyelanların çoğunun bitki örtüsü olmayan alanlarda ve farklı bitki türlerine geçiş zonlarında oluştuğunu saptamışlardır. Litoloji, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yağış, arazi kullanımı ve bitki örtüsü parametrelerini dikkate alan araştırmacılar, inceleme alanındaki heyelanların gelişmesinde, yükseklik, yamaç eğimi ve bitki örtüsünün etkin olduğu sonucuna varmışlardır. Söz konusu yaklaşımın, sadece heyelan ve heyelan oluşumu arasındaki ilişkilerin araştırılmasında değil, bu ilişkilerin dağılım ve değişimlerinin tanımlanmasında da kullanılabileceğini belirtmişler ve bölgesel ölçekte yapılan çalışmalar için kullanılmasını önermişlerdir.

Khazai and Sitar (2003), Chi-Chi depreminden sonra gelişen ve bu depremin tetiklediği heyelanları kontrol eden faktörleri değerlendirdikleri çalışmalarında; heyelan envanterini, SPOT uydu görüntüleri ve arazi çalışmaları ile elde etmişlerdir. Şev duraysızlığı türü, şev boyutları, şev açısı, litoloji, yer hareketi ve deprem kaynağından uzaklık parametreleri olmak üzere toplam altı parametreyi dikkate almışlardır. Heyelanların, Tersiyer yaşlı sedimanter kayalarda geliştiğini ve deprem episantrından 40-70 km uzaklıkta heyelan yoğunluğunun azaldığını saptamışlardır. İnceleme alanında oluşan heyelanların, % 74'ünün 0.2 g'den büyük düşey yer ivmesi ve % 81'inin 0.15 g'den büyük ortalama yatay yer ivmesine sahip olduğu hesaplanmış ve bu sonuçlar, 1989 Loma Prieta ve 1994 Northridge depremleri olmak üzere iki California depremi ile karşılaştırılmıştır. Khazai and Sitar (2003), Chi-Chi depreminden sonra oluşan heyelanların %90'ının 45^0 'den fazla eğime sahip yamaçlarda, California depreminden sonra gelişen heyelanların % 80'inden fazlasının ise 50^0 'den düşük eğime sahip yamaçlarda meydana geldiğini saptamışlar, Chi-Chi ve diğer iki California depreminden sonra oluşan heyelanlar arasındaki en önemli farkın şev açısı olduğunu belirlemişlerdir.

Yapay sinir ağı yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılığı analiz yöntemlerini geliştirmek ve yeni gelişmekte olan bu yöntemi kullanmak amacı ile Yongin bölgesi'nde yaptıkları çalışmada Lee et al. (2003), heyelan oluşumunda etkin olan

parametrelerden yamaç eğimi, yamaç şekli, toprak türü ve kalınlığı, drenaj ağı, ağaç yaşı ve ağaç çapını değerlendirmişlerdir. Heyelan envanter haritasını hava fotoğrafı yorumlamaları ve arazi çalışmaları ile elde etmişlerdir. Heyelan duyarlılık indeksini geri yayımlı yapay sinir ağı yöntemini kullanarak hesaplayan araştırmacılar, duyarlılık haritasını coğrafi bilgi sistemi yöntemini kullanarak oluşturmuşlardır. Üretilen heyelan duyarlılık haritası, mevcut heyelanlar ile karşılaştırılmış ve aralarında tatmin edici bir uyumun olduğu saptanmıştır. Lee et al. (2003), yapay sinir ağları yönteminin, kesin ve doğru sonuçlar veren bir araç olduğunun söylenebilmesi için daha fazla heyelan verisi ile çalışılması ve farklı alanlarda, yöntemin uygulanması gerektiğini vurgulamışlardır.

Remondo et al. (2003), heyelan duyarlılık zonlaması için nicel bir yöntemin geliştirilmesi ve bu yöntem ile İspanya'da Deba Vadisi'nin heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması amacıyla yaptıkları çalışmada, heyelan oluşumunda etkin olan 17 adet parametreyi dikkate almışlardır. Temeli, kesinlik fonksiyonu yaklaşımı, olasılık teorisi ve Zadeh (1965)'in bulanık küme teorisine dayanan ve CBS ile uyumlu çalışan modeller oluşturmuşlardır. Söz konusu üç tür fonksiyon kullanılarak, değişkenlerin farklı kombinasyonları için heyelan duyarlılık haritaları üretilmiş ve yöntemlerin geçerliliği araştırılarak kestirim kapasitesi belirlenmiştir. Araştırmacılar, her üç yöntemle üretilen duyarlılık haritalarını, mevcut heyelanlarla karşılaştırarak haritaların orta derecede güvenilirliğe sahip olduğunu belirlemişlerdir. Parametre sayısı arttığında, modelin kalitesinin artmadığını belirtmişler ve heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin seçilmesinde, dikkatli olunması gerektiğini vurgulamışlardır.

Tangestani (2003), bulanık mantık yaklaşımını kullanarak Kakan Havzası'nın heyelan duyarlılığı haritasını üretmek için yaptığı çalışmada, litoloji, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, bitki örtüsü, bozunma derinliği, yollara olan yakınlık, topoğrafik yükseklik ve toprak derinliği gibi heyelan oluşumunda etkin olan parametreleri, farklı ağırlık değerlerine göre dikkate almıştır. Ağırlık faktörü, her bir parametre haritası için dikkate alınmış ve bulanık üyelik fonksiyonları ile çarpılarak, her bir veri katmanının çıktı üyelik fonksiyonları üzerindeki etkisi, uzman görüşüne dayalı olarak belirlenmiştir. Çok yüksek, yüksek, orta ve duyarlı olmayan alanlar olmak üzere dört duyarlılık sınıfına göre inceleme alanının heyelan duyarlılık haritası

oluşturulmuştur. Tangestani (2003), toplam alanın yaklaşık %46'sını kapsayan ve heyelana duyarlı olmayan zonlarda, topoğrafik açıdan yüksek kesimlerde yüzeyleyen, dayanımı yüksek kireçtaşlarının bulunduğu dikkat çekmiştir. Çalışma alanı içerisinde yer alan mevcut heyelanların, üretilen duyarlılık haritası ile karşılaştırılması sonucunda, mevcut heyelanların yüksek duyarlılık zonunda bulunduğu görülmüştür. Araştırmacı, söz konusu yaklaşım ile belirlenen haritaların güvenilirliğinin, veri kalitesine ve atanan gama değerine bağlı olduğunu belirtmiştir. Yağışın tetiklediği heyelanların, Meksika'da çok büyük kayıplara neden olduğunu belirten Alcantara-Ayala (2004), 24 saat süren şiddetli yağışlar sonunda yüzlerce heyelanın meydana geldiği Puebla bölgesi için heyelan tehlike değerlendirmesi amacıyla bir modelleme çalışması yapmıştır. Dört yağış istasyonuna ait veriler kullanılarak, heyelan oluşumundan önceki kümülatif yağışın yıllık ortalama yağışa oranı ile tanımlanan çevrim katsayısı hesaplanmıştır. Çevrim katsayısı, heyelanın meydana geldiği tarihteki günlük yağışın ortalama yağışa oranı ile toplanarak toplam katsayı elde edilmiş ve inceleme alanındaki heyelanların, toplam katsayının 0.8 değerinden daha büyük olduğu durumda tetiklendiği belirlenmiştir. Heyelanların, litoloji, arazi topoğrafyası, nemlilik indeksi, bitki örtüsü ve iklim gibi farklı faktörlerin etkileşimini içeren karmaşık süreçlerden oluştuğunu belirten araştırmacı, inceleme alanında heyelanların gelişmesinde, litolojinin çok etkin bir parametre olduğunu belirlemiş ve bitki örtüsü tahribatının heyelan oluşumunda çok önemli bir rol oynadığını vurgulamıştır. Mevcut heyelanların, % 81'inin duraysız olarak belirlenen zonda yer aldığına dikkat çeken Alcantara-Ayala (2004), bu yaklaşımın, sık heyelanlar için tehlike değerlendirmelerinde son derece başarılı olduğunu vurgulamıştır.

Ercanoğlu and Gökçeoğlu (2004), Batı Karadeniz Bölgesi'nde Yenice kuzeyini kapsayan bir alanda yaptıkları çalışmada, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde yeni bir yöntem olan bulanık mantık yaklaşımını kullanmışlardır. Heyelan envanter haritası, arazi çalışmaları ve hava fotoğrafları yorumlamaları ile oluşturulmuş ve heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerden, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yamaç şekli, drenaj ağı, yapısal unsurlara yakınlık, süreksizliklerin yamaçlarla olan ilişkisi ve arazi kullanımı potansiyeli dikkate alınmıştır. Araştırmacılar, heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması amacıyla, temeli bulanık ilişkilere dayanan, FULLSA adlı bir yazılım

geliştirmişlerdir. Söz konusu yöntem kullanılarak oluşturulan ve çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük olmak üzere beş duyarlılık grubunda sınıflandırılan heyelan duyarlılık haritasının, güvenilirliğini araştırmak amacıyla fiziksel indeks (r_{ij}) ve ortalama karekök hatası (RMSE) değerlerini hesaplamışlardır. Bu değerlerin, oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının güvenilir olduğunu gösterdiğini belirten Ercanoğlu and Gökçeoğlu (2004), kullanılan yaklaşımın, parametre seçiminde özneliği önlediğini ve heyelan duyarlılığı haritalaması çalışmalarında güvenilir bir envanter haritası ile birlikte başarıyla kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Heyelanların şiddetli yağışlar tarafından tetiklendiği bir bölge olan Çin'de Xiaojiang havzasının heyelan tehlike haritası, CBS ve istatistiksel yöntemler kullanılarak Lan et al. (2004) tarafından üretilmiştir. Arazi çalışmaları ve hava fotoğrafı yorumlamaları yardımıyla tanımlanan heyelanlar ile litoloji, kaya kütlesi yapısı, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, topoğrafik yükseklik ve ana fay zonlarına yakınlık parametreleri arasındaki ilişkiler belirlilik faktörü (certainty factor, CF) kullanılarak değerlendirilmiştir. Her bir parametre için CF değeri hesaplanmış, heyelan oluşumunda etkin olan en önemli parametreler seçilmiş ve hesaplanan CF değerlerine göre inceleme alanının heyelan tehlike zonlaması oluşturulmuştur. Çalışma alanındaki heyelan aktivitesine, şiddetli yağışların neden olduğunu belirten araştırmacılar, deterministik şev duraylılığı modeli ile hidrolojik modelin birleştirilmesi ile farklı yağış koşulları için heyelan tehlike haritaları hazırlamışlardır. Araştırmacılar, söz konusu yaklaşımla, mevcut heyelanlı alanların ve gelecekte yağışlar tarafından tetiklenmesi olası heyelanların tahmin edildiğini ve böylece, ileride meydana gelebilecek kayıpların azaltılabileceğini vurgulamışlardır.

Liu et al. (2004), Çin'de Zigui ve Badong bölgeleri arasında kalan bir alanda yapmış oldukları heyelan tehlike değerlendirmesi çalışmalarında, kullandıkları parametreler ve heyelan envanterini, arazi çalışmaları ve ASTER uydu görüntülerinden elde etmişlerdir. Çalışmanın yapıldığı bölgede, heyelan ve taşkın gibi doğal afetlerin, sosyoekonomik kayıplara neden olması ve Three Gorges hidroelektrik santralinin bulunması nedeniyle önemli bir bölge olduğunu vurgulamışlardır. Litoloji, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, drenaj ve fay zonlarına yakınlık parametrelerini dikkate alan araştırmacılar, Boolean karar verme

kurallarını kullanarak inceleme alanının heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının güvenilirliğini araştırmak amacıyla üretilen haritaları, arazi çalışmaları ile kontrol eden araştırmacılar, arazi gözlemlerinin, sonuçlar ile uyumlu olduğunu ve kullandıkları yöntem ve parametrelerin tatmin edici sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır.

Süzen and Doyuran (2004a), son yıllarda, heyelan değerlendirmelerine yönelik çalışmalara, araştırmacıların ilgisinin arttığını vurgulayarak bazı veri türleri ve kullanılan yöntemlerin sınırlamaları üzerine bir değerlendirme yapmışlardır. Heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin sınıflandırılmasının, araştırmacının tecrübesine dayalı olarak öznellik içerdiği ve bu durumun, iki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritalarına yansıdığını belirtmişlerdir. Söz konusu sınırlamaları azaltmak amacıyla, heyelan oluşumunda karar verme aşaması için kök hücre kavramını ve parametre sınıflarının belirlenmesinde, veri bağımlılığını artırmayı içeren bir yöntem önermişlerdir. Litoloji, faylara yakınlık, fay yoğunluğu, topoğrafik yükseklik, drenaja yakınlık, drenaj yoğunluğu, sırtlara yakınlık, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, yollara yakınlık ve bitki örtüsü parametrelerini dikkate alarak, önerdikleri yöntem ile Asarsuyu Havzası'nın heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Araştırmacılar, ürettikleri haritanın performansını, 12 Kasım 1999 Kaynaşlı depreminden sonra oluşan 20 adet heyelanın, söz konusu haritada yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında bulunması ile deneytirerek; kullandıkları yöntem ve parametrelerin, bölgedeki mevcut heyelan durumunu iyi bir şekilde yansıttığını belirtmişlerdir.

Süzen and Doyuran (2004b), iki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ve çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden biri olan lojistik regresyon analizini kullanarak heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi ve iki yöntemin karşılaştırılması amacıyla yaptıkları çalışmada, Asarsuyu Havzasının heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmuşlardır. Heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde, iki değişkenli istatistiksel yöntemler için veri bağımlılığını artırmak ve araştırmacının tecrübesine bağımlılığı azaltmak amacı ile Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşımı kullanmışlardır. Söz konusu çalışmada, inceleme alanı, çok düşük, düşük, yüksek ve çok yüksek olmak üzere dört heyelan duyarlılığı grubunda sınıflandırılmıştır. Araştırmacılar, heyelan duyarlılık zonlarının alansal yayılımı ve

mevcut heyelanların bu zonlar içerisindeki dağılımı dikkate alındığında, lojistik regresyon analizi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının performansının, iki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritasına göre daha yüksek olduğunu saptamışlardır.

Lee et al. (2004) tarafından yapılan çalışmada, yeni bir yöntem olan yapay sinir ağları ile heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması hedeflenmiştir. Heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerden; yamaç eğimi, yamaç şekli, toprak türü, toprak geçirgenliği, toprak kalınlığı, ağaç türü ve çapı olmak üzere toplam 7 parametre değerlendirilmiş ve arazi çalışmaları ile heyelan envanteri oluşturulmuştur. İlk aşamada, Lee and Min (2001) tarafından yapılan çalışmada belirlenen, heyelan yoğunluğuna göre parametre sınıflarına atanan değerler kullanılarak, Kore’de Yongin bölgesinin heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Sonraki aşamada, yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak hesaplanan her bir parametrenin ağırlık değeri, ilk aşamada atanan değerlerle çarpılmış ve elde edilen heyelan duyarlılık indeksi değerleri dikkate alınarak heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Araştırmacılar, ağırlık değerleri dikkate alınarak ve alınmayarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarını karşılaştırmışlar ve yapay sinir ağı yöntemi ile belirlenen ağırlık değerlerine göre üretilen haritanın performansının daha iyi olduğunu saptamışlardır. Lee et al. (2004), yapay sinir ağı yönteminin; verinin istatistiksel dağılımı ile ilgili bir varsayımı bulunmaması, özel istatistiksel değişkenler gerektirmemesi, veri kaynağı ile ilgili sınırlama içermemesi ve dolayısıyla, parametrelere ait istatistiksel dağılımlar ile sınıfların tanımlanmasına olanak sağlaması nedeniyle diğer istatistiksel yöntemlerden üstün olduğunu vurgulamışlardır.

Ayalew and Yamagishi (2005) tarafından Kakuda-Yahiko Dağları’nda heyelan duyarlılığı haritasının üretilmesi amacıyla yapılan çalışmada, lojistik regresyon analizi kullanılarak çok değişkenli istatistiksel analizlerin gerektirdiği kesin varsayımları yumuşatmak ve iki değişkenli istatistiksel analizlerle birleştirerek belirlenen modellerin daha basit bir şekilde yorumlanmasını sağlamak hedeflenmiştir. 10*10 m grid ağı sistemi kullanılarak yapılan çalışmada, inceleme alanı içindeki mevcut 87 heyelanı içeren heyelan envanter haritası kullanılarak bağımlı değişkenler oluşturulmuş ve heyelanlı piksellere “1”, heyelan olmayan

piksellere "0" değeri atanmıştır. Ayalew and Yamagishi (2005), litoloji, anakaya-yamaç ilişkisi, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, topoğrafik yükseklik, çizgisellikler ve yol ağı parametrelerini, bağımsız değişkenler olarak dikkate almışlar ve her bir parametrenin heyelan oluşumu üzerindeki etkisini, lojistik regresyon fonksiyonu ile belirlenen katsayılar ile tayin etmişlerdir. Söz konusu yöntem kullanılarak yapılan analizlerin sonucunda, yol ağı parametresinin, heyelan oluşumu ve dağılımı üzerinde önemli bir rol oynadığı, yükseklik parametresinin ise önemli bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Çalışma alanını, heyelan duyarlılığı açısından aşırı derecede düşük, çok düşük, düşük, orta ve yüksek olarak beş sınıfa ayıran araştırmacılar, toplam alanın, % 8.87'sini kapsayan orta ve yüksek duyarlılık zonlarının, topoğrafik açıdan orta ve yüksek kesimler olduğunu belirlemişlerdir.

Etiyopya'nın kuzeyinde yer alan Dessie bölgesinde, yaklaşık 16 km²'lik bir alanın heyelan duyarlılık haritası, Ayenew and Barbiery (2005) tarafından, klasik çakıştırma yöntemleri kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışmanın ilk aşamasında, inceleme alanı, benzer heyelan duyarlılığına sahip alt birimlere ayrılarak ön zonlama yapılmıştır. Sonraki aşamada, heyelan oluşumunda etkin olan jeolojik, jeoteknik, jeomorfolojik, hidrojeolojik ve antropolojik faktörler, arazi çalışmalarıyla yarı nicel olarak elde edilmiştir. Son aşamada, klasik çakıştırma yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiş ve çalışma alanı, heyelan duyarlılığı açısından çok düşük, düşük, orta ve yüksek olmak üzere dört sınıfa ayrılmıştır. Söz konusu harita ile geçmişte oluşmuş heyelanların dağılımı karşılaştırıldığında, mevcut heyelanların büyük bir çoğunluğunun, yüksek heyelan duyarlılığı zonunda yer aldığı saptanmıştır. Araştırmacılar, heyelanların büyük bir çoğunluğunun, toprak kaymaları ve bazaltların bozunma ürünü olan toprak zeminlerde toprak akması türünde, az bir kısmının ise dik yamaçlarda kaya düşmesi ve devrilme tipi yenilme şeklinde gerçekleştiğini saptamışlardır. Ayenew and Barbiery (2005), şiddetli yağışların, heyelan oluşumu üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu vurgulamışlardır.

Ercanoğlu et al. (2005), heyelanların sıklıkla geliştiği, Kumluca-Ulus (Bartın) bölgesinde, bulanık mantık ve yapay sinir ağları yöntemlerini kullanarak, çalışma alanının heyelan duyarlılık haritalarını oluşturmuşlar ve bu yöntemlerin kullanımını araştırmışlardır. Heyelan özelliklerini, saha çalışmaları ve bilgisayar destekli olarak

ayrı ayrı belirlemişler ve iki farklı veri tabanı oluşturmuşlardır. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde kullanılacak girdi parametre haritalarının oluşturulmasında, sayısal arazi modeli ve ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) uydu görüntüsünü kullanmışlardır. Yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, topoğrafik yükseklik, yamaç şekli-yamaç türü, topoğrafik nemlilik indeksi ve bitki örtüsü yoğunluğu parametrelerini dikkate alarak karşılaştırma, faktör analizi, bulanık mantık (bulanık matematik ve kural tabanlı bulanık sistem), yapay sinir ağları ve NF (Neuro-Fuzzy) yöntemlerini kullanmışlardır. Üretilen haritaların performanslarını, alansal yoğunluk, benzerlik ilişki değeri (r_{ij}) ve hata matris oranı ile değerlendiren araştırmacılar, NF modelinde, alansal yoğunluğu, % 71; r_{ij} değerini, 0.94; hata matris oranını, % 16 olarak hesaplamışlar ve bu yöntemin, en yüksek performansa sahip olduğunu saptamışlardır. Bulanık mantık ve yapay sinir ağı yöntemleri ile oluşturan haritaların, klasik yöntemlerle oluşturulan haritalara göre, daha yüksek performans sergilediğini belirlemişlerdir.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinin, yerel yönetimler ve kentsel planlama ve gelişim açısından, son derece önemli olduğunu vurgulayan Goméz and Kavzoğlu (2005), Venezuela' da Jabonasa Nehri havzası'nın heyelan duyarlılık haritasını, yapay sinir ağı yöntemi kullanarak üretmişlerdir. Heyelanların oluşmasında etkin olan parametrelerden; litoloji, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç yönelimi, topoğrafik nemlilik indeksi, çizgisellik, toprak türü ve bitki örtüsünü dikkate almışlar ve bu parametrelerin elde edilmesinde sayısal arazi modeli ve uydu görüntülerinden yararlanmışlardır. YSA ile oluşturdukları heyelan duyarlılık haritasının, % 90 güvenilirlikte olduğunu belirten araştırmacılar, heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde yapay sinir ağlarının, son derece iyi sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır. Goméz and Kavzoğlu (2005), söz konusu yöntemin; doğrusal olmayan fonksiyonları kullanması, geleneksel istatistiksel yöntemlerin ihmal ettiği girdi verisindeki ince ayrıntıları tanımlayabilmesi, girdi verisi içinde belirli grupları genelleştirerek bilinmeyen modellerin çözümünde kullanması, girdi verisine ait bilginin otomatik olarak özetlenmesi ve sürekli-kategorik verinin birlikte kullanılabilmesi gibi birçok üstünlüğü olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Yeşilnacar and Topal (2005), heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan jeoteknik yaklaşımların en önemli sınırlamasının, büyük alanlar için alanı temsil edecek şekilde veri temininin güç olması ve yüksek maliyet gerektirmesi olduğunu belirtmişlerdir. Bu nedenle, heyelan duyarlılığı değerlendirmelerine yönelik çalışmalarda, istatistiksel yöntemlerin kullanıldığını ifade etmişlerdir. Ancak, heyelan oluşumu ile heyelan oluşumunda etkin olan parametreler arasındaki ilişkinin doğrusal olmaması nedeniyle geleneksel istatistiksel yöntemlerin, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde etkin olamadığını vurgulamışlardır. Lojistik regresyon ve yapay sinir ağı yöntemlerinin, bu sınırlamaları içermediğine dikkat çekerek, Hendek bölgesinde doğal gaz boru hattının geçtiği bir alanda, her iki yöntemi kullanarak heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlar ve çalışma alanını; çok düşük, düşük, yüksek ve çok yüksek olmak üzere dört heyelan duyarlılığı grubunda sınıflandırmışlardır. Yöntemlerin güvenilirliğini karşılaştırmak amacıyla söz konusu çalışmada, mevcut heyelanlar, oluşturulan haritalar ile karşılaştırılmıştır. Lojistik regresyon analizi kullanılarak oluşturulan duyarlılık haritasında; mevcut heyelanların, yaklaşık % 48'inin, çok yüksek ve % 42'sinin, yüksek heyelan duyarlılığı zonunda yer aldığı saptanmıştır. Yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak oluşturulan duyarlılık haritasında ise mevcut heyelanların, yaklaşık % 77'sinin, çok yüksek ve % 19'unun, yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Yeşilnacar and Topal (2005), yapay sinir ağı yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının, daha gerçekçi sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır.

3. HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİNDE KULLANILAN ÖLÇEK, HARİTALAMA BİRİMİ VE YÖNTEMLER

Heyelanların değerlendirilmesine ilişkin çalışmalar, 1950'li yılların sonlarına doğru başlamış olup bu çalışmalar, yerel duraysızlıkların belirlenmesine yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. 1980' li yılların başından itibaren bilgisayar teknolojisi, coğrafi bilgi sistemi (CBS) ve bilgisayar yazılımlarındaki gelişmelere paralel olarak özellikle bölgesel ölçekte, heyelan duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirme çalışmalarında büyük bir oranda artış meydana gelmiştir. Ancak, söz konusu haritaların üretilmesinde kullanılacak parametre ve yöntemlere ilişkin, araştırmacılar arasında bir fikir birliği sağlanamamıştır. Doktora tez çalışması kapsamında, heyelan duyarlılık değerlendirmelerine yönelik çalışmalarda, literatürde yaygın olarak kullanılan; ölçek, haritalama birimi ve yöntemler değerlendirilmiştir.

3.1. Heyelan Duyarlılık, Tehlike ve Risk kavramları

Genel olarak, bir yamaçtaki, kaya, toprak veya moloz türü malzemelerin çeşitli nedenlerden ötürü, yerçekimi etkisi ile yamaç aşağı doğru hareketi, heyelan olarak tanımlanmaktadır (Varnes, 1978). Heyelan duyarlılığı, bir bölgede heyelana karşı duyarlılık açısından aynı özelliklere sahip alanların sınıflandırılmasıdır. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde, "geçmiş ve bugün, geleceğin anahtarıdır" ilkesine dayanarak, geçmişte heyelanların oluşmasına neden olan parametreler dikkate alınmakta ve gelecekte oluşacak potansiyel duraysız alanlar, belirlenmeye çalışılmaktadır (Varnes et al., 1984; Carrara et al., 1991, Hutchinson, 1995).

Heyelan tehlikesi, belirli bir alanda ve belirli bir zaman içerisinde, heyelanın oluşma olasılığıdır. Heyelan tehlike zonlaması ise belirli bir alanda belirli bir zaman aralığında heyelan oluşma olasılığı eşit olan alanların haritalanması şeklinde tanımlanmaktadır (UNESCO, 1973; Varnes et al., 1984). Heyelan tehlike haritalarının üretilmesindeki ilk aşama, heyelan oluşumu ile heyelan oluşumuna neden olabilecek parametreler arasındaki ilişkilere dayalı olarak heyelan duyarlılığının değerlendirilmesidir. Sonraki aşamada ise genellikle şiddetli yağış ve

deprem gibi, heyelanların tetiklenmesine neden olan parametreler belirlenmekte ve heyelanın oluşma olasılığı değerlendirilmektedir (Van Westen et al., 1997).

Heyelan riski, belirli bir alanda heyelan tehlikesinin meydana gelmesi durumunda oluşabilecek kayıplardır. Heyelan riski değerlendirmelerinde, heyelan sonucunda meydana gelecek yaşam kayıplarının yanında ekonomik, sosyal ve çevresel kayıplar da dikkate alınmaktadır. Bu nedenle, heyelan risk haritalarının üretilmesi, sadece yerbilimcilerin değil, farklı meslek gruplarının birlikte çalışmasını gerektirmektedir. Heyelanların oluşması sonucunda meydana gelecek doğrudan veya dolaylı kayıpların belirlenmesinin çok güç olması nedeniyle risk değerlendirmelerine yönelik çalışmalar, sınırlı sayıda kalmaktadır (Varnes et al., 1984; Anbalagan and Singh, 1996).

Einstein (1988), heyelan duyarlılığını; heyelan oluşumunda etkin olan parametreler ile potansiyel heyelan oluşumu arasındaki ilişkinin fonksiyonu,

$$\text{Duyarlılık} = f(\text{heyelan, heyelan oluşumunda etkin olan parametreler})$$

heyelan tehlikesini; duyarlılık ve tetikleyici parametrelerin fonksiyonu,

$$\text{Tehlike} = f(\text{duyarlılık, tetikleyici parametreler})$$

Heyelan riskini; tehlike ve oluşacak hasarın fonsiyonu,

$$\text{Risk} = f(\text{tehlike, oluşacak hasar})$$

olarak tanımlamıştır.

Sistemantik bir heyelan değerlendirme çalışması;

1. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi,
2. Tehlike olasılığının belirlenmesi,
3. Riskin değerlendirilmesi,

aşamalarından oluşmaktadır (Anbalagan and Singh, 1996). Tehlike değerlendirmesi için, heyelanların gelecekte ne zaman oluşacağı ve hangi sıklıkta tekrarlanacağı hesaplanmalıdır. Ancak, heyelana neden olan tetikleyici parametrelerin tanımlanması, neden sonuç ilişkisinin belirlenmesi ve bu parametrelere ilişkin verilerin tam ve doğru olarak elde edilmesi oldukça güçtür. Yağışın tetiklediği heyelanların oluşmasında neden sonuç ilişkisi; eşik değer

tanımlanması ve kritik yağış değerinin tekrarlanma periyodunun hesaplanmasına olanak sağlayan istatistiksel analizler ile belirlenebilmektedir (Aleotti et al., 1996; Caine, 1980; Cancelli and Nova 1985; Moser and Hohensinn, 1983; Polloni et al., 1996; Wilson and Wieczorek, 1995). Heyelan tarihleri ve bu tarihlere ait yağış ve deprem kayıtlarının bulunmaması veya güvenilir olmaması nedeniyle heyelanın, ne zaman oluşacağını kestirilmesine yönelik hesaplamalar, yapılamamaktadır. Risk değerlendirmesi ise, bu sınırlamaların yanında risk altındaki elemanların ve oluşacak kayıpların nicel olarak belirlenebilmesi gibi önemli belirsizlikleri içermektedir. Bu nedenle, heyelan tehlike ve risk değerlendirmelerine yönelik çalışmalar, sınırlı sayıda kalmakta ve bunun yerine, genellikle duyarlılık değerlendirmeleri yapılmaktadır. (Atkinson and Massari, 1997; Van Westen et al., 1997; Aleotti and Chowdhury, 1999).

Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasına yönelik olarak jeomorfologlar ve mühendisler arasında yaygın olarak kabul edilen ilkeler;

1. Heyelanların, arazi çalışmaları, uydu görüntüleri ve hava fotoğrafı yorumlamaları ile belirlenerek heyelan envanter haritasının oluşturulması ve sınıflandırılması,
2. Literatür bilgisi, mevcut haritalar, hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve laboratuvar deney sonuçları kullanılarak, heyelan oluşumunda doğrudan ya da dolaylı olarak etkin olan en güncel parametrelere ilişkin verilerin toplanması ve parametre haritalarının oluşturulması,
3. Geçmişte meydana gelen heyelanların oluşum koşullarını belirleyebilmek amacıyla heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelerle heyelan oluşumu arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi,
4. Heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde kullanılacak yöntemin seçilmesi,
5. Heyelan oluşumunda etkin olan her bir parametreye ağırlık değerlerinin atanması,

6. Çalışma alanının hesaplanan heyelan duyarlılık değerlerine göre sınıflandırılmasıdır (Rib and Liang, 1978; Varnes, 1978; Hansen, 1984; Varnes et al., 1984; Hutchinson, 1988; Carrara et al., 1991; Hutchinson and Chandler, 1991; Dietrich et al., 1995; Hutchinson, 1995; Dikau et al., 1996; Luzi and Pergalani, 1996; Turner and Schuster, 1996; Van Westen et al., 1997; Aleotti and Chowdhury, 1999; Guzzetti et al., 1999).

3.2. Heyelan Duyarlılık Değerlendirmelerinde Kullanılan Ölçekler

Heyelan değerlendirme, araştırma ve haritalama çalışmalarında kullanılacak ölçek; çalışmanın amacı, çalışma alanının büyüklüğü ve veri teminine bağlıdır. Arazi kullanımı planlama çalışmalarında bölgesel ölçek kullanılırken, büyük mühendislik yapılarının planlanması gibi daha özel durumlarda detaylı ölçek kullanılmaktadır.

- a) Bölgesel Ölçek ($<1/100\ 000$): Bölgesel planlama amacıyla yapılan çalışmalarda, potansiyel heyelanların belirlenmesine yönelik olarak kullanılmaktadır. Çalışma alanı, $1000\ km^2$ veya daha büyük alanları kapsamaktadır.
- b) Orta Ölçek ($1/25\ 000$ - $1/50\ 000$): Genellikle, yerel mühendislik yapılarının ve yerleşim alanlarının planlanmasına yönelik çalışmalarda kullanılmaktadır. Çalışma alanı, birkaç yüz km^2 'lik alanı kapsamaktadır.
- c) Büyük Ölçek ($1/5000$ - $1/10\ 000$): Altyapı, inşaat ve endüstriyel projelerin planlanmasında kullanılmaktadır. Çalışma alanı, onlarca km^2 'lik alanı kapsamaktadır.
- d) Detaylı ölçek ($>1/5000$) : Genellikle, belediye ve şirketler için şahıs arazilerinde, potansiyel heyelanların belirlenmesine yönelik çalışmalarda kullanılmaktadır. Çalışma alanı, en fazla birkaç hektarlık alanı kapsamaktadır (Aleotti et al., 1996; Luzi and Pergalani, 1996; Soeters and Van Westen, 1996; Lee and Min, 2001).

Çalışma alanı ölçeğinin seçimi, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanılacak yöntemin seçimini de etkilemektedir (Çizelge 3.1). Genellikle, küçük ölçekli bölgesel planlamaya yönelik değerlendirmelerde, nitel yöntemler ve orta ölçekli çalışmalarda, istatistiksel analizler kullanılmaktadır. Büyük ölçeklerde daha detaylı çalışmalar için kullanılan deterministik yaklaşımlar, küçük ölçekli çalışmalar için uygun yöntemler değildir. Ölçek seçiminde, maliyet-kazanç oranının dikkate alınması gerekmektedir (Soeters and Van Westen, 1996; Van Westen et al., 1997).

Çizelge 3.1. Heyelan duyarlılık değerlendirme yöntemlerinde kullanılan ölçekler (Soeters and Van Westen, 1996).

HEYELAN DUYARLILIK DEĞERLENDİRMELERİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER	ÖLÇEK
Jeomorfolojik analizler	BL, O, B
İndeks haritaların çakıştırılması	BL, O
İki değişkenli istatistiksel analizler	O
Çok değişkenli istatistiksel analizler	O
Deterministik analizler	B, D

BL Bölgesel ölçek **O**: Orta ölçek **B**: Büyük ölçek **D**: Detaylı ölçek

3.3. Heyelan Duyarlılık Değerlendirmelerinde Kullanılan Haritalama Birimleri

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde önemli olan bir husus da, uygun haritalama biriminin seçilmesidir. Haritalama birimi; belirli bir alanın, komşu birimlerden farklı zemin özelliklerine göre ayrılabilen ve sınırları tanımlanabilen bir bölümünü temsil etmektedir (Hansen, 1984). Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde, çalışma alanının sınıflandırılması için önerilen bir çok yöntem mevcuttur. Haritalama biriminin seçimi, çalışma alanının ölçeğine, elde edilen verilerin kalitesine ve duyarlılık değerlendirmelerinde kullanılacak yöntemeye bağlıdır (Meijerink, 1988; Carrara and Guzzetti, 1995; Guzzetti et al., 1999). Yaygın olarak kullanılan haritalama birimleri; grid-hücre, arazi birimi, benzer-koşul birimi, eğim birimi ve topoğrafik birimdir.

1. Grid-hücre: Bu haritalama birimi, hücre tabanlı çalışmalarda, özellikle CBS kullanıcıları tarafından tercih edilmektedir. Düzenli karelerden oluşan grid ağı sistemi oluşturulmakta ve her bir hücreye, dikkate alınan parametrelere ait sayısal değerler atanmaktadır. Bu birim; nitel yöntemler, istatistiksel analiz yöntemleri, fiziksel ve benzetişim çalışmalarında kullanılmaktadır (Carrara, 1983; Pike, 1988; Van Westen, 1993; Mejia-Navarro and Wohl, 1994; Van Westen, 1994; Mark and Ellen, 1995; Terlien et al., 1995).
2. Arazi birimi: Genellikle, jeomorfologlar tarafından, doğrudan haritalama yöntemlerinde tercih edilen bir haritalama birimidir. Çalışma alanı, jeolojik ve jeomorfolojik farklılıkları yansıtacak şekilde sınıflandırılmaktadır (Cooke and Doornkamp, 1974; Speight, 1977; Burnett et al., 1985; Hansen et al., 1995).
3. Benzer-koşul birimi: Heyelan oluşumunda etkin olan her bir parametreye ait haritalarda, benzer özelliklere sahip alanlar sınıflandırılarak parametre haritaları çakıştırılmaktadır. Çakıştırılan haritada, benzer özellik gösteren alanların sınıflandırılması ile haritalama birimi oluşturulmaktadır. Benzer koşul birimi, nitel ve istatistiksel yöntemlerde kullanılmaktadır (Bonham-Carter, 1994; Carrara and Guzzetti, 1995; Chung and Fabbri, 1995).
4. Eğim birimi ve topoğrafik birim: Çalışma alanı, drenaj ağı dikkate alınarak hidrolojik bölgelere ayrılmaktadır. Bu birim, istatistiksel yöntemler ve fiziksel modellemelerde kullanılmaktadır. Ayrıca, eğim birimine göre sınıflandırılan çalışma alanı, benzer topoğrafik özelliklere bağlı olarak alt birimlere ayrılabilmekte ve bu birimlere, topoğrafik birim adı verilmektedir (O'Loughlin, 1986; Carrara, 1991; Montgomery and Dietrich, 1994).

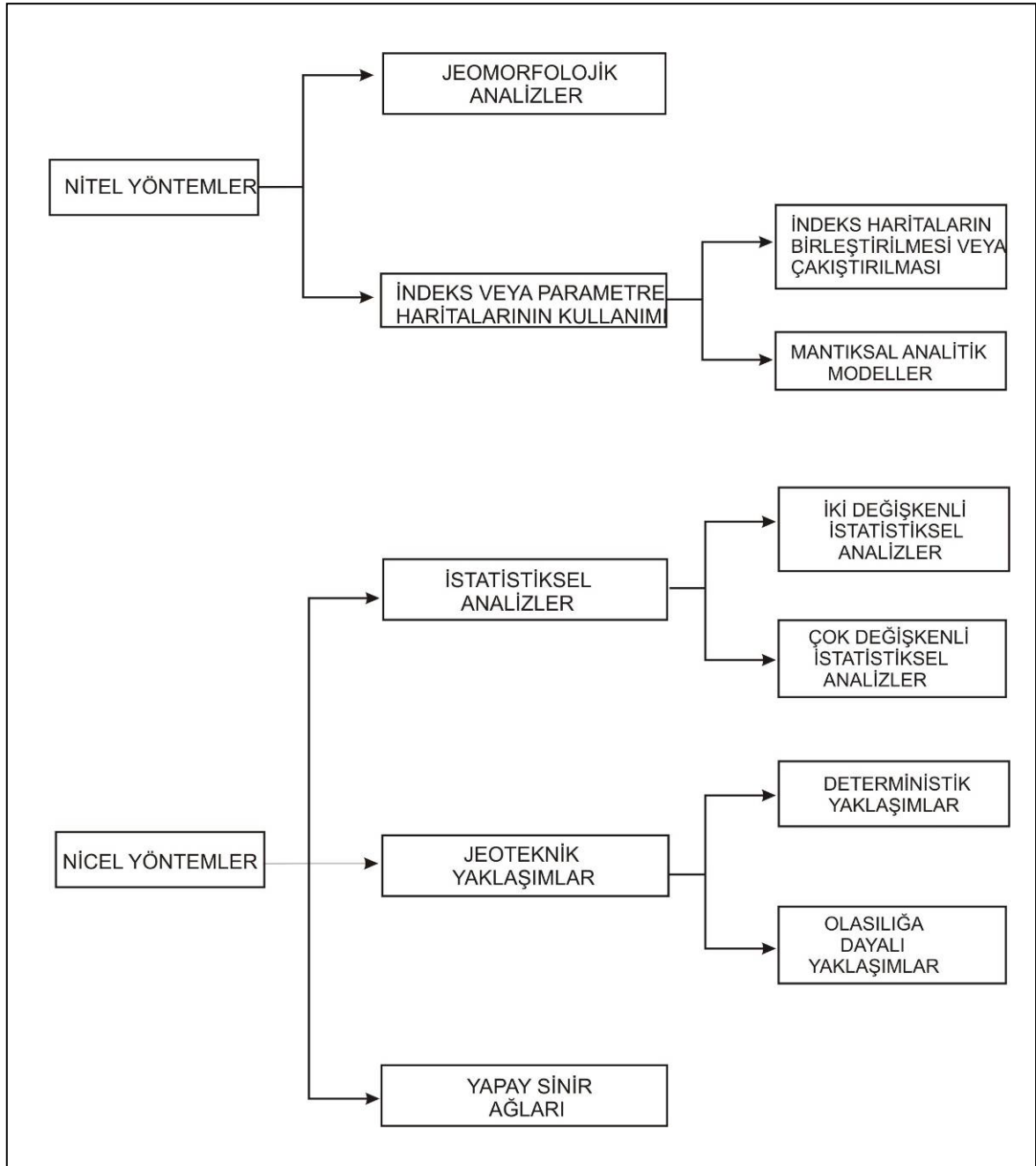
3.4. Heyelan Duyarlılık Değerlendirmelerinde Kullanılan Yöntemler

Hansen (1984), heyelan duyarlılık ve tehlikesinin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemleri, jeomorfolojik haritalama ve parametre haritalarının karşılaştırılmasını içeren yerbilimi yaklaşımları ve mühendislik yaklaşımları olmak üzere sınıflandırmıştır. 1980'lerin başından itibaren, coğrafi bilgi sistemleri gibi bilgisayar tabanlı araçların gelişmesi, fazla sayıdaki verinin depolanması ve istatistiksel analizlerle değerlendirilmesine olanak sağlamıştır. Carrara (1988), heyelan oluşumu ile heyelan oluşumunda etkin olan parametreler arasındaki ilişkinin istatistiksel analizlerle değerlendirildiği istatistiksel yöntemleri, heyelan duyarlılığı değerlendirme yöntemleri sınıflamasında, üçüncü bir yöntem olarak önermiştir. Hutchinson (1995) tarafından önerilen sınıflamada, heyelan oluşumunda etkin olan parametreler ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkinin belirlenmesi temeline dayanan istatistiksel yaklaşımlar, doğrudan yöntemler olarak tanımlanmıştır. Crozier (1992), heyelan duyarlılık ve tehlike değerlendirmelerinde kullanılan yöntemleri, tümevarım (inductive), tümdengelim (deductive) ve jeoteknik yaklaşımlar olarak sınıflandırmıştır. Tümdengelim yaklaşımlarda, parametre seçimi ve parametrelerin ağırlık değerleri ampirik yöntemlerle belirlenirken, tümevarım yaklaşımlarda araştırmacının tecrübesine bağlı olarak atanmaktadır.

Aleotti and Chowdhury (1999); Hansen (1984), Leroi (1996) ve Soeters and Van Westen (1996) tarafından yapılan sınıflandırmaları temel alan ve heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde, yeni bir yaklaşım olan yapay sinir ağı yöntemini de içeren bir sınıflama önermişlerdir. Bu sınıflamada, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanılan yöntemler, nitel ve nicel yöntemler olmak üzere 2 grupta sınıflandırılmıştır (Şekil 3.1).

3.4.1. Nitel yöntemler

Tecrübeye dayalı değerlendirme yöntemleri olarak da tanımlanan nitel yöntemler, jeomorfolojik yaklaşımlar ve ağırlık değerleri dikkate alınarak ya da alınmayarak indeks haritaların karşılaştırılması olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır (Aleotti and Chowdhury, 1999).



Şekil 3.1. Heyelan duyarlılık ve tehlike değerlendirmelerinde kullanılan yöntemler (Aleotti and Chowdhury, 1999).

3.4.1.1. Jeomorfolojik Analizler

Jeomorfolojik analizler, araştırmacının bilgi ve tecrübesine dayalı olarak hava fotoğrafı yorumlamaları ve doğrudan arazi gözlemleriyle heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi ve benzer özelliklere sahip alanların sınıflandırılması temeline dayanmaktadır. Değerlendirme ve/veya zonlamada, kesin kurallar

bulunmamaktadır (Aleotti and Chowdhury, 1999). Yöntemin en önemli sınırlamaları; heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin seçiminin öznel olması, yeni verilerin elde edilmesi durumunda güncelleme yapılamaması ve uzun zaman alan arazi çalışmalarını gerektirmesidir (Leroi, 1996).

Heyelan duyarlılığı değerlendirme çalışmalarında jeomorfolojik yaklaşımlar, 1970 ve 1980'li yıllar arasında yaygın olarak kullanılmıştır (Brundsen et al., 1975; Carrara and Merenda, 1976; Kienholz, 1978; Fenti et al., 1979; Rupke, et al., 1988).

3.4.1.2. Parametre Haritalarının Kullanımı

3.4.1.2.1. İndeks veya Parametre Haritalarının Çakıştırılması Yöntemi

Parametre haritalarının çakıştırılması yöntemiyle, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması;

1. Heyelan oluşumunda etkin olan her bir parametrenin alt sınıflara ayrılması,
2. Her bir sınıfa ağırlık değerlerinin atanması,
3. Her bir parametreye ağırlık değerlerinin atanması,
4. Parametre haritalarının ağırlık değerlerine bağlı olarak çakıştırılması,
5. Duyarlılık sınıflarını gösteren heyelan duyarlılık haritasının hazırlanması

aşamalarını içermektedir (Soeters and Van Westen, 1996). Bu yöntemde, heyelan oluşumunda etkin olan parametreler ve ağırlık değerleri, araştırmacının bilgi ve tecrübesine dayalı olarak seçilmektedir. En büyük sınırlaması, tecrübeye dayalı olması ve dolayısıyla öznellik içermesidir. Yöntemin bir başka sınırlaması, özellikle büyük alanlarda yapılan çalışmalarda, uzun süren işlemler gerektirmesidir. Parametre haritalarının çakıştırılması yönteminin en önemli üstünlükleri, gizli kuralları azaltması, coğrafi bilgi sistemi kullanımına olanak sağlaması, güncellenebilir olması, veri yönetiminin standartlaştırılmasına olanak sağlaması ve her ölçekte kullanılabilir olmasıdır (Carrara, 1983).

Bu yöntem, 1970'li yıllardan itibaren yaygın olarak kullanılmaktadır (Stevenson, 1977; Pachauri and Pant, 1992; Anbalagan and Singh, 1996; Gupta and Anbalagan, 1997; Nagarajan et al., 2000).

3.4.1.2.2. Mantıksal analitik modeller

Mantıksal analitik modeller, yerdeğiştirme miktarının kestirilmesine yönelik yaklaşımlardır. Bu yöntem, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelere, tecrübeye dayalı olarak ağırlık değerlerinin atanması ve kesin olmayan ilişkilere dayanan modellerin önerilmesini içermektedir. Söz konusu modeller, bazı heyelanlarda yer değiştirme miktarının tahminine olanak sağlamaktadır ve sonuçlar, izleme verileri ile karşılaştırılarak modelin performansı belirlenmektedir. Sonuçlar uyumlu ise oluşturulan model, heyelanların sınıflandırılmasında kullanılmakta, değilse parametrelere atanan ağırlık değerleri değiştirilerek yeni modeller oluşturulmaktadır. Yöntemin en önemli sınırlaması, izleme verisi gerektirmesi ve büyük ölçeklerde uygulanabilir olmasıdır (Aleotti and Chowdhury, 1999). Bu yaklaşım 1990'lı yıllardan itibaren kullanılmaktadır (Bughi et al., 1996; Scarpelli et al., 1995).

3.4.2. Nicel yöntemler

Heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin seçilmesi ve parametrelere ağırlık değerlerinin atanmasında öznel olan nitel yöntemlerin sınırlamalarını aşmak için önerilen nicel yöntemler; istatistiksel analizler, deterministik yöntemler ve yapay sinir ağı yöntemlerini içermektedir.

3.4.2.1. İstatistiksel Analizler

Nicel yöntemler olan istatistiksel analizler, heyelan oluşumu ile heyelan oluşumunda etkin olan parametreler arasındaki ilişkilerin, kişisel bilgi ve tecrübe yerine veri yönetimli olarak belirlenmesini temel alan yaklaşımlardır. Heyelanların gelişmesinde etkin olan parametrelerin sistematik olarak tanımlanması, değerlendirilmesi ve standart bir veri tabanının oluşturulma aşamasının zor olması,

istatistiksel yöntemlerin en önemli sınırlamasıdır (Carrara, 1988). Bu yöntemlerin en önemli üstünlüğü, istatistiksel analizler ile yapılan değerlendirmelerde, araştırmacının parametrelere atanan ağırlık değerlerini ve son girdi parametrelerini denetleyebilmesidir. Coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımının artmasına paralel olarak, istatistiksel analiz yöntemleri ile heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik çalışmalarda da artış görülmüştür.

3.4.2.1.1. İki değişkenli istatistiksel analizler

İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemiyle heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi;

1. Çalışma alanının alt birimlere ayrılması,
2. Heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin seçimi, haritalanması ve sınıflandırılması,
3. Heyelanların haritalanması,
4. Her bir parametre haritasının heyelan envanter haritası ile karşılaştırılması,
5. Her bir parametre sınıfındaki heyelan yoğunluğunun belirlenmesi ve ağırlık değerlerinin atanması,
6. Parametrelere ağırlık değerlerinin atanması,
7. Parametre haritalarının karşılaştırılması ile sonuç haritanın üretilmesi ve tanımlanan her bir haritalama biriminin duyarlılık değerinin hesaplanması,

aşamalarından oluşmaktadır. İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi, heyelan duyarlılık değerlendirme yöntemleri arasında nicel yöntemler olarak sınıflandırılmasına rağmen parametre haritalarına ağırlık değerlerinin atanmasında öznellik içermektedir (Leroi, 1996).

İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi, tecrübeye dayalı nitel yöntemler ile veri yönetimli analizlerin bileşimini temsil etmektedir. Yöntemin en önemli üstünlüğü, uzman görüşünün kullanılmasına izin vermesidir. Bu yöntemlerde, koşullu bağımsızlık varsayımı kabul edilmektedir. Heyelanların gelişmesine neden olan parametrelerin, heyelan oluşumundaki etkisi birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmektedir. Koşullu bağımsızlık varsayımı, her zaman geçerli değildir ve bu varsayımı temel alan iki değişkenli istatistiksel analizler ile üretilen sonuçlar, her zaman gerçeği yansıtmamaktadır (Van Westen et al., 1997).

İki değişkenli istatistiksel analizlerin heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde kullanılması, ilk kez Brabb et al. (1972) tarafından önerilmiştir. Bu yöntem, günümüze kadar yaygın olarak kullanılmıştır (Hastie, 1990; Choubey et al., 1992; Mehrotra et al., 1994; Aleotti et al., 1996; Süzen and Doyuran, 2004a).

3.4.2.1.2. Çok değişkenli istatistiksel analizler

Çok değişkenli istatistiksel analizler yöntemiyle heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi;

1. Çalışma alanının alt birimlere ayrılması,
 2. Heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin tanımlanması ve parametre haritalarının oluşturulması,
 3. Heyelan envanter haritasının oluşturulması,
 4. Her alt birim içindeki heyelandan etkilenen alanların yüzdesinin bulunması,
 5. Parametre haritalarının birleştirilmesi,
 6. Çok değişkenli istatistiksel analizlerin gerçekleştirilmesi,
 7. Çok değişkenli istatistiksel analiz sonuçlarına göre heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması ve duyarlılık sınıflarının belirlenmesi,
- aşamalarından oluşmaktadır (Aleotti and Chowdhury, 1999).

Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinin en büyük sınırlaması, grid ağı kullanılarak yapılan çalışmalarda, hesaplama aşamalarının çok fazla sayıda matris içermesidir. Diğer taraftan, grid hücrelerinin ölçeği arttığında homojenlik azalmakta, veri kaybı meydana gelmekte ve belirli parametre sınıflarının atanmasında hatalar oluşmaktadır. Yöntemin en önemli üstünlüğü, veri yönetimi temeline dayanması ve dolayısıyla büyük oranda nesnel olmasıdır (Van Westen et al., 1997).

Çok değişkenli istatistiksel analizlerin heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde kullanılması çok eskiye dayanmamaktadır. İlk kez Carrara et al. (1978) tarafından önerilen çok değişkenli istatistiksel analizler ile heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi, Carrara (1983) tarafından yapılan çalışmadan sonra günümüze kadar yaygın olarak uygulanmıştır. Çok değişkenli istatistiksel analizler arasında en çok kullanılan yöntemler, ayırma analizi (Carrara, 1983; Carrara et al., 1990;

Baeza and Corominas, 1996) ve lojistik regresyon analizleridir (Jager and Wieczorek, 1994; Wieczorek et al., 1996; Atkinson and Massari, 1997; Lee and Min, 2001; Süzen and Doyuran, 2004b; Ayalew and Yamagishi, 2005).

3.4.2.2. Jeoteknik Yaklaşımlar

Şev duraysızlığı modelinin belirlenmesi temeline dayanan ve nicel yöntemler olan jeoteknik yaklaşımlar, jeoteknik parametreler ve laboratuvar deneylerinden elde edilen verileri kullanmaktadır. Jeoteknik yaklaşımlar, deterministik analizler ve olasılığa dayalı yaklaşımlar olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır.

3.4.2.2.1. Deterministik analizler

Temeli, güvenlik katsayısının hesaplanmasına dayanan deterministik yaklaşımlar, özel matematiksel modellerin uygulandığı nicel yöntemlerdir. Bu yöntemler, coğrafi bilgi sistemlerinin gelişmesine paralel olarak, heyelan duyarlılık ve tehlike değerlendirmelerinde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Güvenlik katsayısının hesaplanması için geometrik veri, makaslama dayanımı parametreleri (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) ve gözenek suyu basıncı gibi birçok parametreye gereksinim duyulmaktadır (Chowdhury, 1976; Chowdhury and Bertoldi, 1977). Bu nedenle, deterministik analizler, genellikle küçük alanlarda ve detaylı ölçeklerde yapılan çalışmalarda uygulanmaktadır. Büyük alanlarda yapılan çalışmalarda yöntemin en önemli sınırlaması, alanı temsil edecek şekilde örnekleme yapılabilmesinin çok zor olması ve jeoteknik parametreleri elde etmek için gerekli arazi çalışmaları ve laboratuvar deneylerinin yüksek maliyet ve uzun zaman almasıdır (Van Westen et al., 1997). Yöntemin en önemli üstünlüğü, yüksek derecede doğruluğa ulaşılabilmesidir.

Deterministik analizler, 1970'li yıllardan günümüze kadar özellikle, küçük alanlarda yapılan ayrıntılı değerlendirmelerde kullanılmaktadır (Wu and Kraft, 1970; Tang et al., 1976; Ward et al., 1982; Chowdhury, 1984; Berggren et al., 1992; Hammond et al., 1992, Montgomery and Dietrich, 1994; Gökçeoğlu and Aksoy, 1996).

3.4.2.2.2. Olasılığa dayalı yaklaşımlar

Geleneksel yöntemlerle güvenlik katsayısının hesaplanmasında, kohezyon, içsel sürtünme açısı ve makaslama dayanımı gibi zamana bağlı olarak değişkenlik gösteren malzeme parametrelerindeki değişimler dikkate alınmamaktadır. Son yıllarda, heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde sistematik belirsizliklerin önemi kabul edilmiştir. Zemin parametrelerinin belirlenmesini sağlayan arazi ve laboratuvar deneylerinin sayısının zaman ve maliyet açısından sınırlı sayıda kalması, deney ekipmanı ve yöntemlerinden kaynaklanan hatalar, sistematik belirsizliklerin artmasına neden olmaktadır. Bu belirsizliklerden kaynaklanan hatalar, duyarlılık değerlendirmelerinin sonuçlarına yansımaktadır. Sistematik belirsizliklerin tanımlanması, temeli jeoteknik modellere dayanan olasılığa dayalı yaklaşımların gelişmesinde etkili olmuştur. Bu yaklaşımlarda, her bir parametre, olasılık dağılımı ya da ortalama ve standart sapma değeri olmak üzere en az iki istatistiksel parametre ile temsil edilmekte ve güvenlik katsayısı ile arasındaki ilişkiler değerlendirilmektedir (Chowdhury, 1984; Nguyen and Chowdhury, 1985).

3.4.2.3. Yapay Sinir Ağı Yöntemi

Yapay sinir ağları (YSA), temelini insanlardaki merkezi sinir sisteminden alan ve birbiriyle ilişkili çok sayıda düğümden oluşan sistemlerdir. Bu sistemler, bilinen örnekler üzerinde öğrenmeyi gerçekleştirerek bilinmeyeni verecek şekilde tasarlanmışlardır. Klasik istatistiksel yöntemlerin, doğrusal koşullara bağlı olmayan problemlerin çözümünde yetersiz kalması yapay sinir ağlarının geliştirilmesine neden olmuş ve mühendislik, matematik, fizik, biyoloji ve bilgisayar bilimlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Heyelan duyarlılık ve tehlike değerlendirmelerinde, yapay sinir ağı yönteminin kullanılmasına yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Ancak, oldukça yeni ve gelişmekte olan bu yaklaşımın kullanılmasında son birkaç yılda artış olduğu gözlenmiştir (Aleotti and Chowdhury, 1999; Lee et al., 2001; Lee et al., 2003; Lee et al., 2004; Goméz and Kavzoğlu, 2005; Yeşilnacar and Topal, 2005).

Heyelan duyarlılığı ve tehlikesinin değerlendirilmesinde, yapay sinir ağı yöntemi, oldukça etkili ve umut verici bir yaklaşımdır. YSA yönteminin en önemli üstünlüğü, doğrusal olmayan fonksiyonları kullanmasıdır. Ayrıca, geleneksel istatistiksel yöntemlerin ihmal ettiği girdi verisindeki ince ayrıntıları tanımlayabilmesi, girdi verisi içinde belirli grupları genelleştirerek bilinmeyen modellerin çözümünde kullanması ve sürekli-kategorik verinin birlikte kullanılmasına yönelik sınırlama içermemesi, yöntemin diğer üstünlükleridir. YSA yönteminin en önemli sınırlaması ise yeni bir yaklaşım olması nedeniyle uygulama sayısının sınırlı olmasıdır. Ağın öğrenme aşamasında, girdi verilerine bağlı olarak ağın tasarlanmasının zor olması ve tecrübe gerektirmesi de bir diğer sınırlamasıdır (Aleotti and Chowdhury, 1999). Yapay sinir ağı yöntemi, 4. Bölüm’de ayrıntılı olarak sunulmaktadır.

Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan yöntemlerin üstünlük ve sınırlamaları, ölçek türü ve yöntemler için coğrafi bilgi sistemlerinin kullanılabilirliği, Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan yöntemlerin üstünlük ve sınırlamaları, ölçek türü ve CBS kullanımı (Aleotti and Chowdhury, 1999’dan değiştirilerek alınmıştır).

YÖNTEM	ÜSTÜNLÜK	SINIRLAMA	ÖLÇEK			CBS KULLANIMI
			K	O	B	
Jeomorfolojik Analizler	- Hızlı değerlendirmelerin yapılabilmesi	- Tamamen öznel olması - Dolaylı kuralların kullanımı	S	K	K	Sadece çizim aşamasında
İndeks Haritalarının Çakıştırılması	- Veri yönetiminin kolay olması	- Parametre sınıflarına atanan ağırlık değerlerinin öznel olması	S	K	K	İndeks haritalarının çakıştırılmasında
Mantıksal Analiz Yöntemleri	- Nitel yöntemler arasında temeli matematiğe dayanan tek yöntem olması	- İzleme (monitoring) verisi gerektirmesi	S	S	K	-

Çizelge 3.2. (Devam ediyor).

İstatistiksel Analizler	- Nesnel olması - Veri yönetiminin kolay olması	- Sistematiik veri toplama ve analizlerin zorluğu	K	K	S	Analizlerde
Deterministik Yaklaşımlar	- Nesnel olması - Detaylı jeoteknik verileri içermesi	- Alana ait detaylı bilgi gerektirmesi - Jeoteknik modellerin kullanımının tecrübe gerektirmesi - Belirsizlikleri dikkate almaması	S	S	K	Analizlerde
Olasılığa Dayalı Yaklaşım	- Belirsizlikleri dikkate alması - Nesnel olması	- Kapsamlı veri gerektirmesi - Olasılık dağılımlarının belirlenmesinin zorluğu	K	S	S	-
Yapay Zeka Yöntemleri	- Nesnel olması - Karmaşık problemlerin çözümünde etkin olması	- Uygulama eksikliği	S	K	K	Analizlerde

K: Küçük ölçek

O: Orta ölçek

B: Büyük ölçek

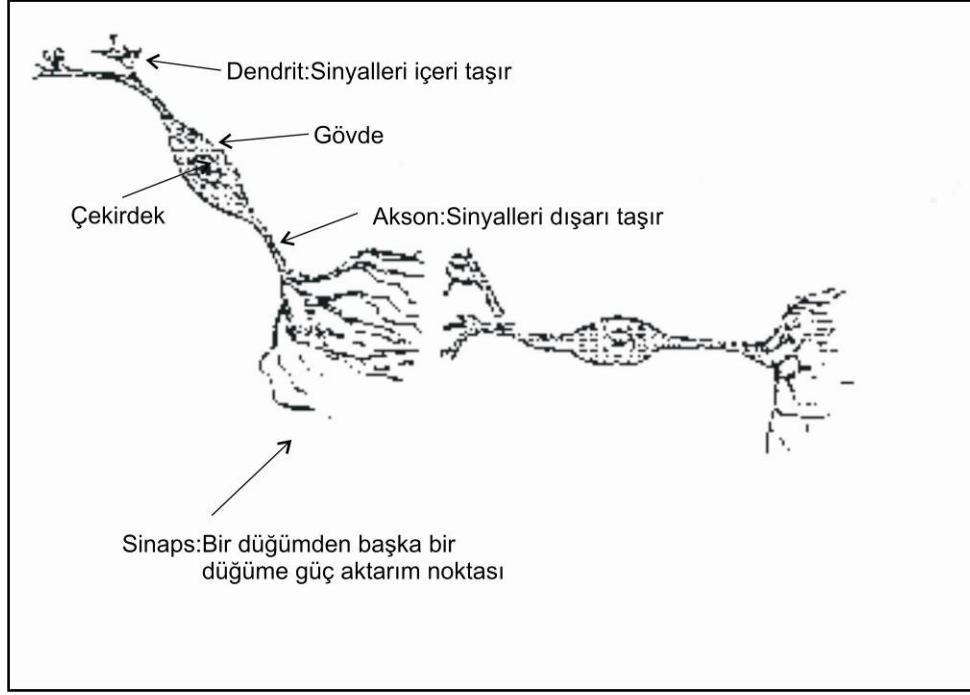
K: Kullanılabilir

S: Sınırlı kullanım

4. YAPAY SİNİR AĞI SİSTEMLERİ

İnsanlarda merkezi sinir sistemi, nöron veya düğüm olarak da adlandırılan milyonlarca biyolojik sinir hücresinden meydana gelmektedir. Düğümler, merkezi sinir sisteminin ve özellikle beynin temel ünitesini oluşturmaktadır. Değişik sistemler aracılığı ile çok geniş bir bağlantı gösteren düğümler, beyinde oldukça karmaşık bir yapıda bulunurlar. Bir sinir hücresi, genel olarak; çekirdek, gövde, dendrit, akson ve sinaps adı verilen bölümlerden oluşmaktadır (Şekil 4.1). Dendritler, giriş bilgilerini alırken, aksonlar ise çıkış bilgilerini iletmektedir. Akson ve dendritin birleşim yerine sinaps adı verilmektedir. Sinapslar, iletişim kanalı olarak görev yaparlar ve düğümlerden aldıkları sinyalleri değerlendirilerek eşik değerin üzerinde bir giriş varsa sinyali bir sonraki düğüme iletirler. Düğümler, diğer düğümlerden gelen sinyalleri alma, toplama, sinir uçlarına hareket verme, sinyalleri sinir uçlarına geçirme ve bu sinyalleri diğer düğümlere iletme özelliğine sahiptir. Biyolojik sistemlerde öğrenme, düğümler arasındaki sinaptik bağlantıların ayarlanması ile gerçekleşmektedir. İnsan beyni, sürekli bir öğrenme süreci içerisinde ve bu süreç içerisinde sinaptik bağlantılar sürekli ayarlanmakta ve yeni bağlantılar oluşturulmaktadır. Beyinde, eğitime yoluyla gerçekleşen öğrenme süreci, girdi ve çıktı verilerinin işlenmesi ve merkezi sinir sistemi içindeki bağlantıların ağırlıklarının bir yakınsama sağlanana kadar ayarlanmasıyla gerçekleştirilmektedir (Lippmann, 1987; Nelson and Illingworth, 1991).

Son yıllarda, bilgisayar teknolojisinin ve matematiksel modelleme yöntemlerinin gelişmesi ile insanlardaki merkezi sinir sisteminin bütün bu özelliklerinin temel alındığı yapay sinir ağı sistemleri (YSA) geliştirilmiş ve bir çok bilim dalında kullanılmaya başlanmıştır. YSA sistemleri, insanlardaki merkezi sinir sistemini temel alarak geliştirilen ve sinir hücrelerinin aktivitelerini ve fonksiyonlarını modellemeye yönelik sistemler olup “yapay zeka” sınıfı içinde yer alırlar. Yapay sinir ağı sistemleri, birçok düğümden meydana gelen biyolojik sistemlerin matematiksel modeli olarak da tanımlanmaktadır (Lippmann, 1987).



Şekil 4.1. İnsan beynindeki bir düğümün yapısı (Nelson and Illingworth, 1991).

4.1. Yapay Sinir Ağlarının Tarihçesi

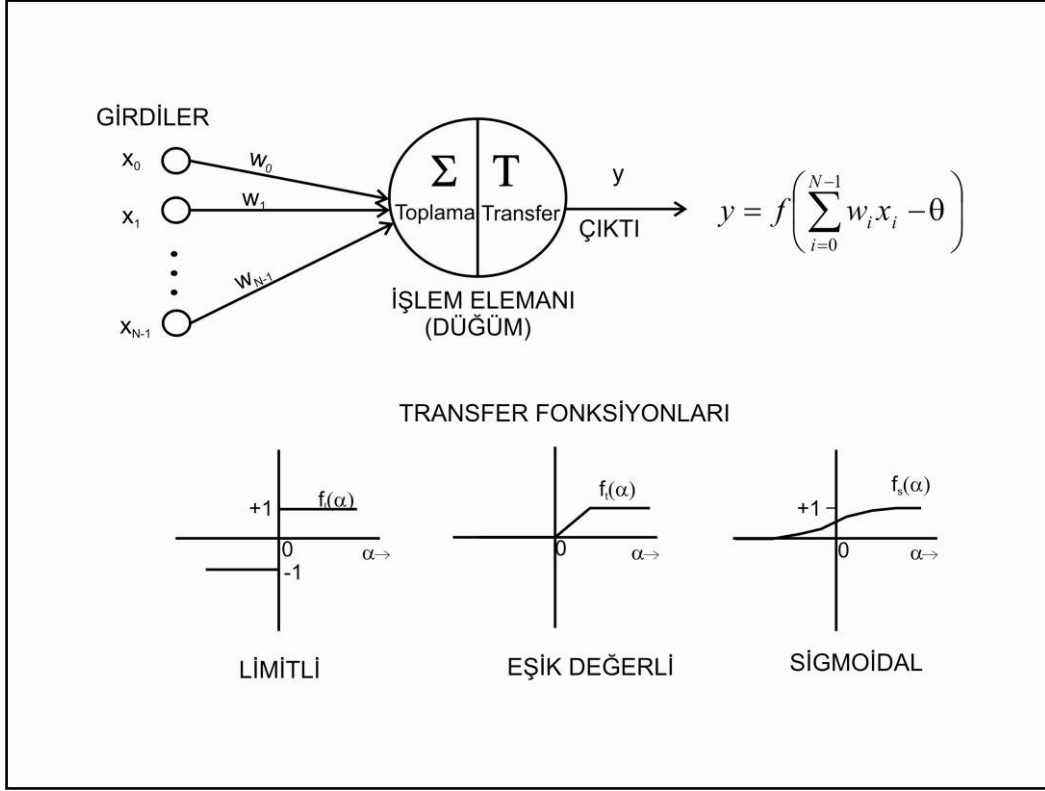
Yapay sinir ağı sistemlerinin gelişiminin başlangıcı, 1942 yılında McCulloch and Pitts (1943) tarafından gerçekleştirilen ilk hücre modeline dayanmaktadır. Araştırmacılar, biyolojik sinir hücresini temel alarak basit bir işlem elemanı oluşturmuşlar ve birkaç hücrenin bağlantısı ile bir model üretmişlerdir. Hücreler arasındaki bağlantı ağırlıklarının ayarlanması amacıyla, ilk öğrenme kuralı ise Hebb (1949) tarafından önerilmiştir. Rosenblatt (1959), Hebb (1949) tarafından önerilen öğrenme kuralını geliştirmiş ve günümüzde kullanılan öğrenme kurallarının temelini oluşturmuştur. Widrow and Hoff (1960) ve Posch (1968) tarafından yapılan çalışmalarda, yapay sinir ağlarında kullanılan matematiksel modeller geliştirilmiştir.

Hopfield (1982), Kohonen et al. (1984), Carpenter and Grossberg (1986), Hopfield and Tank (1986), Rumelhart ve McClelland (1986), Sejnowski and Rosenberg (1986), Feldman and Ballard (1982) ve Grossberg (1986) tarafından yapılan çalışmalarda, yapay sinir ağı modelleri, ağ topolojileri, algoritmaları ve öğrenme mekanizmaları geliştirilmiş ve birçok problemin çözümünde etkin bir araç olabileceği ortaya konulmuştur.

4.2. Yapay Sinir Ağı Sistemlerinin Yapısı

Biyolojik sinir sisteminin çalışma mekanizmasına benzer şekilde tasarlanan yapay sinir ağlarında, bu sistemi oluşturan elemanlardan düğüm, yapay sinir ağlarında işlemci elemanına; dendrit, toplama fonksiyonuna; hücre gövdesi, transfer fonksiyonuna; aksonlar, çıktı değerlerine ve sinapslar ağırlık değerlerine karşılık gelmektedir. Genel olarak bir YSA sistemi, birbiri ile bağlantılı çok sayıda düğümden oluşur ve bu düğümler tabakalar halinde kümelenirler. Bir düğümün belirli bir sayıda girdisi (x_i) ve her girdinin de bağlantı ağırlığı (w_i) vardır. Düğüme gelen girdiler, toplanarak doğrusal olmayan bir fonksiyondan geçerler ve bir sonraki düğüme iletilirler. Hesaplanan çıktı değeri, eldeki değerlerle karşılaştırılarak hata oranı hesaplanır. Hatanın istenilenden büyük olması durumunda geriye dönülür ve ağırlık değerleri değiştirilerek sonuçlar yeniden hesaplanır. Hata oranı, istenilen değere ulaşınca kadar tekrarlamaya (iterasyona) devam edilir. YSA'nın temelini oluşturan bir düğümün yapısı ve sistemin işleyişi, Şekil 4.2'de basitleştirilmiş olarak sunulmaktadır. Zamana bağlı değişkenlik gösteren veya daha karmaşık matematiksel işlemler gerektiren problemlerin çözümünde daha kompleks düğümler kullanılmaktadır (Lippmann, 1987).

Yapay sinir ağları, bilinen örnekler üzerinde öğrenmeyi gerçekleştirerek bilinmeyen verecek şekilde tasarlanmıştır. YSA'da en önemli aşama, işlemci elemanlarının ağırlık değerlerinin belirlendiği ağın eğitilme aşamasıdır. Başlangıçta gelişigüzel seçilen ağırlık değerleri, hesaplanan çıktı değerlerine göre yeniden ayarlanmaktadır. Doğru bağlantı ağırlıkları oluşturulana kadar bu işlem devam etmekte ve ağın öğrenme aşaması gerçekleştirilmektedir. YSA'nın öğrenme aşamasının doğru bir şekilde tamamlandığının denetlenmesi, öğrenme aşamasında sisteme verilmeyen örneklerle sorgulama yapılarak, kestirilen sonuçlar ile bilinen sonuçların karşılaştırılması ile sağlanmaktadır. YSA'da ağırlık değerlerinin belirlenmesi ve dolayısıyla öğrenme aşamasının doğru bir şekilde tamamlanmasında, yapay sinir ağı modelleri, ağ topolojileri, düğüm özellikleri ve öğrenme kuralları etkin bir rol oynamaktadır.

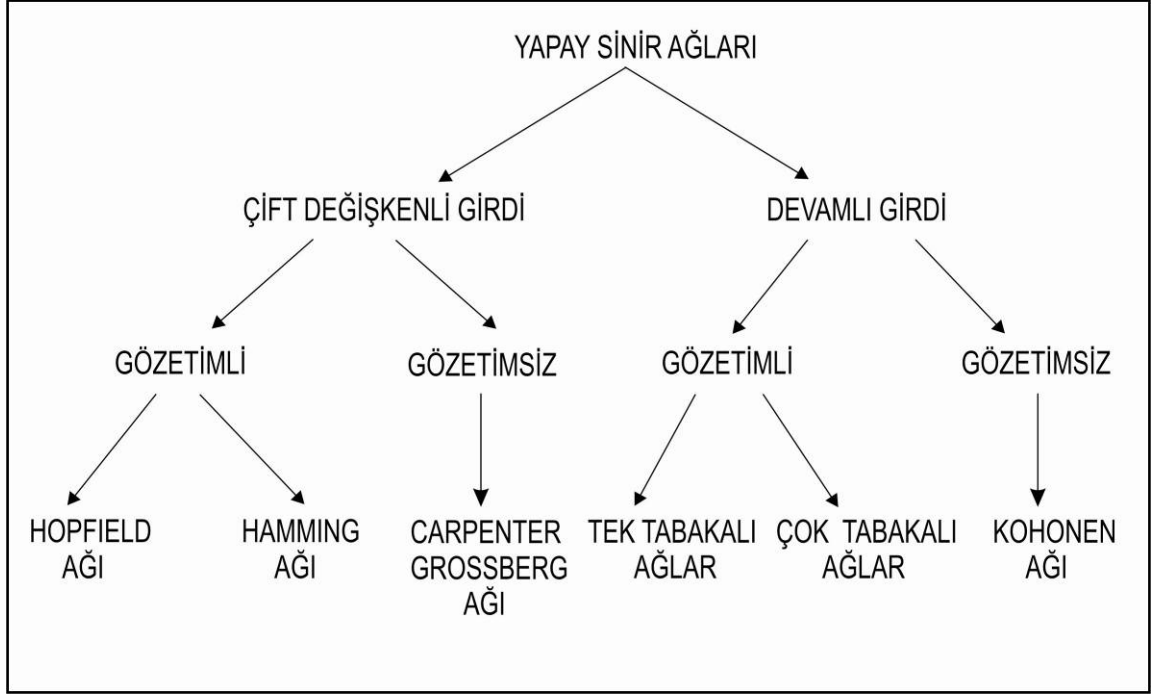


Şekil 4.2. Yapay sinir ağlarında basit bir düğümün fonksiyonel yapısı (Lippmann, 1987'den değiştirilerek alınmıştır).

Yapay sinir ağlarının öğrenme özelliği, gözetimli ve gözetimsiz öğrenme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Gözetimli öğrenmede amaç, sistem hatasını en aza indirmek olup genel olarak, sistemi düzenli olarak bilinen verilerle besleyerek ve aynı zamanda sistem parametrelerini düzenleyerek gerçekleştirilmektedir. Gözetimsiz bir öğrenme de ise sistem, yalnız eldeki verilerle beslenerek öğrenme aşaması tamamlanmaktadır (Nelson and Illingworth, 1991).

4.3. Yapay Sinir Ağı Sistemlerinin Sınıflandırılması

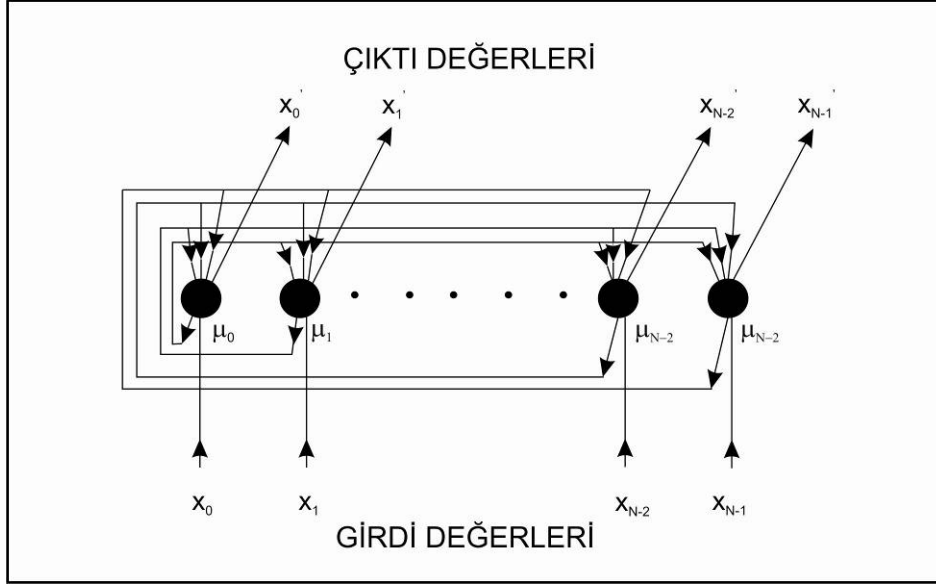
Yapay sinir ağları, Lippmann (1987) tarafından çift değişkenli girdi (sadece “0” ve “1” değerleri) ya da sürekli girdi verileri olmak üzere değişken özellikleri ve “gözetimli” ya da “gözetimsiz” olmak üzere öğrenme özellikleri dikkate alınarak sınıflandırılmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.3. Yapay sinir ağlarının sınıflandırılması (Lippmann, 1987).

4.3.1. Hopfield ağları

Hopfield ağları, genelde çift değişkenli veri kullanmakta olup çift değişkenli veriler için devamlı olan verilere göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Hopfield ağlarının kullanılmasında iki önemli sınırlama bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, veri sayısının fazla olması durumunda tanımlama ve yorumlama hataları içermesidir. Diğer sınırlaması ise kullanılan düğüm sayısının fazla olması durumunda yapay sinir ağının kararsız kalması ve çıktı değerlerini üretememesidir. Hopfield ağları, verilerin sınıflandırılması ve yeni verilerin bu sınıflara atanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 4.4'de geri beslemeli bir ağ olan Hopfield ağının çalışma mekanizması gösterilmektedir. İlk aşamada, bütün sınıflar için verilerin bağlantı ağırlıkları ve sonraki aşamada, Çizelge 4.1'de, 3. adımda gösterilen eşitlik yardımıyla çıktı değerleri hesaplanmaktadır. Hopfield ağında kullanılan sınıf sayısı, girdi sayısının 0.15 katına, bağlantı sayısı ise düğüm sayısının karesine eşittir. Bağlantı sayısının fazla olması nedeniyle işlemler, uzun zaman almaktadır.



Şekil 4.4. Hopfield ağlarının çalışma mekanizması (Lippmann, 1987).

Çizelge 4.1. Hopfield ağı algoritması (Hopfield, 1982).

1. Adım: Bağlantı ağırlıkları

$$t_{ij} = \begin{cases} \sum_{s=0}^{M-1} x_i^s x_j^s, & i \neq j \\ 0, & i = j, 0 \leq i, j \leq M-1 \end{cases}$$

t_{ij} : Bağlantı ağırlıkları

s : Sınıf sayısı

2. Adım: Sistemin başlangıcında girdinin sisteme verilmesi

$$\mu_i(0) = x_i, \quad 0 \leq i \leq N-1$$

$\mu_i(t)$ t zamanındaki i düğümünün çıktı değeri

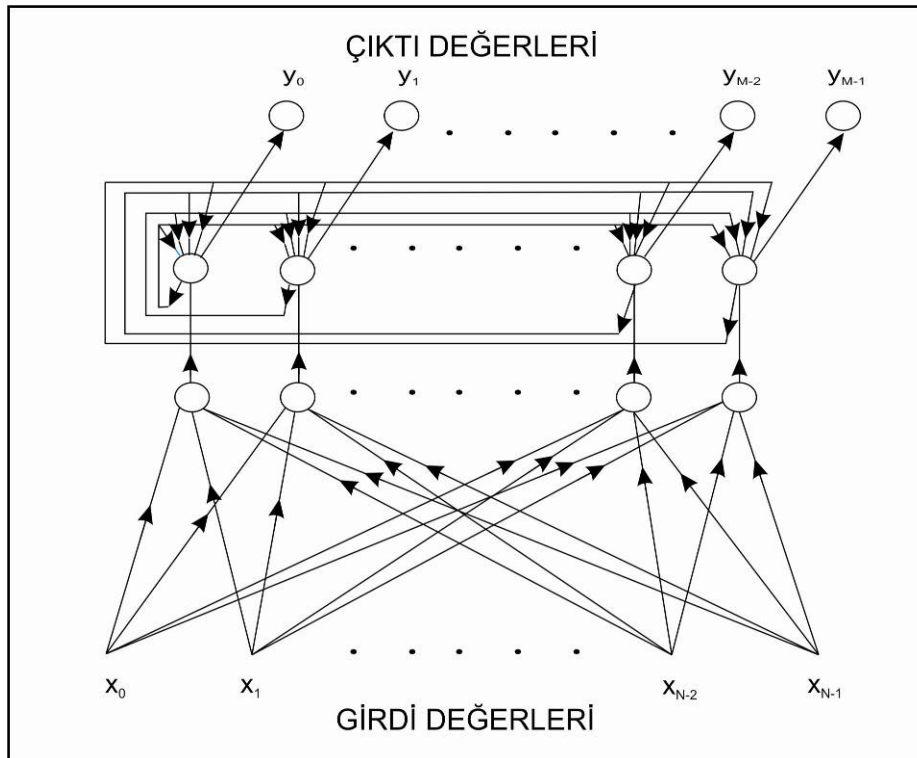
3. Adım: Yakınsanıncaya kadar tekrarlama

$$\mu_j(t+1) = f_h \left(\sum_{i=0}^{N-1} t_{ij} \mu_i(t) \right), \quad 0 \leq j \leq M-1$$

2. adıma döner.

4.3.2. Hamming ağıları

Hamming ağıları, hatayı en aza indirmek amacıyla her bir veri sınıfı için Hamming uzaklığını hesaplamakta ve en düşük Hamming uzaklığına sahip sınıfı seçmektedir. Şekil 4.5’de ileri beslemeli, çift değişkenli girdilerle en büyük olabilirlik (maximum likelihood) sınıflaması kullanan bir Hamming ağına çalışma mekanizması gösterilmektedir. Ağın alt kısmında, Hamming uzaklığı saptanmakta, ağırlık ve eşik değerler, Çizelge 4.2’de 1. adımda verilen eşitlikler ile hesaplanmaktadır. Ağın orta bölümündeki düğüm sayısı, girdi sayısı ve hamming uzaklığı arasındaki farka eşittir. Ağın üst kısmında, sonuçlar hesaplanır ve en büyük değere sahip olan düğüm seçilir. Eğer düğüm pozitifse, ağın üst kısmında sonuçlar saklanır ve ağın üst bölümünde tek bir düğüm pozitif olana kadar tekrarlamaya devam edilir. Hamming ağıları, Hopfield ağılarına göre daha az sayıda bağlantı kullanmaktadır. Hopfield ağılarında bağlantı sayısı, girdi sayısının karesine eşitken Hamming ağılarında bağlantı sayısı, girdi sayısına eşittir. Bu durum, daha fazla sayıda verinin kısa bir zamanda analizine olanak sağlamaktadır (Gold, 1986; Lippmann, 1987).



Şekil 4.5. Hamming ağına çalışma mekanizması (Lippmann, 1987).

Çizelge 4.2. Hamming ağı algoritması (Gallager, 1968).

1. Adım: Ağırlıkların belirlenmesi

Ağın alt bölümü;

$$W_{ij} = x_i^j / 2, \quad \theta_j = N/2, \quad 0 \leq i \leq N-1, \quad 0 \leq j \leq M-1$$

Ağın üst bölümü;

$$t_{kl} = \begin{cases} 1, & k = 1 \\ -e, & k \neq 1, \end{cases} \quad \varepsilon < \frac{1}{M}$$

$$0 \leq k, 1 \leq M-1$$

W_{ij} : i girdisinden j düğümüne olan bağlantı uzaklığı (ağın alt bölümü)

t_{kl} : k girdisinden l düğümüne olan bağlantı uzaklığı (ağın üst bölümü)

θ : eşik değeri

2. Adım: Sistemin başlangıcı

$$\mu_j(0) = f_t \left(\sum_{i=0}^{N-1} w_{ij} x_i - \theta_j \right)$$

$$0 \leq j \leq M-1$$

$\mu_i(t)$ t zamanındaki j düğümünün çıktı değeri

3. Adım: Yakınsanıncaya kadar tekrarlama

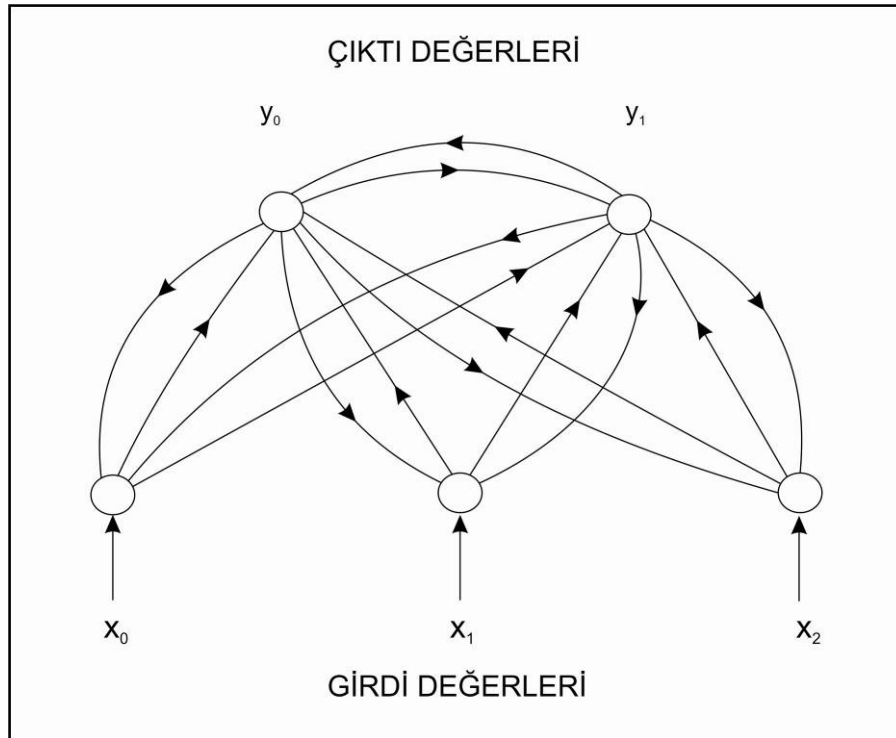
$$\mu_j(t+1) = f_t \left[\mu_j(t) - \varepsilon \sum_{k \neq j} \mu_k(t) \right] \quad 0 \leq j, k \leq M-1$$

Çıktı düğümlerinin sadece bir tanesi pozitif olana kadar tekrar edilir.

2. adıma giderek tekrarlanır.

4.3.3. Carpenter/Grossberg ağıları

Carpenter ve Grossberg (1986), kümeleme algoritması, öncül basit ardışıklama (simple sequential leader) algoritmasına benzeyen ve gözetimsiz öğrenme tekniği kullanan bir sinir ağı sistemi tasarlamışlardır. Bu algoritmaya göre birinci veri, ilk kümenin lideri olarak seçilmektedir ve bir sonraki veri, bu seçilen değer ile karşılaştırılmaktadır. Örneklerin, lider seçilen değere göre yakınlığı eşik değer altındaysa örnek aynı küme içine alınmakta, uzaksa yeni bir kümeye atanmaktadır. Bu süreç, sisteme verilen bütün girdiler için tekrarlanmakta ve dolayısıyla, küme sayısı, uzaklığa ve eşik değere bağlı olarak değişmektedir. Carpenter/Grossberg ağının yapısı, genel olarak Hamming ağılarına benzemektedir. Ağın alt bölümünde, ileri beslemeli bağlantılarla ağırlıklar hesaplanmakta ve en büyük değer seçilmektedir. Carpenter/Grossberg ağının Hamming ağından ayrılan en önemli özelliği, girdi ve çıktı düğümleri arasında, geri besleme tekniğini kullanmasıdır (Şekil 4.6). Bu ağın en önemli üstünlüğü, veri sayısının çok az olması durumunda bile öğrenme algoritmasının çok iyi bir performans göstermesi ve öğrenme aşamasını doğru bir şekilde tamamlamasıdır. Carpenter/Grossberg ağının algoritması, Çizelge 4.3'de sunulmaktadır.



Şekil 4.6. Carpenter/Grossberg ağının çalışma mekanizması (Lippmann, 1987).

Çizelge 4.3. Carpenter/Grossberg ağıının algoritması (Carpenter and Grossberg,1986).

1. Adım: Sistemin başlangıcı

$$t_{ij}(0) = 1 \text{ ve } b_{ij}(0) = 1/(1+N) \quad 0 \leq i \leq N-1, \quad 0 \leq j \leq M-1 \quad 0 \leq \rho \leq 1$$

$b_{ij}(t)$, t zamanında i ve j düğümleri arasında alt bölümde hesaplanan bağlantı ağırlıkları

$t_{ij}(t)$, üst bölümde hesaplanan bağlantı ağırlıkları

ρ , eşik değeri

2. Adım: Yeni girdinin sisteme verilmesi

3. Adım: Karşılaştırılan sonuçların (verilerin) hesaplanması

$$\mu_j = \sum_{i=0}^{N-1} b_{ij}(t)x_i, \quad 0 \leq j \leq M-1$$

i elemanının girdisi x_i , μ_j çıktı

4. Adım: En uyumlu örneğin seçilmesi

$$\mu_j = \max \{ \mu_j \}$$

5. Adım: Uyumluluk testi

$$\|x\| = \sum_{i=0}^{N-1} x_i$$

$$\|tx\| = \sum_{i=0}^{N-1} t_{ij} \cdot x_i$$

$$\frac{\|tx\|}{\|x\|} > \rho \quad \text{6. adıma gider}$$

$$\frac{\|tx\|}{\|x\|} \leq \rho \quad \text{3. adıma gider}$$

6. Adım: En uygun örneğin uyarlanması

$$t_{ij}(t+1) = t_{ij}(t)x_i$$

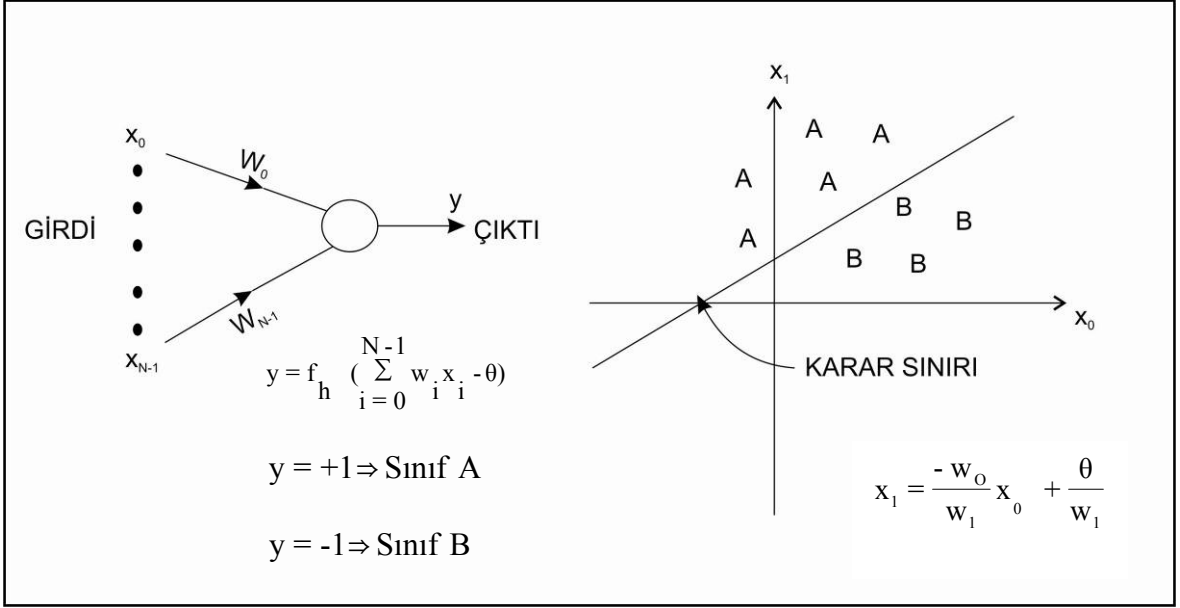
$$b_{ij}(t+1) = \frac{t_{ij}(t)x_i}{0.5 + \sum_{i=0}^{N-1} t_{ij}(t)x_i}$$

2. adıma giderek tekrarlanır.

4.3.4. Tek tabakalı ağlar

Tek tabakalı yapay sinir ağlarında bir düğümde yapılan hesaplamaların ilk aşamasında, girdiler ağırlık değerleri ile çarpılarak toplanır ve eşik değerden çıkartılır. Sonraki aşamada, bu değer doğrusal olmayan bir fonksiyondan geçerek çıkış tabakasına iletilir. Çıktı değerinin “+1” olması durumunda sonuçlar 1. sınıfta, “-1” olması durumunda ise 2. sınıfta depolanır (Şekil 4.7). Tek tabakalı ağlarda düğümler, birbirinden bir düzlemle ayrılan iki bölgeden oluşur ve düzlem sınırları, bağlantı ağırlıklarına ve eşik değere bağlı olarak değişir. İlk bağlantı ağırlıkları ve eşik değer, sıfırdan farklı gelişigüzel bir sayı seçilir. Bağlantı ağırlıkları ve eşik değer ya sabit tutulmakta ya da sistem çalışırken değiştirilmektedir. Tek tabakalı ağ algoritması Çizelge 4.4’de verilmektedir. Hesaplamalarda kullanılan η değeri, 0.0 ile 1.0 arasında değişen sabit bir oran olup öğrenme oranını kontrol etmektedir (Rosenblatt, 1959).

Tek tabakalı yapay sinir ağları, farklı gruplar arasındaki sınırların belirlenmesinde ve haritalanmasında oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Bu algoritmanın kullanımındaki en önemli sınırlama, girdilerin ayrılamaması ve veri dağılımının belirlenememesi durumunda sistemin kararsız kalmasıdır. Widrow and Hoff (1960) tarafından yapılan çalışmada, bu sınırlamanın aşılabilmesi amacıyla hata oranının hesaplanması önerilmiştir. Bilinen değerler ve YSA ile hesaplanan değerler arasındaki farkı temel alan hata oranı dikkate alınarak, YSA algoritması yeniden düzenlenmiştir. Tek tabakalı ağların, veri dağılımının şekli hakkında bir kabullenme yapmaması ve kesişimlerin olduğu dağılımlarda meydana gelen hataları dikkate alması, yöntemin üstünlüğü olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle söz konusu yöntem, klasik yöntemlere göre daha iyi sonuçlar vermektedir (Lippmann, 1987).



Şekil 4.7. Tek tabakalı ağların çalışma mekanizması (Rosenblatt, 1959).

Çizelge 4.4. Tek tabakalı ağların algoritması (Rosenblatt, 1959).

1. Adım: Sistemin başlangıcı

$W_i(0)$ ($0 \leq i \leq N-1$) ve θ gelişigüzel seçilen küçük bir değer

θ : eşik değer

$W_i(t)$: t zamanında i girdisinin ağırlığı

2. Adım: Yeni girdinin sisteme verilmesi ve istenen çıktının alınması

$(X_0, X_1, \dots, X_{n-1}) \quad d(t)$

3. Adım: Gerçek çıktının hesaplanması

$$y(t) = f_{\ln} \left(\sum_{i=0}^{N-1} W_i(t) X_i(t) - \theta \right)$$

4. Adım: Ağırlıkların uyumu

$$W_i(t+1) = W_i(t) + \eta[d(t) - y(t)] X_i(t), \quad 0 \leq i \leq N-1$$

Girdi A(+1) sınıfında ise $\Rightarrow d(t) = +1$

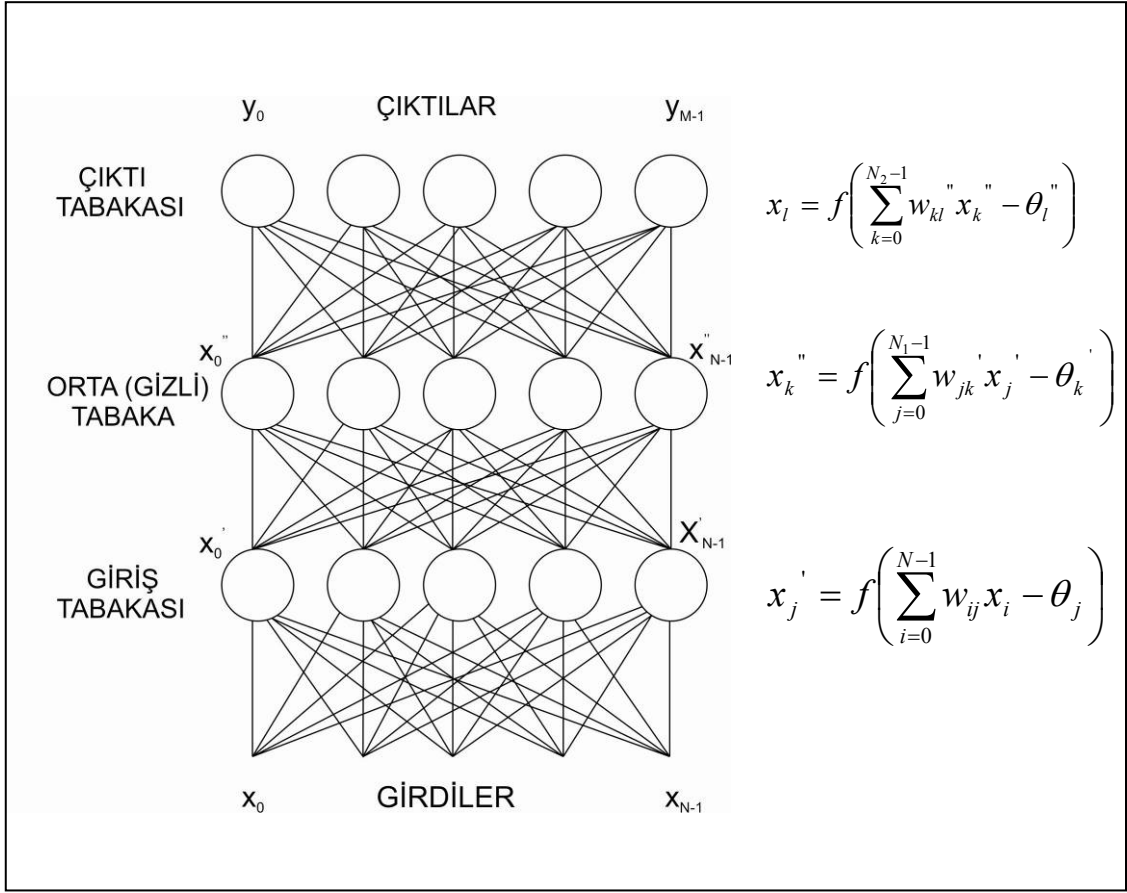
Girdi B(-1) sınıfında ise $\Rightarrow d(t) = -1$

2. adıma giderek tekrarlanır.

4.3.5. Çok tabakalı ağlar

Çok tabakalı ağlar, girdi ve çıktı tabakaları arasında bir veya daha fazla sayıda gizli tabakanın birbirine bağlanması ile oluşmaktadır. Rumelhart et al. (1986) tarafından geliştirilen bu ağlar, genellikle geri yayılım (back propagation) ve ileri besleme (feed forward) özelliğine sahip olup gözetimli (supervised) olarak eğitilen yapay sinir ağlarıdır. Bu ağlar, çıkıştan girişe doğru geriye dönerek hataları azaltma özelliğinden dolayı geri yayımlı yapay sinir ağları (GYSA) olarak isimlendirilmiştir. GYSA, çıkış tabakasında hesaplanan hata oranına bağlı olarak her bir tabakadaki ağırlıkları yeniden hesaplamaktadır. Bu ağlarda, aynı tabakada bulunan düğümler birbiriyle bağlantılı değildir. Ancak, tabakalardaki her bir düğüm bir sonraki tabakadaki düğümlerle bağlantılıdır ve bu özellik, ileri besleme özelliği olarak tanımlanmaktadır. Karmaşık verilerin sınıflandırılmasında oldukça iyi sonuçlar veren bu ağlar, günümüzde oldukça yaygın olarak kullanılan yapay sinir ağlarıdır.

Çok tabakalı yapay sinir ağları genel olarak, giriş tabakası, gizli tabaka ve çıkış tabakası olmak üzere üç tabakadan oluşmaktadır (Şekil 4.8). Girdilerin ağıya verildiği giriş tabakasındaki düğüm sayısı, veri sayısına eşittir. Girdiler, bu tabakadan ağıın temelini oluşturan gizli tabakaya aktarılır. Gizli tabakadaki düğüm sayısı, giriş tabakasındaki düğüm sayısından az olmamak koşuluyla, probleme ve kullanıcının tecrübesine dayalı olarak belirlenir. Çok tabakalı ağlarda, sisteme verilen girdiler üzerinde, giriş tabakasından çıkış tabakasına kadar hesaplamalar yapılmaktadır (Çizelge 4.5). Bu sistem, bilinen ve hesaplanan çıktılarının uzaklığının kareler ortalamasını, en aza indirgeme kuralına göre çalışmaktadır. Ağırlık ve eşik değerleri, başlangıçta gelişigüzel bir şekilde seçilir ve hesaplamalar sonucunda elde edilen değer, olması gereken çıktı değeri ile karşılaştırılır. Her iki değer arasındaki fark, hata sinyali olarak gizli tabakadaki düğümlere aktarılır ve her bir düğüm hesaplanan toplam hatanın sadece bir kısmını içerir. Bu süreç, giriş tabakasına kadar tekrarlanır ve hata sinyalleri temel alınarak bağlantı ağırlıkları yeniden düzenlenir. Sistemde, hesaplanan hata değeri kabul edilebilir bir değere gelene kadar bağlantı ağırlıkları değiştirilerek tekrarlamaya devam edilir ve böylece ağıın eğitilme aşaması tamamlanır (Lippmann, 1987).



Şekil 4.8. Çok tabakalı yapay sinir ağlarının genel yapısı (Lippmann, 1987).

Çizelge 4.5. Çok tabakalı ağların algoritması (Rumelhart et al., 1986).

1. Adım: Sistemin başlangıcı

Bütün ağırlıklar ve düğümlerin eşik değerleri gelişigüzel küçük değerler seçilir.

2. Adım: Yeni girdinin ve istenen çıktının sisteme verilmesi

$X_1, \dots, X_{n-1}$

$d_1, \dots, d_{M-1}$

3. Adım: Gerçek çıktının hesaplanması

$$x_l = f\left(\sum_{k=0}^{N_2-1} w_{kl} x_k - \theta_l\right) \quad 0 \leq l \leq M-1$$

$$x_k = f\left(\sum_{j=0}^{N_1-1} w_{jk} x_j - \theta_k\right) \quad 0 \leq k \leq N_2-2$$

$$x_j = f\left(\sum_{i=0}^{N-1} w_{ij} x_i - \theta_j\right) \quad 0 \leq j \leq N_1-1$$

4. Adım: Ağırlıkların hesaplanması

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \eta \delta_i X_i' \quad 0 \leq i \leq N-1$$

$W_{ij}(t)$, t zamanında i gizli düğümünden j düğümü arasındaki bağlantı ağırlığı

$$\delta_j = y_j(1-y_j)(d_j-y_j), \quad \delta_j = x_j'(1-x_j') \sum_k \delta_k w_{jk},$$

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta \delta_j x_i' + \alpha(w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1)), \quad 0 < \alpha < 1$$

w_{ij} : Girdi ile 1. gizli tabaka arasındaki bağlantı ağırlığı

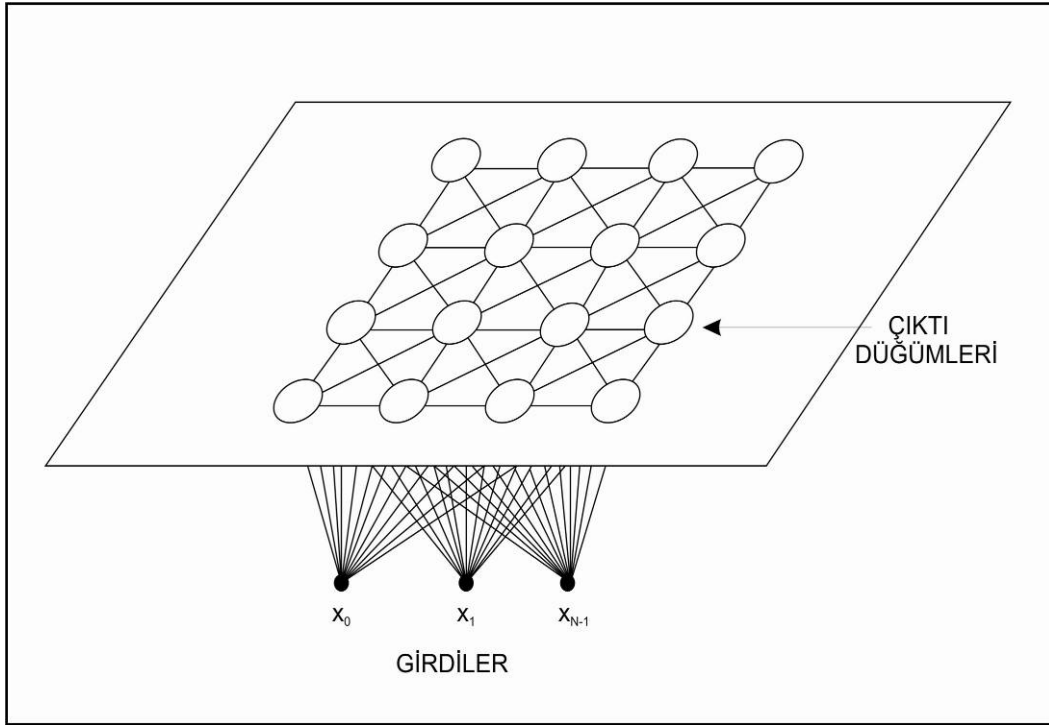
w_{ij}' : 1. gizli tabaka ve 2. gizli tabaka arasındaki bağlantı ağırlığı

w_{ij}'' : 2. gizli tabaka ile çıktı tabakası arasındaki bağlantı ağırlığı

2. adımı giderek tekrarlanır.

4.3.6. Kohonen ağıları

Kohonen ağıları, geri besleme ve gözetimsiz öğrenme özelliğine sahiptir. Bağlantı ağırlıkları, başlangıçta gelişigüzel bir sayı olarak seçilir ve ardından veriler, sisteme girilir. Her bir hücrenin birbiriyle bağlantılı olduğu bu ağlarda, bağlantı ağırlıkları, Kohonen algoritmasının ürettiği bir vektör sistemi ile hesaplanır. Kohonen ağlarının genel yapısı, Şekil 4.9'da ve algoritması, Çizelge 4.6'da sunulmaktadır. Girdiler ve bütün düğümler arasındaki bağlantılar hesaplandıktan sonra en küçük değer seçilir ve bu değere göre bağlantı ağırlıkları, yeniden ayarlanır. Bu hesaplamalar, tekrarlama sayısı arttıkça azalan hata katsayısı, sıfır olana kadar devam eder. Hata katsayısı, sıfıra eşitlendiği zaman bağlantı ağırlıkları sabitlenir ve çıktı değerleri elde edilir (Lippmann;1987).



Şekil 4.9. Kohonen ağlarının genel yapısı (Kohonen et al., 1984).

Çizelge 4.6. Kohonen ağlarının algoritması (Kohonen et al., 1984).

1. Adım: Sistemin başlangıcı

Bütün ağırlıklar ve düğümlerin eşik değerleri gelişigüzel küçük değerler seçilir.

2. Adım: Yeni girdinin sisteme verilmesi

$X_1, \dots, X_{n-1}$

$d_1, \dots, d_{M-1}$

3. Adım: Düğümlere olan uzaklıkların hesaplanması

$$d_j = \sum_{i=0}^{N-1} x_i(t) - w_{ij}(t)^2$$

$X_i(t)$: t zamanında i düğümüne girdi

$W_{ij}(t)$: t zamanında, i girdi düğümünden j çıktı düğümüne olan ağırlık

d_j : j girdi ve çıktı düğümü arasındaki uzaklık

4. Adım: En az uzaklığa sahip olan çıktıların seçimi

En küçük d_j değerine sahip j^* düğümünün seçilmesi

5. Adım: j^* düğümü ve komşu düğümlerin ağırlıklarının düzenlenmesi(geliştirilmesi)

j^* düğümünün ve bu düğümle komşu bütün düğümlerin ağırlıkları düzenlenir.

Yeni ağırlıklar:

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \eta(t) (X_i(t) - W_{ij}(t)) \quad 0 \leq i \leq N-1$$

$\eta(t)$, $0 \leq \eta(t) \leq 1$ olup zamanla azalır.

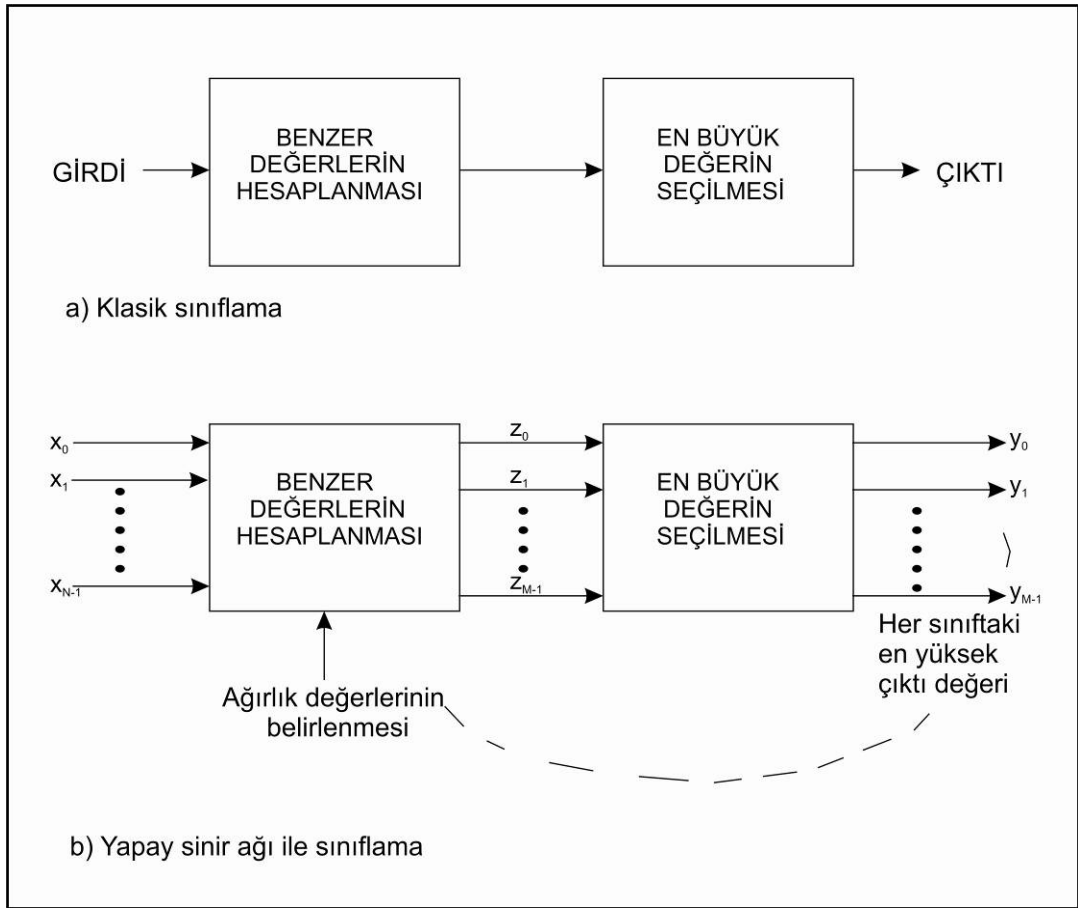
2. adıma giderek tekrarlanır.

4.4. Yapay Sinir Ağlarının Üstünlük ve Sınırlamaları

İnsanlardaki merkezi sinir sisteminin matematiksel modellemesi olan yapay sinir ağları, biyolojik sinir sisteminin üstünlüklerini de sahiptir. Yapay sinir ağlarının en önemli üstünlükleri, öğrenerek kendini geliştiren bir yöntem olması, doğrusal olmayan fonksiyonları kullanması, paralel çalışma özelliği, genelleme yeteneği ve işlem elemanlarından birinde meydana gelen hasarın, bütün sistemi etkilememesidir. Klasik istatistiksel yöntemlerle çözülemeyen bir çok problem, yapay sinir ağları ile çözülebilmektedir. Özellikle, geniş veri gruplarının yorumlanması ve karmaşık ilişkilere sahip problemlerin çözümünde YSA, oldukça iyi sonuçlar vermektedir (Hecht-Nielsen, 1987; Zurada, 1992).

Klasik ve yapay sinir ağı sistemlerinin genel yapısı, Şekil 4.3'de sunulmaktadır. Her iki tip sınıflamada da N adet girdi M adet sınıfla temsil edilmektedir. Klasik sistemlerde sınıflama işlemi, iki aşamada gerçekleştirilmekte olup ilk aşamada, her sınıf için benzer değerler hesaplanmakta, ikinci aşamada ise en büyük değere sahip sınıf seçilmektedir. YSA sınıflamalarında N adet veri, sisteme analog olarak verilmekte ve bu verilere karşılık gelen M adet düğümde hesaplamalar yapılmaktadır. Klasik sınıflama sistemlerinde girdi ve çıktılar, seri ve ardışıklı olarak hesaplanmakta ve parametreler sabit tutulmaktadır. YSA sistemlerinde ise girdi ve çıktılar paralel olup hesaplamalar da benzer şekilde paralel olarak yapılmaktadır. Parametrelerin ağırlık değerleri, çıktı değerleri ve hedef değerler arasındaki fark dikkate alınarak öğrenme sürecinde değiştirilmekte ve sınıflar belirlenmektedir.

Paralel çalışma özelliğine ve hızlı karar verme mekanizmalarına sahip olan yapay sinir ağı sistemleri, klasik yöntemlere göre daha hızlı çalışmakta ve kullanıcıya zaman kazandırmaktadır. YSA modelinde her bir işlem elemanı, kendi kendinin işlemcisi olmakta ve eş zamanlı çalışmaktadır. Seri işlem yapan sistemlerde, herhangi bir işlem elemanının hızının azalması, bütün sistemi yavaşlatmaktayken paralel bir sistemde, bir birimin hızında meydana gelen azalmanın, bütün sistem üzerindeki etkisi çok azdır. Ayrıca, seri işlem yapan bir sistemde herhangi bir birimin hatalı çalışması, sonuca ulaşılamamasına ya da hatalı sonuç alınmasına neden olurken paralel bilgi işleme yapan YSA'da, bir işlem elemanında meydana



Şekil 4.10. Klasik ve sinir ağı sistemlerinde sınıflamaların blok diyagramları.

gelen hasar, bütün sistemin performansında önemli oranda bir etkiye neden olmamaktadır. Klasik istatistiksel yöntemler, doğrusal koşullara bağlı olmayan problemlerin çözümünde yetersiz kalabilirken, doğrusal olmayan fonksiyonları kullanan yapay sinir ağları, çok karmaşık ilişkilere sahip problemlerin çözümünde bile çok etkin olmaktadır. Ayrıca, klasik istatistiksel yöntemlerin ihmal ettiği girdi verisindeki ince ayrıntıları tanımlayabilmesi ve klasik istatistiksel yöntemlerde kabul edilen varsayımların yapay sinir ağlarında geçerli olmaması, YSA'nın diğer üstünlükleridir. Yapay sinir ağlarının çok değişkenli istatistiksel analizlere göre üstünlüklerinden biri de, veri türü ile ilgili bir sınırlama içermemesidir.

Geleneksel veri işleme yöntemlerinin çoğu, programlama yolu ile hesaplama dayanmaktadır. Bunun yanında, herhangi bir problemin çözümü için probleme yönelik bir algoritmanın geliştirilmesi gerekmektedir. YSA, yapısındaki iç kuralları kendi oluşturur ve bu kuralları, hesapladıkları sonuçları dikkate alarak düzenler ve deneme ve yanılma yöntemi ile problemi nasıl çözmesi gerektiğini öğrenir.

Sınıfların birbirinden ayrılması işlemi, verilerin, öğrenme algoritması tarafından adım adım işlenmesi ile gerçekleşir. Yapay sinir ağları, girdi verisi içinde belirli grupları genelleştirerek, bilinmeyen modellerin çözümünde kullanır ve çözülecek problemler için sistemin genel yapısını değiştirmez. Ayrıca, öğrenme özelliğinin sağladığı en önemli üstünlük, eğitilmiş bir ağın eksik ve hatalı verilerle bile doğru sonuçlara ulaşabilmesidir.

Yapay sinir ağlarının üstünlüklerinin yanı sıra, bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Bu sınırlamalar, oldukça ümit verici bir araç olan yapay sinir ağı sistemlerinin yaygın ve başarılı bir şekilde kullanılmasını engellemektedir. YSA ile üretilen sonuçların her zaman doğru ve yüksek güvenilirlik oranına sahip olduğunu kabul etmek doğru bir yaklaşım değildir. Söz konusu yöntem, bazı uygulama alanlarında kabul edilemez sonuçlar üretebilmekte veya ağın eğitilmesi mümkün olamamaktadır. Klasik istatistiksel yöntemler, probleme ilişkin anlaşılabilir ve yorumlamaya olanak veren parametreler üretmesine rağmen YSA sistemleri tarafından belirlenen bağlantı ağırlıklarının yorumlanması oldukça güçtür. Bu nedenle, YSA'yla ulaşılan sonuçlarda model, siyah kutu (black box) olarak kalmaktadır.

Yapay sinir ağı sistemlerinin temeli olan ağın öğrenme aşamasının doğru bir şekilde tamamlanabilmesi için eğitim verilerinin nasıl seçileceği konusu, YSA'nın en önemli sınırlamalarından biridir. Ağın eğitilmesi için doğru ve yeterli verinin elde edilmesi, uzun zaman alabilmektedir. Fazla sayıda verinin kullanılması durumunda, doğru ve güvenilir bir kestirimin yapılabilmesinin temelini oluşturan ağın eğitilme aşaması için veri seçimi, araştırmacının tecrübesine dayanmaktadır. Ayrıca, ağın eğitilmesi aşamasında kullanılan verilerin, bütün verileri temsil eden bir nitelik taşıması durumunda, sorgulama aşamasında sisteme girdi değerleri verildikten sonra sonuç alınamamaktadır. Ağın eğitim aşamasında, sistemin ezberleme sürecine girebilmesi de yöntemin, bir diğer sınırlamasıdır. Sistemde ezberlemenin gerçekleşebilmesi, yeni verilerle sorgulama yapıldığında YSA'dan sonuç alınamamasına ya da hatalı sonuçlar alınmasına neden olabilmektedir. Son yıllarda, farklı bilim dallarında çok yaygın olarak kullanılan geri yayımlı ileri beslemeli yapay sinir ağlarında kullanılacak tabaka sayısı ve düğüm sayısının nasıl belirleneceği, eğitime başlarken ağırlık değerlerinin, öğrenme katsayısının ve

momentum değerlerinin nasıl seçilmesi gerektiği de, sistemin sınırlamaları arasındadır (Rumelhart et al., 1986; Lippmann, 1987; Baum and Haussler, 1989; Benediktsson et al., 1990; Hecht-Nielsen, 1990; Katz, 1992; Masters, 1993; Deboeck, 1994; Foody et al., 1996; Kaastra and Boyd, 1996; Paola and Schowengerdt, 1997; Zhou, 1999; Liu et al., 2003; Lee et al., 2004; Gom  z and Kavzoğlu, 2005).

5. İNCELEME ALANININ HEYELAN ENVANTERİNİN VE VERİ TABANININ OLUŞTURULMASI

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin en önemli aşaması, heyelan envanterinin ve heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelere ilişkin veri tabanının oluşturulmasıdır. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının güvenilir olmasında, elde edilen verinin miktarı ve kalitesi önemli bir rol oynamakta ve heyelan envanteri ve parametre haritalarındaki hatalar, sonuç duyarlılık haritasına yansımaktadır (Van Westen, 1994).

Heyelan envanter haritaları, heyelan oluşumuna ilişkin tarihsel kayıtlar, uydu görüntüleri, hava fotoğrafı yorumlamaları ve arazi çalışmalarına dayalı olarak oluşturulmaktadır. Heyelan envanterinin oluşturulmasında seçilen yöntem, çalışmanın amacına, ulaşılabilir veri kaynağına ve ölçeğe bağlıdır. Bölgesel ölçekli ($<1/200\ 000$) heyelan envanter haritalarının hazırlanması, literatür çalışmalarıyla elde edilen tarihsel veri kayıtları veya hava fotoğrafı yorumlamaları ile gerçekleştirilmektedir (Radbruch-Hall et al., 1982; Guzzetti et al., 1994, Guzzetti et al., 1996). Orta ölçekli envanter haritaları ($1/25\ 000$ - $1/200\ 000$), genellikle hava fotoğrafı yorumlamaları ile oluşturulmakta ve üretilen haritaların doğruluğu sınırlı arazi çalışmalarıyla kontrol edilmektedir. Büyük ölçekli envanter haritaları ($> 1/25\ 000$) ise arazi çalışmaları ya da hava fotoğrafı yorumlamaları ile birlikte geniş kapsamlı arazi çalışmalarıyla oluşturulmaktadır (Wieczorek, 1984, Brand, 1988). Söz konusu haritaların üretilmesinde, hava fotoğrafı yorumlamalarının kullanılmasının en önemli sınırlaması, yorumlamaları yapan araştırmacının tecrübesine bağlı olarak öznel olması ve haritanın güvenilirliğinin belirlenmesinin güç olmasıdır (Glade, 1998, Cruden, 1997, Ibsen and Brunsden, 1996; Guzzetti et al, 1994). Literatür, hava fotoğrafı ve uydu görüntülerine dayalı olarak elde edilen envanter ve parametre haritalarının arazi çalışmalarıyla kontrol edilmesi ve haritaların güvenilirliğinin belirlenmesi gerekmektedir (Guzzetti et al, 2000).

Heyelen envanter haritası, heyelanın lokasyonu ve özellikleri yanında heyelanın türü ve tarihine ait bilgileri de içermelidir (Hansen, 1984; Wieczorek, 1984). Literatürde, araştırmacıların aynı terminolojiyi kullanabilmeleri amacıyla, heyelanların çeşitli özellikleri (morfoloji, mekanizma, hareketin hızı, malzemenin

türü, malzeme özellikleri, yaşı vb.) dikkate alınarak önerilen bir çok sınıflama sistemi mevcuttur. Bu sınıflamalar arasında en yaygın olarak kullanılan sistem Varnes (1978) tarafından önerilen sınıflamadır. Literatürdeki en güncel sınıflama sistemi ise Varnes (1978) sınıflamasını temel alan EPOCH (1993) sınıflamasıdır.

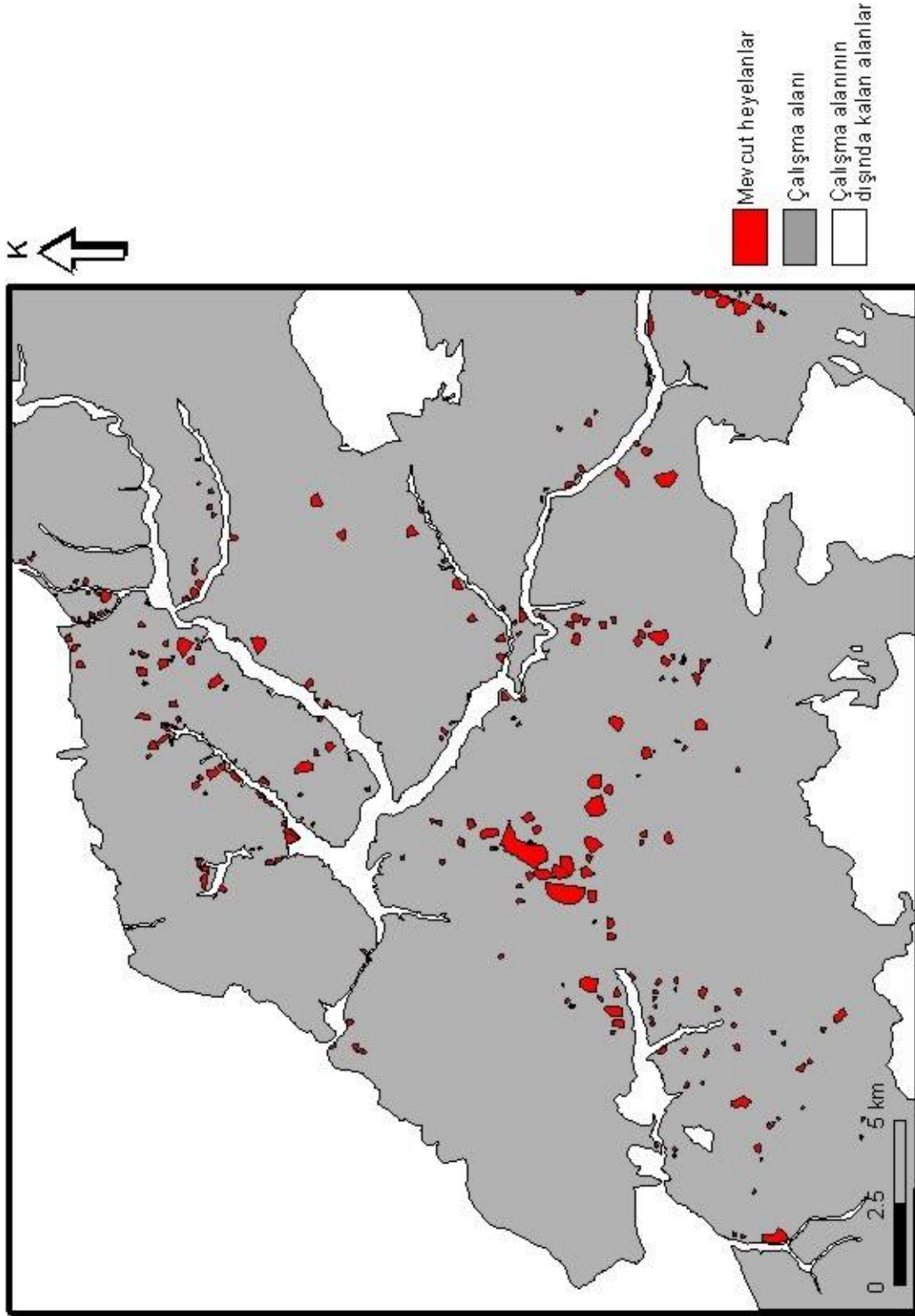
Veri tabanının oluşturulmasında dikkat edilmesi gereken bir diğer husus da verilerin aynı ölçekte ve aynı koordinat sisteminde olması ve her bir parametreye ilişkin parametre haritalarının, aynı özelliklere sahip farklı katmanlar şeklinde hazırlanmasıdır (Leroi, 1996).

5.1. Heyelan Envanterinin Oluşturulması

Doktora tez çalışması kapsamında, heyelan duyarlılığı değerlendirmeleri için analizlere temel teşkil eden heyelan envanter haritasının oluşturulması amacıyla öncelikle, MTA ve Afet İşleri Genel Müdürlüğü'nden bölgede daha önceden meydana gelmiş olan heyelan kayıtları ve ilgili haritalar temin edilmiştir. Söz konusu tarihsel veri kayıtları temel alınarak, heyelanlar yerinde incelenmiş, haritalanmış ve özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, arazi çalışmaları sırasında, bu kayıt ve raporlarda bulunmayan çok sayıda heyelan tespit edilmiştir. Çalışma alanında gerçekleştirilen arazi gözlemleri sonucunda, 3 farklı türde toplam 280 adet heyelan belirlenmiştir (Şekil 5.1). Söz konusu heyelanlar, 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalara işlenmiş ve özellikleri, heyelan envanter formlarına kaydedilmiştir.

İnceleme alanındaki heyelanlar, literatürde yaygın olarak kullanılan Varnes (1978) sınıflama sistemine göre sınıflandırılmıştır. Söz konusu sınıflama sistemi, Çizelge 5.1'de verilmektedir.

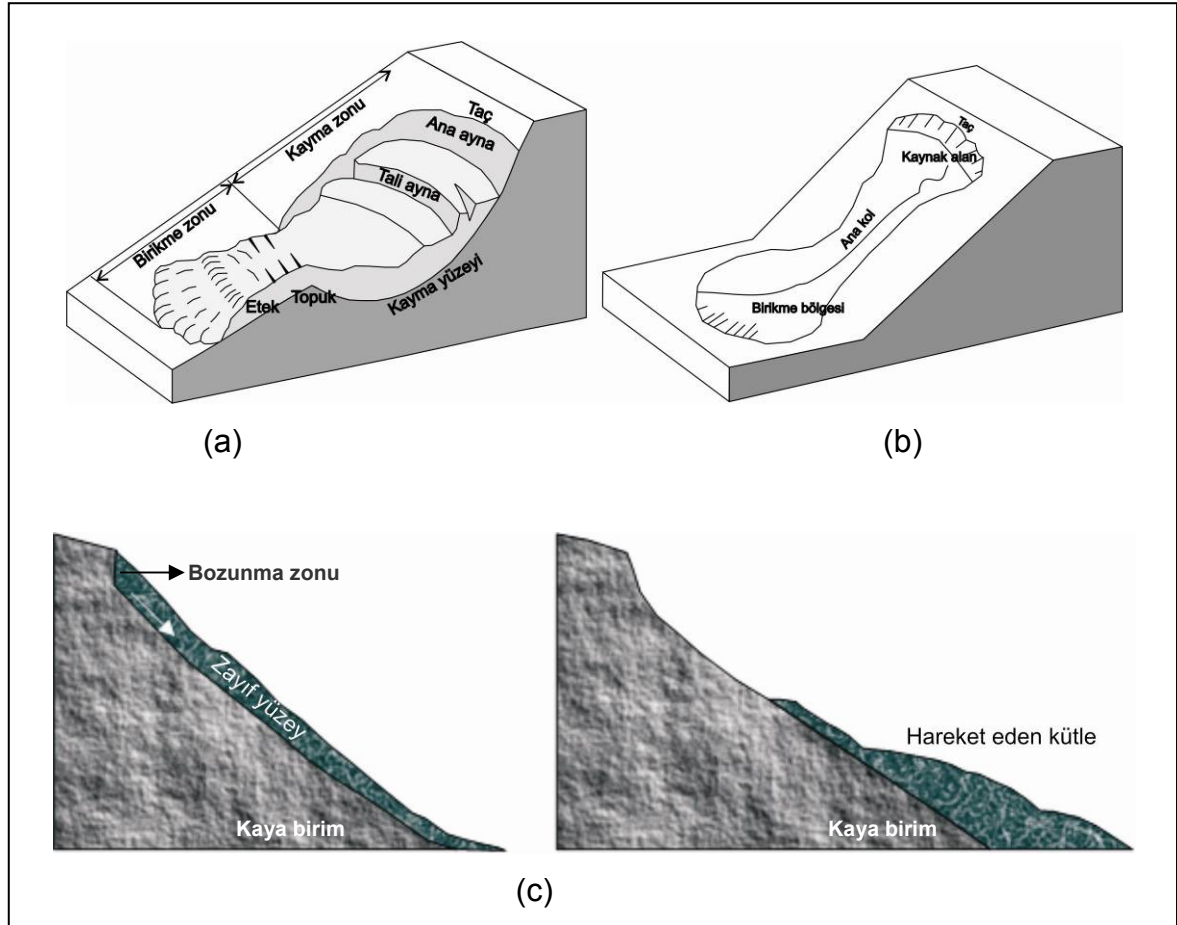
Arazi çalışmaları sırasında, inceleme alanında, Varnes (1978) sınıflamasına göre dairesel kayma, toprak akması ve toprak kayması olmak üzere 3 farklı heyelan türü belirlenmiştir. İnceleme alanında tespit edilen heyelanların; % 55'i dairesel, % 42'si toprak akması ve % 3'ü de toprak kayması türü yenilme şeklinde meydana gelmiştir. Dairesel kayma, toprak akması ve toprak kayması türündeki heyelanları temsil eden şekiller, Şekil 5.2'de sunulmaktadır.



Şekil 5.1. Çalışma alanındaki heyelanların dağılımı.

Çizelge 5.1. Varnes (1978) tarafından önerilen heyelan sınıflama sistemi.

TÜR		MALZEMENİN TÜRÜ		
		TOPRAK		KAYA
		İNCE TANELİ	İRİ TANELİ	
DÜŞME		Toprak düşmesi	Moloz düşmesi	Kaya düşmesi
DEVRİLME		Toprak devrilmesi	Moloz devrilmesi	Kaya devrilmesi
KAYMA	DÖNEL (DAİRESEL)	Toprakta dairesel kayma	Molozda dairesel kayma	Kayada dairesel kayma
	ÖTELENMELİ	Toprakta blok türü ötelenme Toprak kayması	Molozda blok türü ötelenme Moloz kayması	Kayada blok türü ötelenme Kaya ötelenmesi
YANAL YAYILMA		Toprak yayılması	Moloz yayılması	Kaya yayılması
AKMA		Toprak akması	Moloz akması	Kaya akması
KARMAŞIK KAYMALAR		İki veya daha fazla türdeki heyelanın birlikte oluşması		



Şekil 5.2. İnceleme alanında gözlenen heyelan türlerinin temsil edici şekilleri;

(a) dairesel kayma, (b) toprak akması, (c) toprak kayması.

Yapılan arazi çalışmalarında, inceleme alanındaki dairesel kaymaların, Üst Kretase yaşlı filişin bozunma ürünü olan toprak zeminlerde meydana geldiği tespit edilmiştir. Dairesel kayma türündeki heyelanlar, özellikle akarsuların yamaç topuklarını aşındırması sonucunda oluşmaktadır (Varnes, 1978). Arazi alışmaları sırasında, bu tür heyelanların çoğunun, akarsu hatlarına dik konumda meydana geldiği ve tekil kaymalar ya da topoğrafyanın devamlılığının olması durumunda, ardışık kaymalar şeklinde geliştiği tespit edilmiştir. Söz konusu heyelanların, ya aşırı yağışlardan sonra malzemenin doğgun hale geçerek, ya da akarsuların şev topuklarını aşındırıp zayıflatması ile üst kesimlerdeki malzemenin aşağıya doğru hareketine neden olarak gelişmiş olabileceği düşünülmektedir.

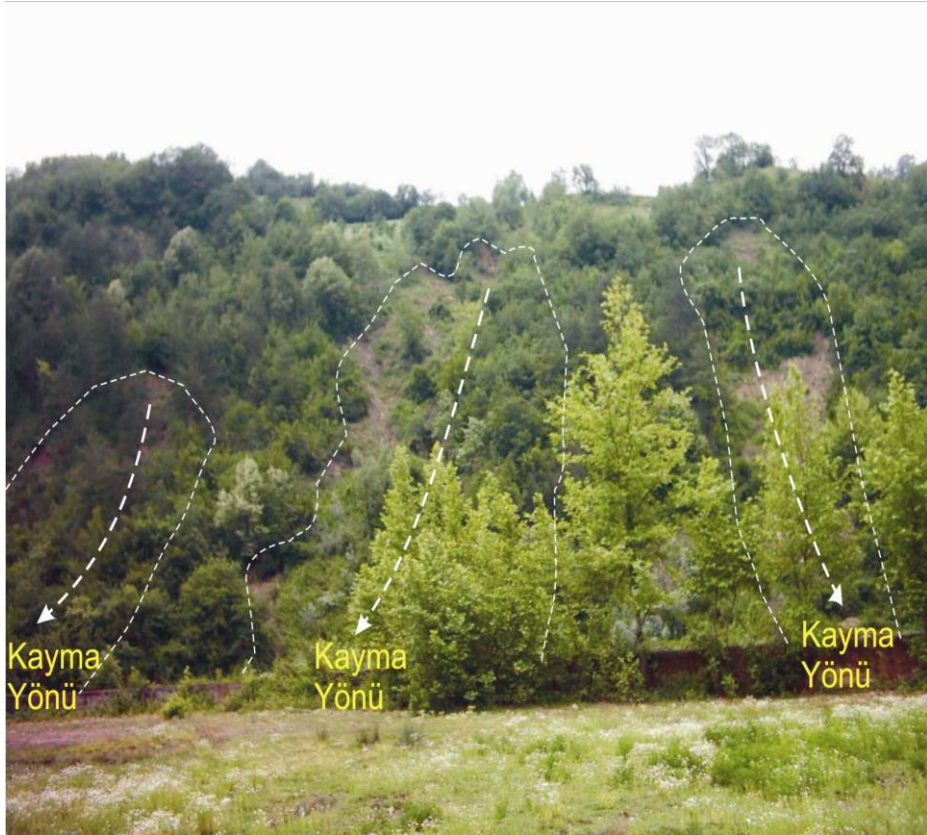
Moloz akması, çamur akması ve kuru kum akması olmak üzere üç türü olan toprak akması türündeki heyelanların meydana gelmesinde, özellikle yağışlar etken olmaktadır. Malzemenin tane boyu, su içeriği ve yamaç eğimine bağlı olarak hareketin hızı değişmektedir (Varnes, 1978). İnceleme alanındaki toprak akması türündeki heyelanların oluştukları malzeme, kil boyutundan çakıl boyutuna kadar değişmektedir. Ancak, bu tür heyelanların tamamı toprak akması şeklinde tanımlanmış ve sınıflama yapılmamıştır. İnceleme alanındaki toprak akması türündeki heyelanların, Üst Kretase yaşlı filişin bozunma ürünü olan toprak zeminlerde, toprak kalınlığının az olduğu seviyelerde geliştiği belirlenmiştir. Arazi alışmaları sırasında, bu tür heyelanlarda, su akışının mevcut olduğu gözlenmiştir. Toprak akması türündeki heyelanların, özellikle bölgede etkin olan şiddetli yağışlar sonucunda meydana geldiği düşünülmektedir.

Ana kaya üzerindeki toprak zeminin zayıf bir zon üzerinde, yamaca paralel yönde hareketi şeklinde gelişen toprak kayması türündeki heyelanlar, inceleme alanında çok nadir olarak görülmektedir. Arazi alışmaları sırasında, bu tür heyelanların; filişin bozunma ürünü olan toprak zeminlerde, toprak kalınlığının çok az ve yamaç eğiminin yüksek olduğu kesimlerde toprak zeminin, topoğrafyaya paralel olarak hareket etmesi şeklinde geliştiği tespit edilmiştir.

İnceleme alanında belirlenen dairesel kayma, toprak akması ve toprak kayması türündeki heyelanlara ait fotoğraflar, şekil 5.3, şekil 5.4 ve şekil 5.5’de sunulmaktadır.



Şekil 5.3. Çalışma alanında gözlenen dairesel kayma türündeki heyelanlara ilişkin bir örnek.

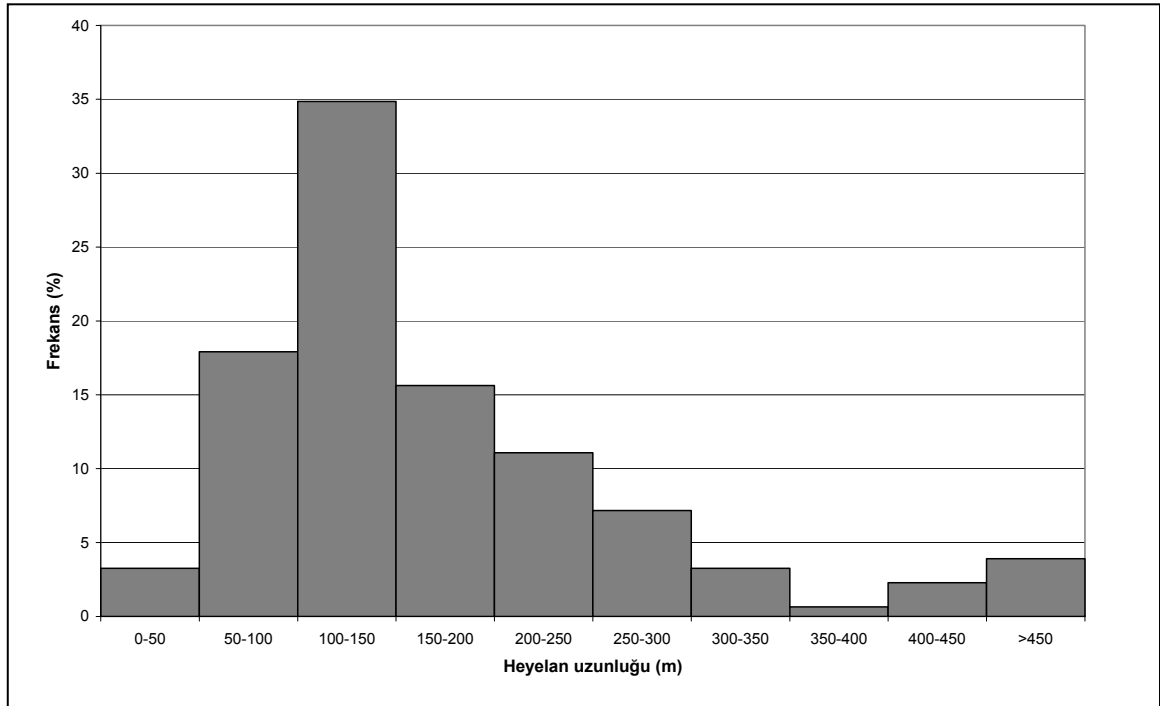


Şekil 5.4. Çalışma alanında gözlenen toprak akması türündeki heyelanlara ilişkin bir örnek.

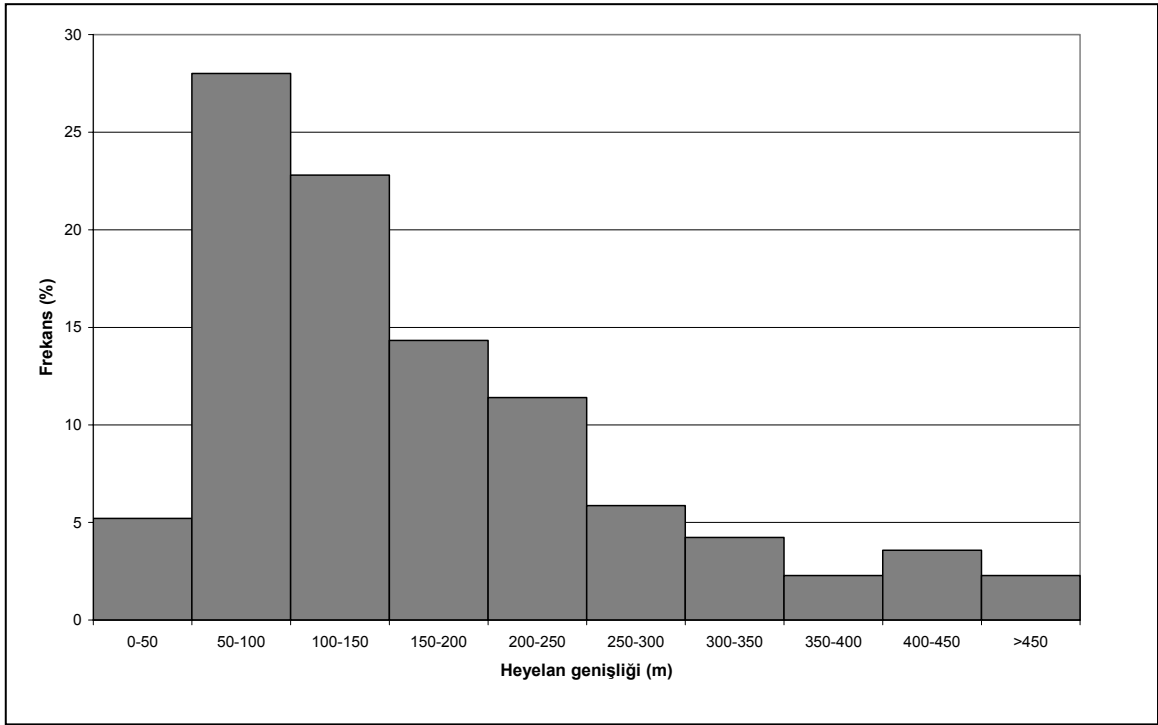


Şekil 5.5. Çalışma alanında gözlenen toprak kayması türündeki heyelanlara ilişkin bir örnek.

İnceleme alanında belirlenen heyelanların uzunluk ve genişliklerinin dağılımı, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de sunulmaktadır. Heyelanların yaklaşık % 35’i, 100-150 m arasında uzunluğa ve heyelanların % 28’i, 50-100 m arasında genişliğe sahiptir.



Şekil 5.6. Heyelan uzunluğuna göre heyelanların yüzde dağılımı.



Şekil 5.7. Heyelan genişliğine göre heyelanların yüzde dağılımı.

İnceleme alanındaki heyelanların oluştuğu yamaçların, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yamaç şekli ve bitki örtüsü yoğunluğu özellikleri arazide yapılan ölçüm ve gözlemlerle değerlendirilmiştir. Buna göre, heyelanların yaklaşık 100-900 m arasında değişen yüksekliklerde meydana geldiği ve 300-400 m yüksekliklerde heyelan yoğunluğunda bir artış olduğu saptanmıştır.

Arazi çalışmaları sırasında, heyelanların genellikle düşük eğime sahip yamaçlarda geliştiği belirlenmiştir. Heyelanların meydana geldiği yamaç eğim değerlerinin, 5^0 ile 50^0 arasında değiştiği ve 10^0 - 30^0 eğime sahip yamaçlarda, heyelan yoğunluğunda artış olduğu tespit edilmiştir. İnceleme alanında belirlenen 3 farklı heyelan türünün geliştiği yamaçların eğim açısı değerlendirildiğinde, çok nadir olarak görülen toprak kayması türündeki heyelanların, toprak akması ve dairesel kayma türündeki heyelanlara göre daha yüksek eğime sahip yamaçlarda ve dairesel kaymaların, toprak akmalarına göre daha düşük eğime sahip yamaçlarda meydana geldiği belirlenmiştir. Çalışma alanındaki heyelanlar, Üst Kretase yaşlı filişin bozunma ürünü olan toprak zeminlerde gerçekleşmektedir. Yüksek topoğrafya ve eğime sahip kesimler, filişin kireçtaşı, kumtaşı ve kıltaşı ar dalanmasından oluşan kaya kesimleri ile örtüşmektedir.

İnceleme alanında meydana gelen heyelanların geliştiği yamaçların eğim yönüne göre, heyelan yoğunluğunda belirgin bir artış tespit edilememiştir. Heyelanların, hemen hemen her eğim yönünde meydana geldiği belirlenmiştir. Arazi çalışmaları sırasında değerlendirilen diğer bir parametre de yamaç şeklidir. Heyelanların, hem içbükey hem de dışbükey yamaçlarda oluştuğu ancak, içbükey yamaçlarda gelişen heyelan sayısının, nispeten daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Bitki örtüsü yoğunluğunu değerlendirmek amacıyla, heyelanların oluştuğu yamaçlar ve çevresindeki bitki örtüsü yoğunluğu göreceli olarak; yoğun, orta, seyrek, tarım ve yerleşim alanı şeklinde gözlemsel olarak değerlendirilmiştir. Heyelanların büyük bir çoğunluğunun, özellikle dairesel kaymaların, bitki örtüsünün çok seyrek olduğu bölgelerde veya tarım alanlarında geliştiği belirlenmiştir. Ancak, arazi gözlemleri sonucunda, orta ve yoğun bitki örtüsü ile kaplı alanlarda da heyelanların geliştiği ve bu alanların farklı orman topluluklarıyla kaplı olduğu tespit edilmiştir. İnceleme alanındaki heyelanların meydana gelmesinde, bitki örtüsü yoğunluğunun yanı sıra bitki türünün de önemli olduğu düşünülmektedir.

5.2. Veri Tabanının Oluşturulması

Veri tabanının oluşturulması amacıyla, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin temelini teşkil eden heyelan envanter haritası ve heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelere ait haritalar, 25*25 m'lik grid ağı sisteminde oluşturulmuştur. Söz konusu haritalar, 951340 adet piksel içermektedir. Öncelikle, arazi çalışmaları sırasında 1/25 000 ölçekli topoğrafik haritalara işlenen heyelanlar sayısallaştırılarak, heyelanlı piksellere “1”, heyelan olmayan piksellere “0” değeri atanmış ve sayısal heyelan envanter haritası oluşturulmuştur.

Heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelere ait sayısal veri tabanının oluşturulması amacıyla ilgili kurum ve kuruluşlardan, söz konusu parametrelere ilişkin veriler temin edilmiş ve sayısal olmayan veriler sayısallaştırılmıştır.

Heyelan oluşumunda etkin olan jeolojik parametrelerin elde edilmesi amacıyla inceleme alanının 1/25.000 ölçekli sayısal jeoloji haritası, MTA Genel

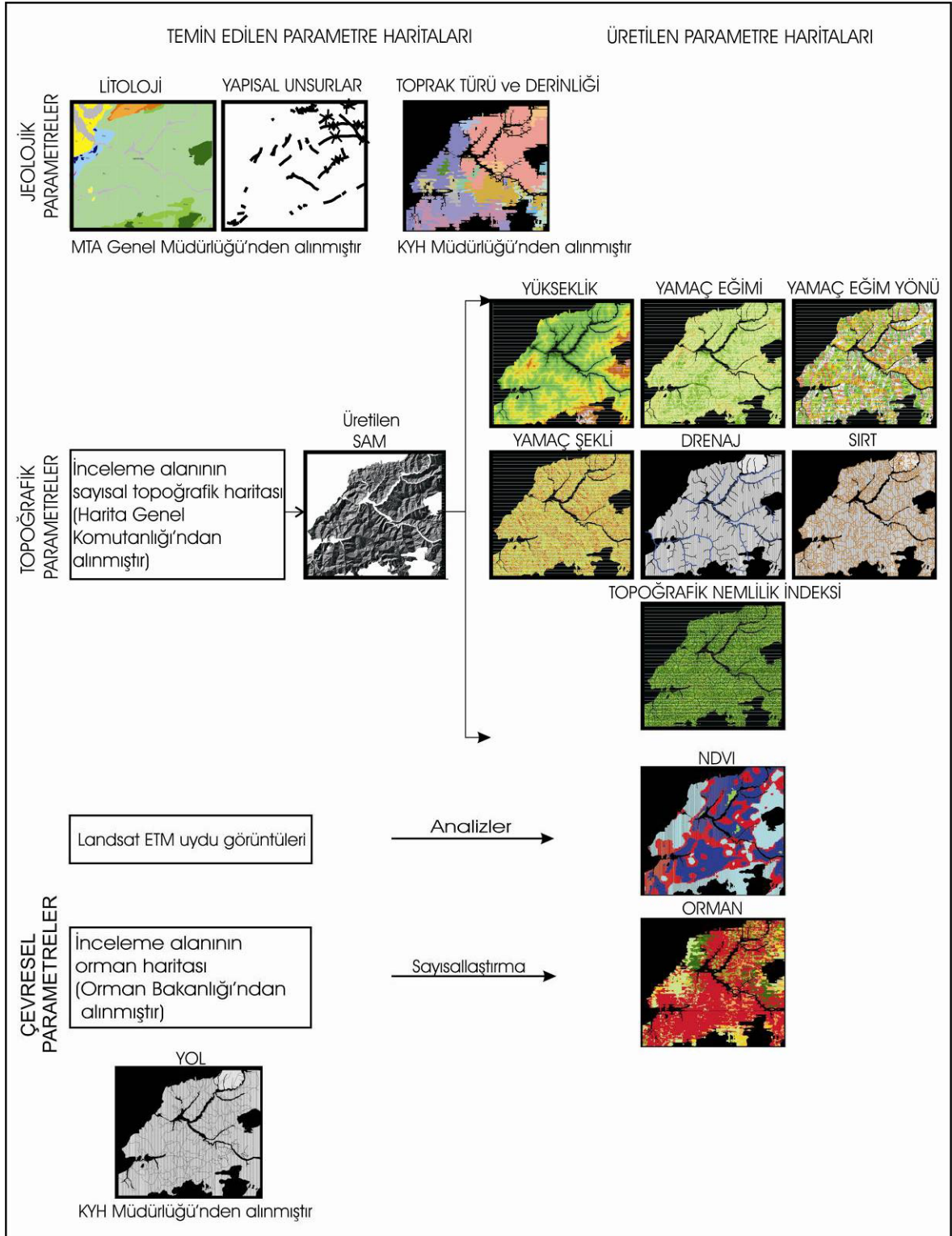
Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Topoğrafik parametrelerin elde edilmesi amacıyla çalışma alanının 1/25.000 ölçekli sayısal topoğrafik haritaları, Harita Genel Komutanlığı'ndan alınmıştır. Heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelerden; yükseklik, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yamaç şekli, drenaj ağı ve topoğrafik nemlilik indeksi haritaları, sayısal arazi modeli kullanılarak üretilmiştir.

Heyelan oluşumunda etkin olan çevresel parametrelerden biri olan bitki örtüsü yoğunluğunun, heyelan oluşumu üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla, Landsat ETM uydu görüntüleri kullanılarak bitki örtüsü yoğunluğu haritası oluşturulmuştur. Ayrıca, bitki türünün etkisini değerlendirebilmek için inceleme alanının 1/25.000 ölçekli orman haritaları, Orman Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiş ve bu çalışma kapsamında sayısallaştırılmıştır. Sayısallaştırma aşamasında, bitki türü, gelişme çağı ve kapalılık oranı dikkate alınmıştır. Çevresel faktörlerden bir diğeri de yol yoğunluğu veya yollara yakınlık parametresidir. Bu parametrenin heyelan oluşumu üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla çalışma alanının sayısal yol haritası, Ankara İl Özel İdaresi Köye Yönelik Hizmetler Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Çalışma alanındaki toprak ve kaya zeminlerin ayırtlanması, uydu görüntülerinden yararlanılarak sağlanmaya çalışılmış, ancak inceleme alanının bazı kesimlerinde, bitki örtüsünün yoğun olması ve temin edilebilen uydu görüntülerinin çözünürlüğünün yetersiz kalması nedeniyle sağlıklı sonuçlar elde edilememiştir. Ancak, toprak ve kaya zeminlerin yayılımı, toprak türü ve derinliği bilgilerini içeren, inceleme alanının 1/25.000 ölçekli sayısal toprak haritası, Ankara İl Özel İdaresi Köye Yönelik Hizmetler Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.

Heyelan oluşumunda etkin olan önemli parametrelerden biri olan yeraltısuyu, sondaj yapma imkanı sağlanamaması ve sağlıklı yeraltısuyu verilerine ulaşılamaması nedeniyle bu çalışma kapsamında değerlendirilememiştir.

İlgili kurum ve kuruluşlardan temin edilen ve bu çalışma kapsamında oluşturulan, heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen parametrelere ait haritalar, Şekil 5.8'de sunulmaktadır.



6. İNCELEME ALANININ HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ ÜRETİLMESİNDE KULLANILAN PARAMETRELER

Doktora tez çalışması kapsamında, inceleme alanındaki heyelanların gelişmesinde etkin olduğu düşünülen ve heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde literatürde kullanılan; yükseklik, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yamaç şekli, drenaja ve sırtlara yakınlık, topoğrafik nemlilik indeksi, faylara yakınlık, süreksizlik-yamaç ilişkisi, toprak türü ve derinliği, bitki örtüsü yoğunluğu indeksi (NDVI), bitki türü ve yollara yakınlık parametreleri ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, topoğrafik parametrelerin elde edilmesinde ve analizlerde, ArcGIS 9 ve TauDEM 3.1 programları kullanılmıştır.

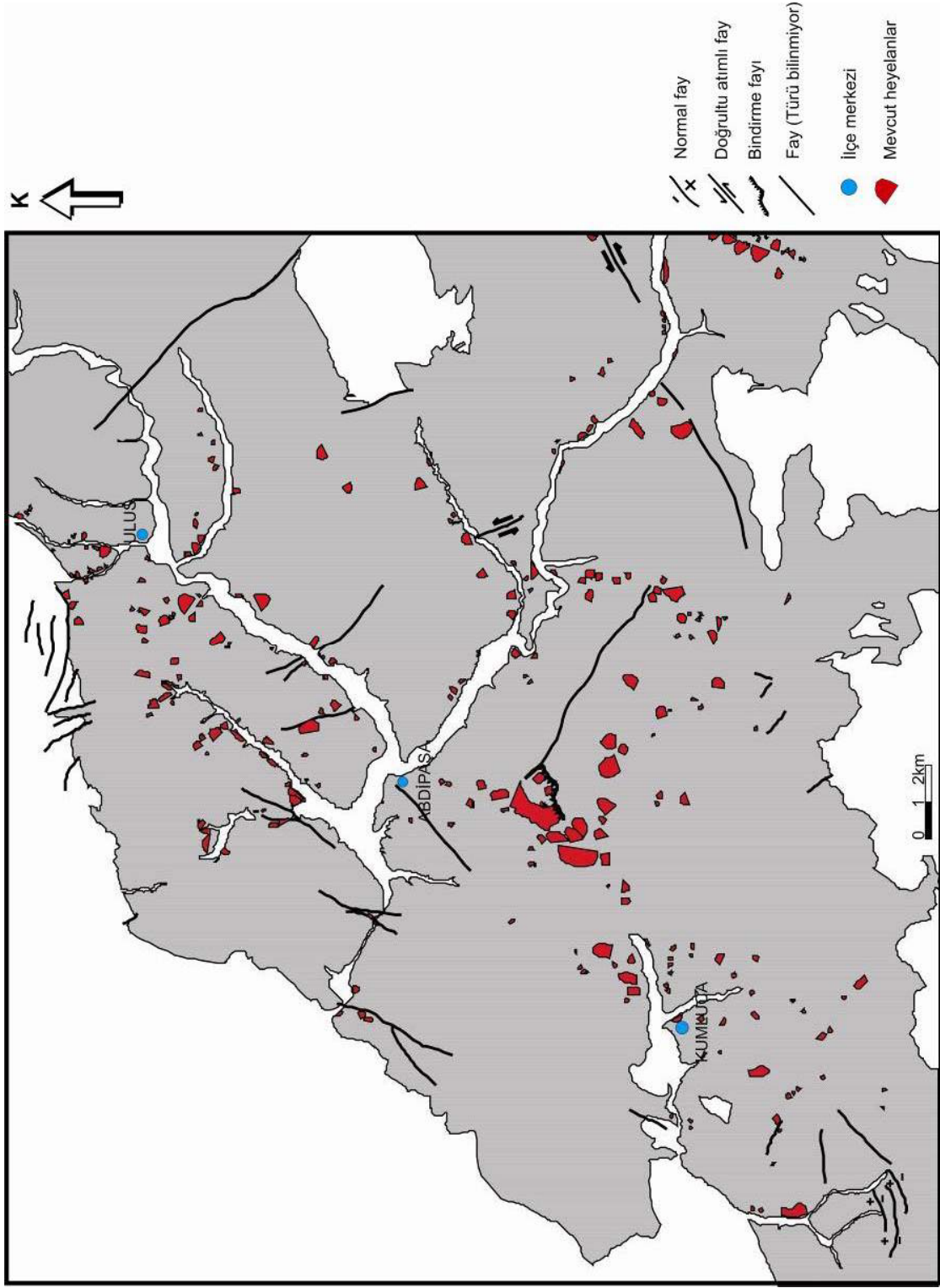
İnceleme alanındaki heyelan lokasyonlarının dağılımı incelendiğinde, heyelanların Üst Kretase yaşlı Ulus formasyonu içerisinde geliştiği gözlenmektedir. Bu nedenle, inceleme alanının sınırı, heyelanların içinde geliştiği Ulus formasyonuna bağlı olarak belirlenmiştir. Farklı litolojilere sahip alanların, heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde kullanılan parametrelerin özelliklerini etkileyerek duyarlılık analizlerinde yanlış değerlendirmelere neden olabileceği düşünülerek farklı litolojilere sahip alanlar, inceleme alanına dahil edilmemiş ve böylece inceleme alanındaki litoloji etkisi sabit tutulmuştur.

6.1. Faylara Yakınlık

Heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerden biri olan faylara yakınlık parametresi, heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde, literatürde yaygın olarak kullanılmaktadır (Choubey and Litoria, 1990; Gupta and Joshi, 1990; Choubey et al., 1991; Mehrotra et al., 1991; Pachauri and Pant, 1992; Gökçeoğlu and Aksoy, 1996; Binaghi et al., 1998; Uromeihy and MahdaviFar, 2000; Lee et al., 2001; Temesgen et al., 2001; Lan et al., 2004; Liu et al., 2004; Süzen and Doyuran, 2004a ve Yeşilnacar and Topal, 2005). Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde bu parametrenin kullanılması; fayların, kayaçların parçalanmasına neden olabileceği ve faylara yakın olan alanlarda malzemenin dayanımının azalarak, heyelan duyarlılığının artabileceği temeline dayanmaktadır.

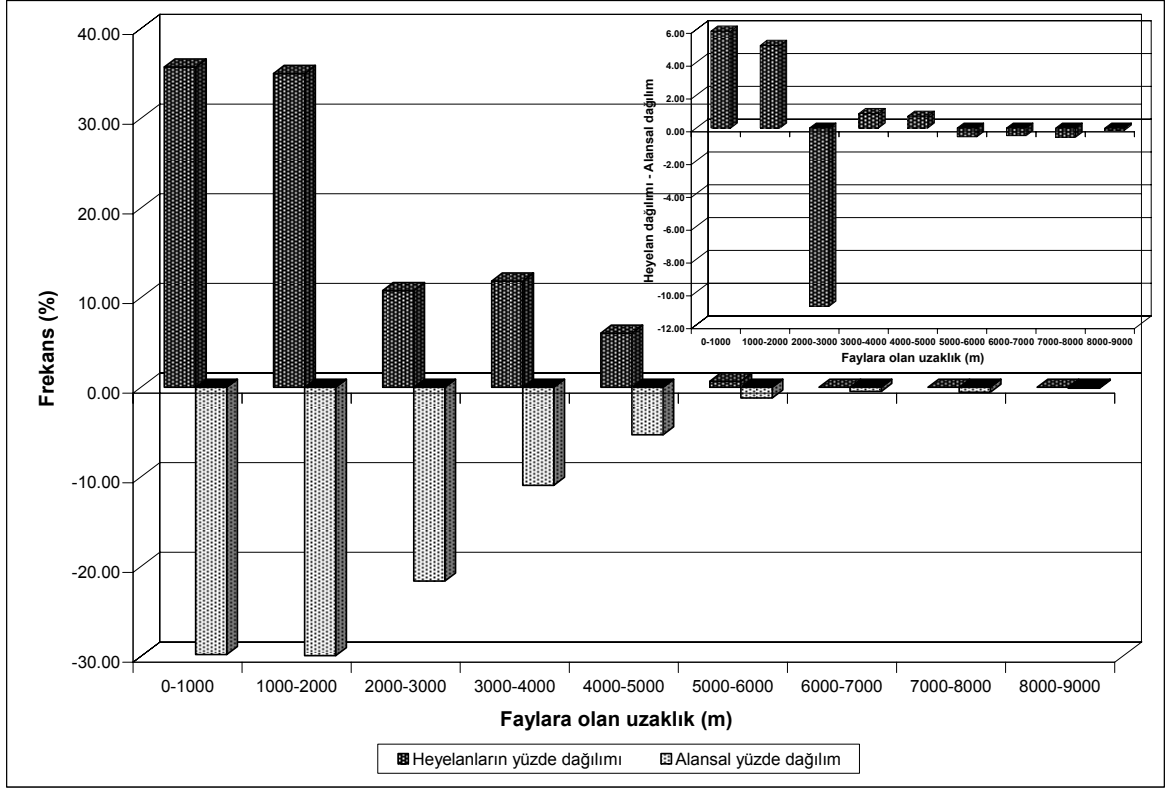
Gupta and Joshi (1990) tarafından yapılan çalışmada, heyelanların fay zonuna olan uzaklıkları 0-8 km arasında eşit mesafelerde 8 grup altında sınıflandırılmış ve bu sınıf aralıklarındaki heyelan dağılımı belirlenmiştir. Heyelanların % 33'ünün fay zonuna 1 km ve % 80'inin 3 km'den yakın alanlarda meydana geldiği saptanmıştır. Mehrotra et al. (1991), aktif fay zonuna 5 km'den yakın, 5-10 km ve 10 km'den uzak alanlar için yaptıkları sınıflamada, bu sınıf aralıklarındaki heyelan oranlarını hesaplamışlar ve heyelanların % 48'inin aktif fay zonuna 5 km'den yakın alanlarda meydana geldiğini belirlemişlerdir. Pachauri and Pant (1992) tarafından yapılan çalışmada, aktif faya olan uzaklıklar; 2, 4, 6, 8 ve 8 km'den uzak alanlar için 5 grup altında sınıflandırılarak her sınıfa, heyelan duyarlılığı açısından 1 ile 5 arasında değişen puanlar atanmıştır. Heyelanların yaklaşık % 57'sinin aktif faya 2 km veya daha yakın mesafelerde olduğu tespit edilmiştir. Gökçeoğlu and Aksoy (1996), Kuzey Anadolu Fayı'na yaklaşık 10 km uzaklıkta bulunan bir bölgede, heyelanların yaklaşık % 88'inin fay zonuna 250 m'den daha yakın mesafedeki alanlarda olduğunu saptamışlardır. Luzi and Pergalani (1999), diğer araştırmacılardan farklı olarak faylara olan uzaklıkları; 0, 50, 150, 300, 500 m ve 500 m'den uzak alanlar olmak üzere eşit olmayan aralıklarda sınıflandırarak zonlama yapmışlar ve bu aralıklardaki heyelan dağılımını dikkate almışlardır. Söz konusu sınıflandırmanın eşit olmayan aralıklarda yapıldığı bir başka çalışma da, Uromeihy and Mahdavi (2000) tarafından gerçekleştirilmiştir. Faylara olan uzaklıklar 2, 4, 7, 10 ve 10 km'den büyük uzaklıklar temel alınarak 5 grup altında sınıflandırılmış ve heyelanların yaklaşık % 16'sının faylara 2 km'den yakın alanlarda, % 47'sinin ise 10 km'den uzak alanlarda meydana geldiği belirlenmiştir. Temesgen et al. (2001), heyelanların yaklaşık % 45'inin fay ve diğer yapısal unsurlara 500 m'den daha yakın alanlarda meydana geldiğini saptamışlar ve 0.5, 1, 1.5 ve 2 km için zonlama yaparak, bu zonlara heyelan duyarlılığı açısından göreceli olarak puanlar atmışlardır. Liu et al. (2004) tarafından yapılan çalışmada da, heyelanların faylara 250 m'den yakın alanlarda yoğunlaştığı tespit edilerek bu değere göre zonlama yapılmış ve zonlamanın içinde kalan alanlar, heyelan duyarlılığı açısından göreceli olarak yüksek, dışında kalan alanlar ise düşük olarak tanımlanmıştır.

Doktora tez çalışmasında, heyelan oluşumu ile faylara olan yakınlık arasındaki ilişkinin araştırılması amacıyla, öncelikle çalışma alanının heyelan envanter haritası ile fay haritası karşılaştırılmış (Şekil 6.1) ve heyelan envanter haritasında, "1"



Şekil 6.1. İnceleme alanındaki faylar ve heyelanların dağılımı.

değeri atanan heyelanlı piksellerin en yakın faya olan uzaklıkları hesaplanmıştır. Buna göre, inceleme alanındaki heyelanların yaklaşık % 70'inin faylara 2 km ve daha yakın alanlarda meydana geldiği saptanmıştır. Faylara 2 km'den yakın alanlar, inceleme alanının yaklaşık % 60'ını oluşturmaktadır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. Faylara olan uzaklığa göre heyelanların dağılımı ve alansal dağılım.

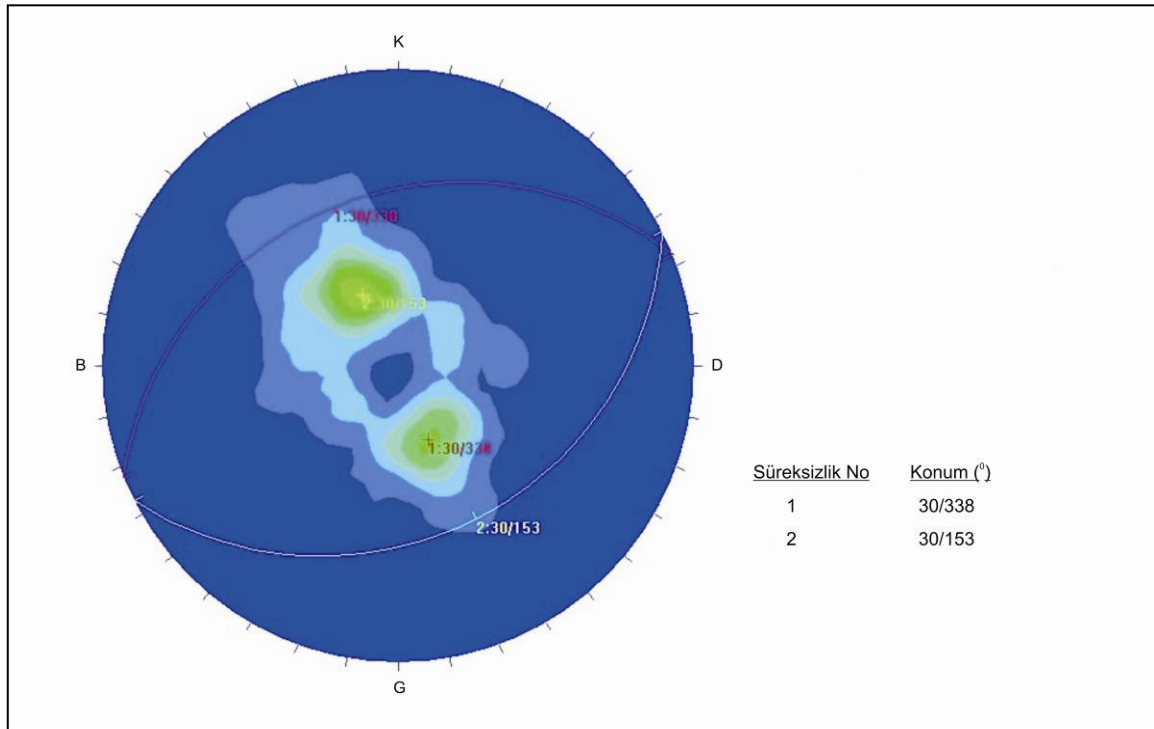
6.2. Tabakaların Yamaçlarla İlişkisi

Literatürde, heyelan duyarlılığı değerlendirmelerine yönelik çalışmalarda, süreksizlik yoğunluğu ve süreksizliklerin yamaç yönelimleri ile açısallık ve geometrik ilişkileri, heyelan oluşumunda etkin olan bir parametre olarak dikkate alınmaktadır. Çizgisellik olarak nitelendirilen fay, tabakalanma, vb. süreksizlikler; hava fotoğrafı, uydu görüntüleri ve arazi çalışmalarıyla belirlenmektedir. Pachauri and Pant (1992), haritalama birimi içindeki yamaçlarla aynı yönetime sahip çizgiselliklerin yoğunluklarını hesaplayarak, heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde kullanmışlardır. Zayıflık düzlemleri olan çizgiselliklerin yoğun olduğu alanların, heyelan oluşumuna daha duyarlı olduğunu saptamışlardır. Nagarajan et al. (2000); çalışma alanında, çizgiselliklerden itibaren 3-5 m'lik zonda kayaçlarda parçalanma

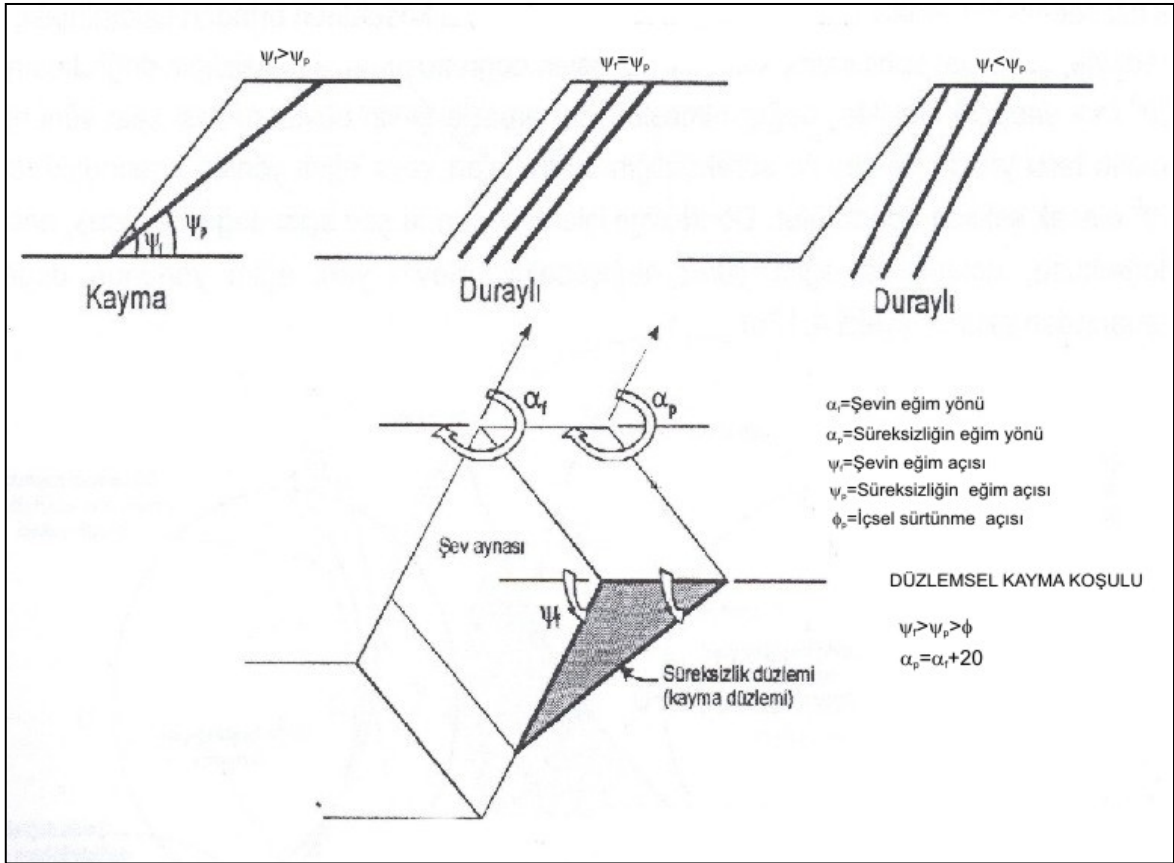
meydana geldiğini ve malzemenin dayanımının azalması nedeniyle bu zonlarda, heyelan yoğunluğunda önemli oranda artış olduğunu belirlemişlerdir. Süreksizliklerin, heyelan duyarlılığı üzerindeki etkisinin araştırılmasında kullanılan bir yaklaşım da süreksizlik ile yamaç arasındaki açısal ilişkilere dayalı olarak kayma koşulunu sağlayan alanların belirlenmesidir (Chang, 1991; Anbalagan, 1992; Clerici et al., 2002).

Bu çalışmada, inceleme alanında düzlemsel kayma ve sığ ötelenmeli kaymaların oluşması için kinematik anlamda gerekli koşulları sağlayan alanların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Ulus formasyonundaki kaya zeminlerde arazide ölçülen ve MTA'dan alınan toplam 742 adet tabaka konumu, DIPS programı ile değerlendirilmiştir. Çalışma alanında, 30/153 ve 30/338 olmak üzere hakim olan iki adet tabaka konumu belirlenmiştir (Şekil 6.3).

Düzlemsel kaymanın kinematik anlamda gerçekleşebilmesi için şevin doğrultusu ile süreksizliğin doğrultusu arasındaki farkın, 20^0 'den az olması; şevin eğim açısının, süreksizliğin eğim açısından büyük ve içsel sürtünme açısının süreksizliğin eğim açısından küçük olması gerekmektedir (Şekil 6.4).



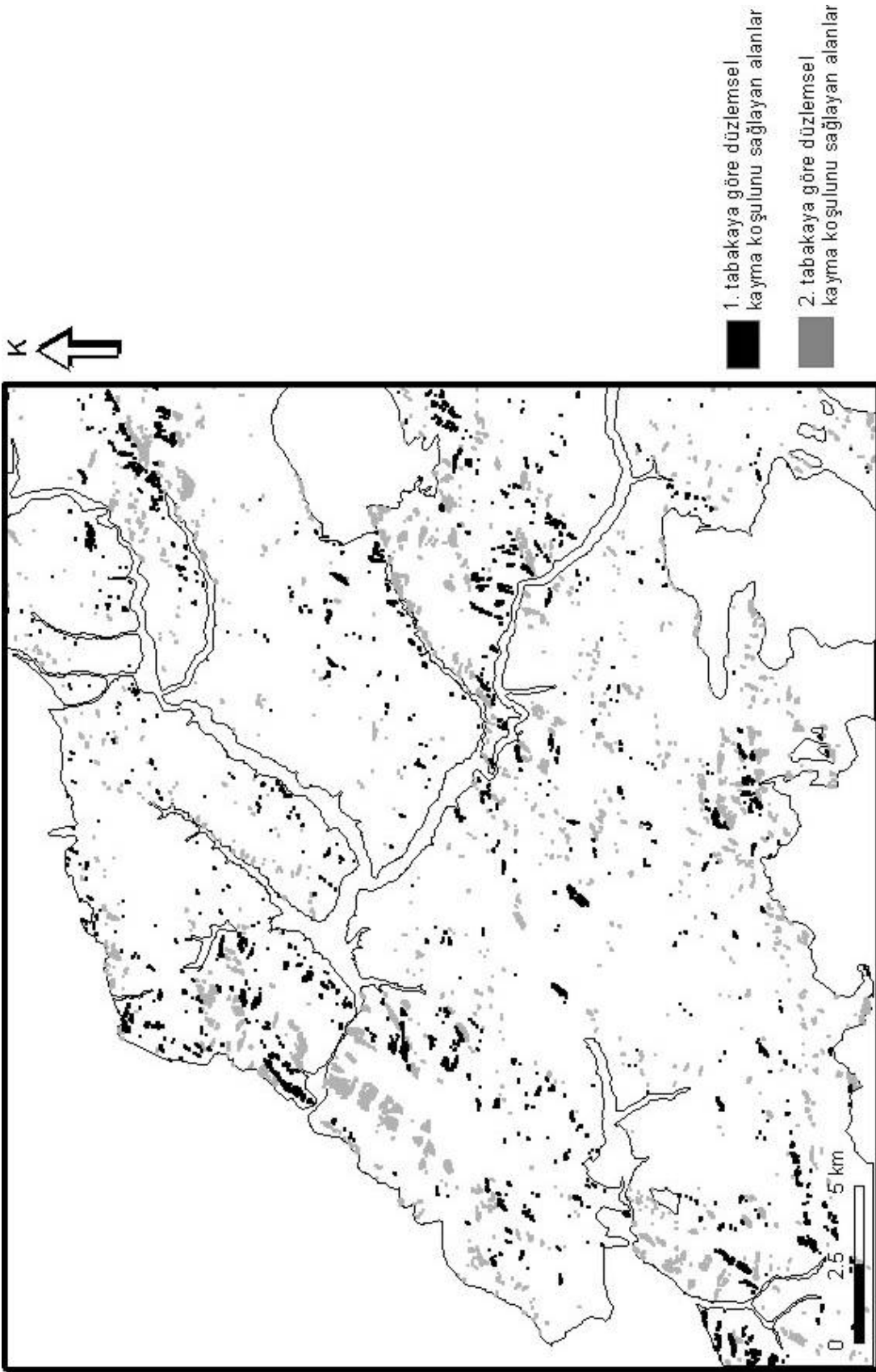
Şekil 6.3. İnceleme alanında hakim olan tabaka konumları.



Şekil 6.4. Kinematik anlamda düzlemsel kayma koşulu (Hoek and Bray, 1977).

İnceleme alanında, bu koşulları sağlayan alanların belirlenmesi için 2 adet hakim tabaka doğrultusunun $\pm 20^\circ$ 'şer derecelik yönelime sahip alanları belirlenmiş ve hakim tabaka eğimlerinden daha büyük eğime sahip olan yamaçlar ayırt edilmiştir. İçsel sürtünme açısının, tabaka eğim açısından küçük olduğu varsayılmıştır. Bu koşulları sağlayan alanlar, Şekil 6.5'te sunulmaktadır.

Ancak, hakim tabaka yönelimlerinin belirlenmesinde kullanılan 742 adet tabaka konumunun, inceleme alanını yeterli ölçüde temsil etmediği düşünülmektedir. Ayrıca, arazi çalışmaları sırasında çalışma alanında meydana gelen heyelanların % 97'sinin Üst Kretase yaşlı Ulus formasyonuna ait fişin bozunma ürünü olan toprak zeminlerde, dairesel kayma ve toprak akması türünde geliştiği belirlenmiştir. Bu nedenlerle; belirlenen alanlar, ön değerlendirme niteliği taşımakta olup bu parametre, heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılmamıştır.



Şekil 6.5. İnceleme alanında hakim tabaka konumlarına göre belirlenen olası düzlemsel kayma veya toprak kayması türündeki heyelanlı alanlar.

6.3. Toprak Türü ve Derinliği

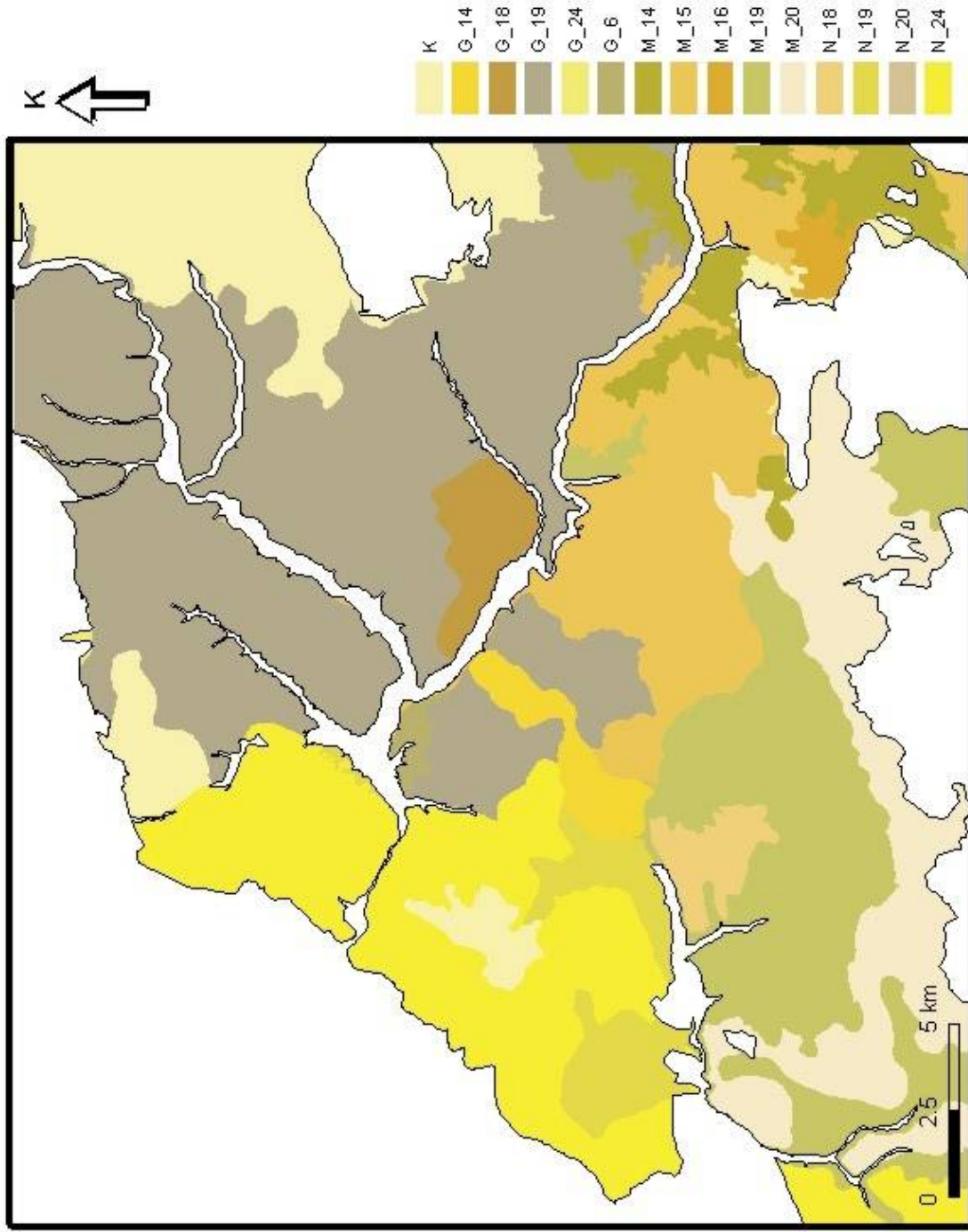
Literatürde, toprak türü (geçirimlilik, gözeneklilik, yapı, vb.) ve derinliğinin heyelan oluşumunda etkin olduğu konusunda, araştırmacılar arasında fikir birliği sağlanmakla birlikte, bu parametrenin doğru ve güvenilir bir şekilde elde edilmesinin güç olması nedeniyle, yaygın olarak kullanılamamaktadır. Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde, toprak türü ve/veya derinliği haritaları; ilgili kuruluşlar tarafından hazırlanan mevcut toprak haritaları, hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve arazi çalışmalarıyla elde edilmekte ve söz konusu parametre ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkiler değerlendirilmektedir (Chang, 1991; Nagarajan et al., 2000; Lee and Min, 2001; Lee et al., 2003; Jager and Wieczorek, 1994; Wieczorek et al., 1996; Atkinson and Massari, 1997; Baeza and Corominas, 2001; Gritzner et al., 2001; Shaban et al., 2001; Lee et al., 2004; Goméz and Kavzoğlu, 2005).

Chang (1991), heyelan duyarlılığı değerlendirmelerine yönelik yaptığı çalışmada, toprak türü ve derinliği ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Toprak türü; bozunma ürünü olan toprak zeminler, alüvyal ve kolüvyal topraklar şeklinde ve toprak derinliği; A (<1 m), B (1-4 m) ve C (>4 m) olmak üzere sınıflandırılarak söz konusu sınıf aralıklarındaki, heyelan yoğunluğu hesaplanmıştır. Toprak kayması türündeki heyelanların, A-B grubu zeminlerde; dairesel kayma ve toprak akması türündeki heyelanların, C grubu zeminlerde meydana geldiği belirlenmiştir. Maharaj (1993); çalıştıkları alanda, heyelanların % 82'sinin bozunma sonucu oluşan toprak zeminlerde, toprak kayması türünde geliştiğini belirlemiştir. Jager and Wieczorek (1994); çalıştıkları alanda, heyelanların yoğun olarak yüksek kil içeriğine sahip buzul göl çökellerinde meydana geldiğini belirterek bu birime "1", diğer toprak türlerine "0" değerini atamış ve toprak türünü iki grupta sınıflandırmışlardır. Wieczorek et al. (1996), toprak türünü; çakıl, kum ve kil içeriklerine göre sınıflandırmışlar ve heyelanların büyük bir çoğunluğunun, kil içeriği yüksek zeminlerde meydana geldiğini saptamışlardır. Nagarajan et al. (2000); uydu görüntüleri ve arazi çalışmaları ile elde ettikleri, bozunma derecesi, toprak türü ve derinliği parametrelerini dikkate alarak toprak türünü; alüvyal, kolüvyal ve talus, toprak derinliğini ise çok sığ (0-1 m), sığ (1-3 m), derin (3-10 m) ve çok derin (>10 m) olmak üzere sınıflandırmışlardır. Toprak derinliğinin, 3-10 m

arasında değiştiği zeminlerde, heyelan yoğunluğunun arttığını tespit etmişlerdir. Lee et al. (2004), mevcut toprak haritalarından elde ettikleri; toprak yapısı, geirimsilik ve derinlik parametrelerinin, heyelan oluşumu üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Toprak derinliğini, çok sığ (< 20 cm), sığ (20-50 cm), orta derin (50-100 cm) ve derin (100-150 cm) olmak üzere sınıflandırmışlar ve heyelanların % 52'sinin sığ, % 44'ünün orta derin toprak zeminlerde oluştuğunu saptamışlardır.

Bu çalışmada, toprak türü ve derinliği ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi amacıyla, Ankara İl zel İdaresi Köye Yönelik Hizmetler Müdürlüğü (K.Y.H.M.)'nden temin edilen 1/25.000 ölçekli toprak haritaları kullanılmıştır. İnceleme alanının tamamını filiş karakterli Ulus formasyonu kapsamakla birlikte heyelanların tamamı, bozunma ürünü olan toprak zeminlerde gerçekleşmektedir. Bu nedenle, uydu görüntüleri kullanılarak toprak ve kaya zeminlerin ayırtlanması amaçlanmıştır. Ancak, uydu görüntülerinin znrlğnn bu amaç için düşük kalması ve bölgede bitki örtüsünün yoğun olması nedeniyle istenilen sonuca ulaşılamamıştır.

Toprak türü ve derinliği ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi amacıyla, mevcut toprak haritası ilk aşamada, inceleme alanını kapsayan Ulus Formasyonundaki kaya zeminler ve filişin bozunması sonucu oluşan toprak zeminlere göre iki gruba ayrılmıştır. Sonraki aşamada, toprak zeminlerin yayılım gösterdiği alanlar, toprak türü ve derinliğine (izelge 6.1) bağlı olarak sınıflandırılmıştır (şekil 6.6). Çalışma alanındaki heyelanların, söz konusu harita ile çakıştırılması sonucunda, heyelanların yaklaşık % 57'sinin sığ ve orta derin gri kahverengi podzolik topraklarda ve % 31'inin sığ ve orta derin orman topraklarında oluştuğu saptanmıştır (şekil 6.7). Ancak, temin edilen haritadaki toprak grupları, heyelan oluşumunda etkin olan özellikleri içeren bir sınıflama niteliği taşımamakta olup özellikle orman yetişme ortamı ve tarım alanlarının belirlenmesine yönelik, genel toprak özelliklerini kapsamaktadır. Bu nedenle, toprak türleri, heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde dikkate alınmamıştır. Son aşamada, toprak ve kaya zeminlerin çalışma alanındaki yayılımı ile toprak zeminlerin göreceli olarak derinliğine göre sınıflandırılan parametre haritası, heyelan envanter haritası ile çakıştırılmıştır (şekil 6.8). Buna göre, heyelanların % 70'i sığ derinliklerdeki toprak



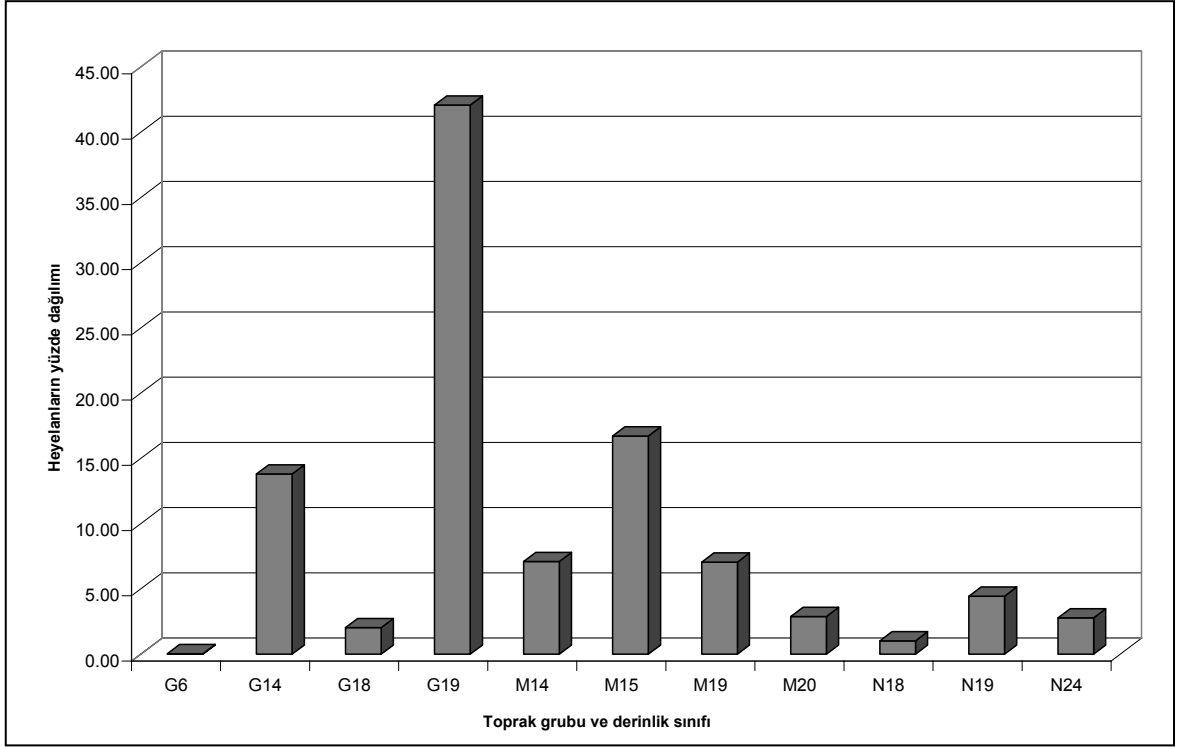
Şekil 6.6. İnceleme alanının toprak haritası (Ankara İl Özel İdaresi Köye Yönelik Hizmetler Müdürlüğü'nden alınmıştır).

Çizelge 6.1. Toprak grubu ve derinlikleri (K.Y.H.M.'den alınmıştır).

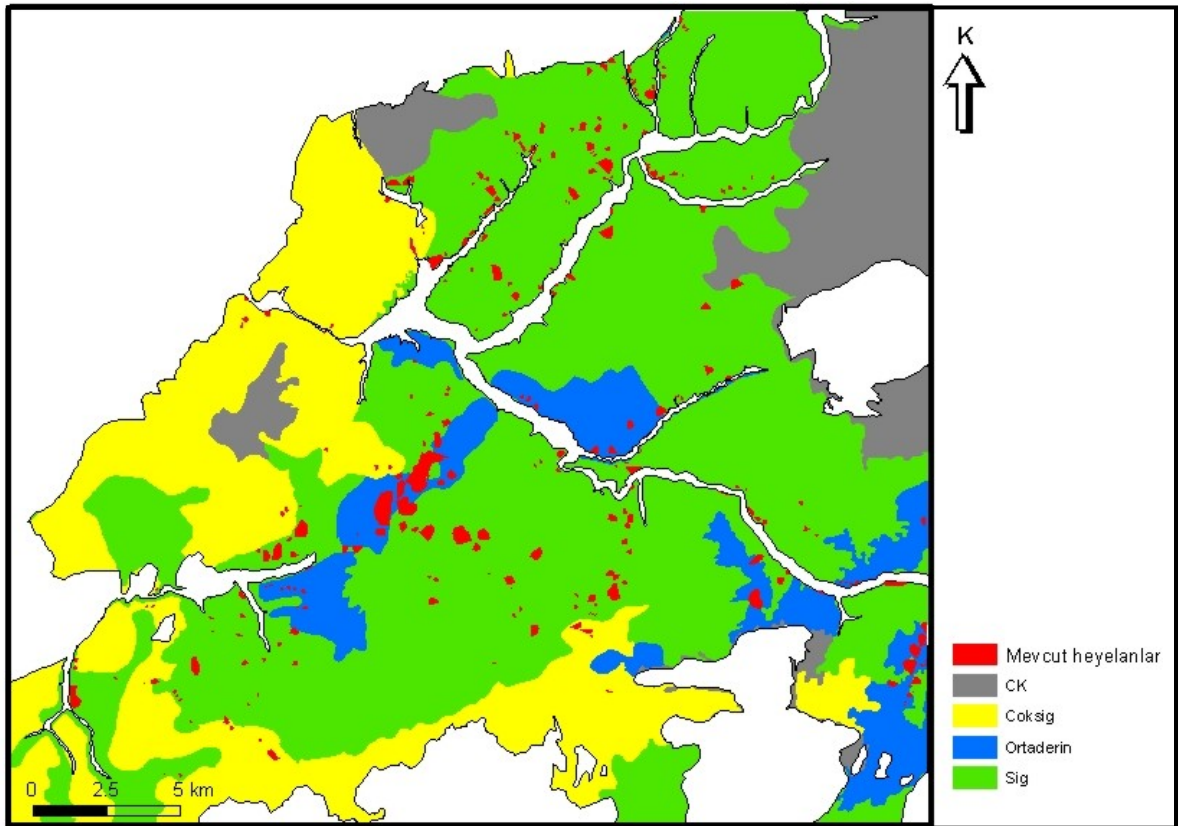
Sembol	Büyük Toprak Grubu
K	Kaya kesimler
P	Kırmızı sarı podzolik topraklar
G	Gri kahverengi podzolik topraklar
M	Kahverengi orman toprakları
N	Kireçsiz kahverengi orman toprakları

BTG_DK Kombinasyonu						
Büyük Toprak Grubu (BTG)		Derinlik Kombinasyonu (DK)				
Sembol	Anlamı	Derinlik (cm)				
		Derin 90+	Orta derin 90-50	Sığ 50-20	Çok sığ 20-0	Litozolik
P	Kırmızı sarı podzolik Topraklar	1	2	3	4	25
		5	6	7	8	26
G	Gri kahverengi podzolik topraklar	9	10	11	12	27
M	Kahverengi orman toprakları	13	14	15	16	28
		17	18	19	20	29
N	Kireçsiz kahverengi orman toprakları	21	22	23	24	30

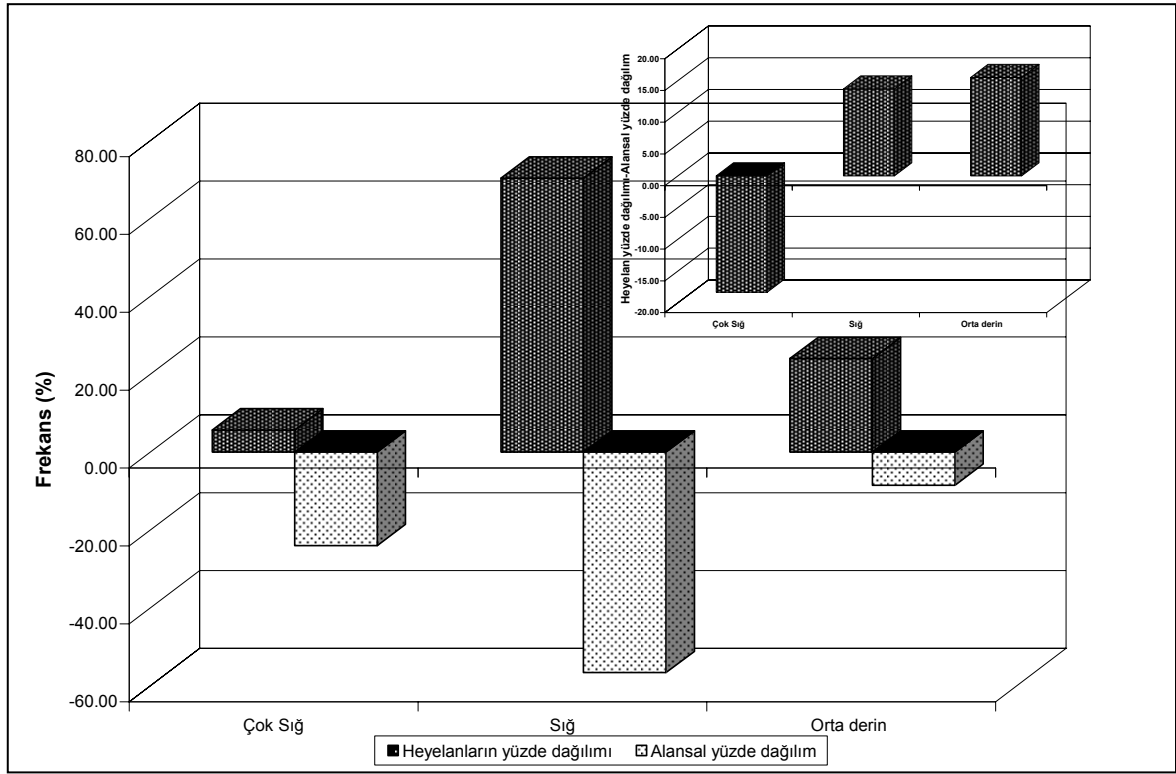
kesimlerde gerçekleşmektedir. Ancak, alansal dağılımlar incelendiğinde, orta-derin olarak sınıflanan kesimlerin, heyelan duyarlılığı açısından daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.9).



Şekil 6.7.İnceleme alanındaki toprak grubu ve derinlik sınıflarına göre heyelanların yüzde dağılımı.



Şekil 6.8. Toprak ve kaya zeminlerin yayılımı ve toprak derinliği haritası.



Şekil 6.9. Toprak derinliğine göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılımı.

6.4. Topoğrafik ve Göreceli Yükseklik

Topoğrafik yükseklik, heyelan oluşumunda doğrudan etkin olan bir parametre olmamakla birlikte, bozunma, bitki örtüsü ve yağış gibi bir çok parametrenin etkisini dolaylı olarak yansıtmaktadır. Literatürde bu parametre, deniz seviyesinden olan yükseklik olarak tanımlanan topoğrafik yükseklik (Moore et al, 1991; Fernandez et al., 1999; Baeza and Corominas, 2001; Gritzner et al, 2001; Lee and Min, 2001; Dai and Lee, 2002; Zhou et al., 2002; Tangestani, 2003; Ercanoğlu and Gökçeoğlu, 2004; Lan et al., 2004; Süzen and Doyuran, 2004a; Ayalew and Yamagishi, 2005; Goméz and Kavzoğlu, 2005) veya belirli bir alanda belirli bir noktadaki yüksekliğin, alan içinde seçilen referansa göre yükseklik farkı olarak tanımlanan göreceli yükseklik (Carrara et al., 1991; Anbalagan, 1992; Pachauri and Pant, 1992; Anbalagan and Singh, 1996; Nagarajan et al., 2000) olmak üzere iki şekilde kullanılmaktadır.

Yükseklik parametresinin, heyelanların meydana gelmesine neden olan bir çok parametre üzerindeki etkisi nedeniyle, topoğrafik yükseklik ile heyelan oluşumu

arasındaki ilişki karmaşıktır. Araştırmacılar arasında genel olarak, yüksek kesimlerin heyelana daha duyarlı olduğu yönünde bir görüş oluşmakla birlikte, bir çok çalışmada da daha düşük seviyelerin yüksek kesimlere göre heyelana daha duyarlı olduğu belirlenmiştir. Zolotraev (1976), topoğrafik açıdan yüksek olan alanların daha fazla yağış alması ve dağlık alanların dik kesimlerinde sismik ivmenin yatay bileşeninin, vadilere göre 1.2-1.5 katı yüksek etkimesi nedeniyle bu alanların, heyelana daha duyarlı olduğunu belirtmiştir. Anbalagan (1992), kullandıkları haritalama birimi içindeki en yüksek nokta ile vadi tabanı arasındaki yükseklik farkını esas alarak belirledikleri göreceli yüksekliği, 100 m'den düşük, 100-300 m ve 300 m'den yüksek şeklinde sınıflandırarak, 300 m'den yüksek alanların heyelana daha duyarlı olduğunu saptamışlardır. Pachauri and Pant (1992), göreceli yükseklik parametresini dikkate aldıkları heyelan duyarlılığı değerlendirme çalışmalarında, heyelanların meydana geldiği göreceli yükseklik değerlerini, 100 m aralıklarla 10 grupta sınıflandırmışlar ve heyelanların büyük bir bölümünün, 900 m'den yüksek kesimlerde oluştuğunu belirlemişlerdir. Nagarajan et al. (2000), göreceli yükseklik parametresini 5 grupta sınıflandırarak, heyelanların % 40'ının, 200 m'den yüksek alanlarda meydana geldiğini ve aynı jeolojik-morfolojik özelliklere sahip olan yamaçlardan, daha yüksek olan yamacın heyelana daha duyarlı olduğunu saptamışlardır. Dai and Lee (2002) tarafından yapılan çalışmada ise heyelanların, 200-500 m arasında değişen topoğrafik yükseklik değerine sahip alanlarda yoğunlaştığı ve 500 m'den yüksek olan kesimlerde, heyelan yoğunluğunun önemli bir oranda azaldığı tespit edilmiştir. Araştırmacılar, çalıştıkları alanda topoğrafik açıdan yüksek kesimlerin, yüksek dayanıma sahip kaya birimlerden oluştuğunu ve bu nedenle söz konusu alanlarda heyelan duyarlılığının düşük olduğunu ifade etmişlerdir. Orta yükseklikteki alanlarda ise yüksek kesimlerden gelen malzeme ve bozunma sonucu oluşan toprak zeminler nedeniyle heyelan duyarlılığının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Lan et al. (2004) ve Ayalew and Yamagishi (2005) tarafından yapılan çalışmalarda da orta yükseklikteki alanların, daha düşük ve daha yüksek kesimlere göre heyelana daha duyarlı olduğu saptanmıştır.

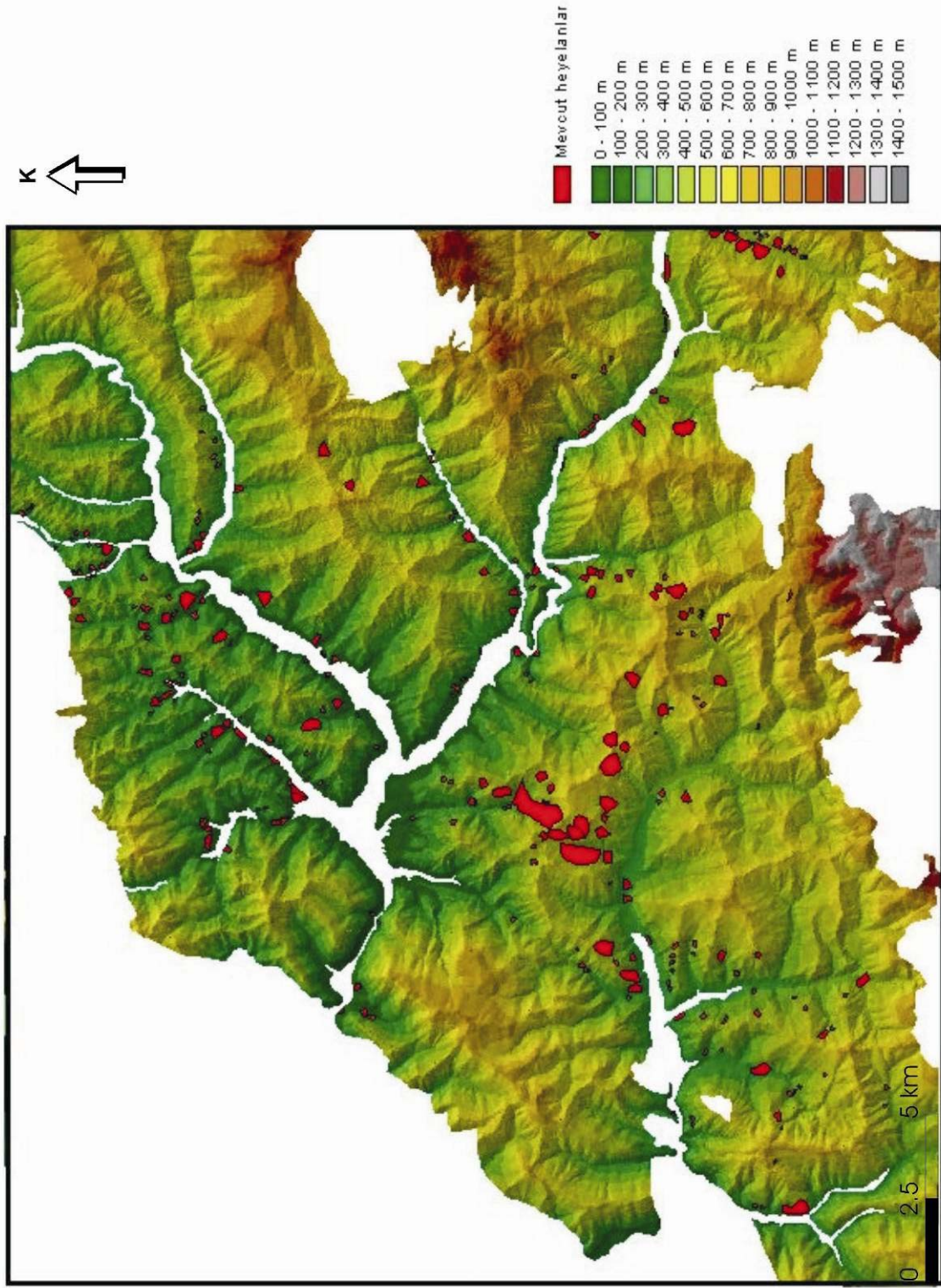
Bu çalışmada, topoğrafik yükseklik ve göreceli yükseklik parametrelerinin her ikisi de kullanılarak, yükseklik parametresinin heyelan oluşumu ile ilişkisi araştırılmıştır. Ancak, her iki parametrenin birlikte kullanılması, aynı parametrenin iki kere dikkate

alınmasına neden olacaktır. Bu nedenle, topoğrafik ve göreceli yükseklik parametreleri, heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde ayrı ayrı kullanılmış ve analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

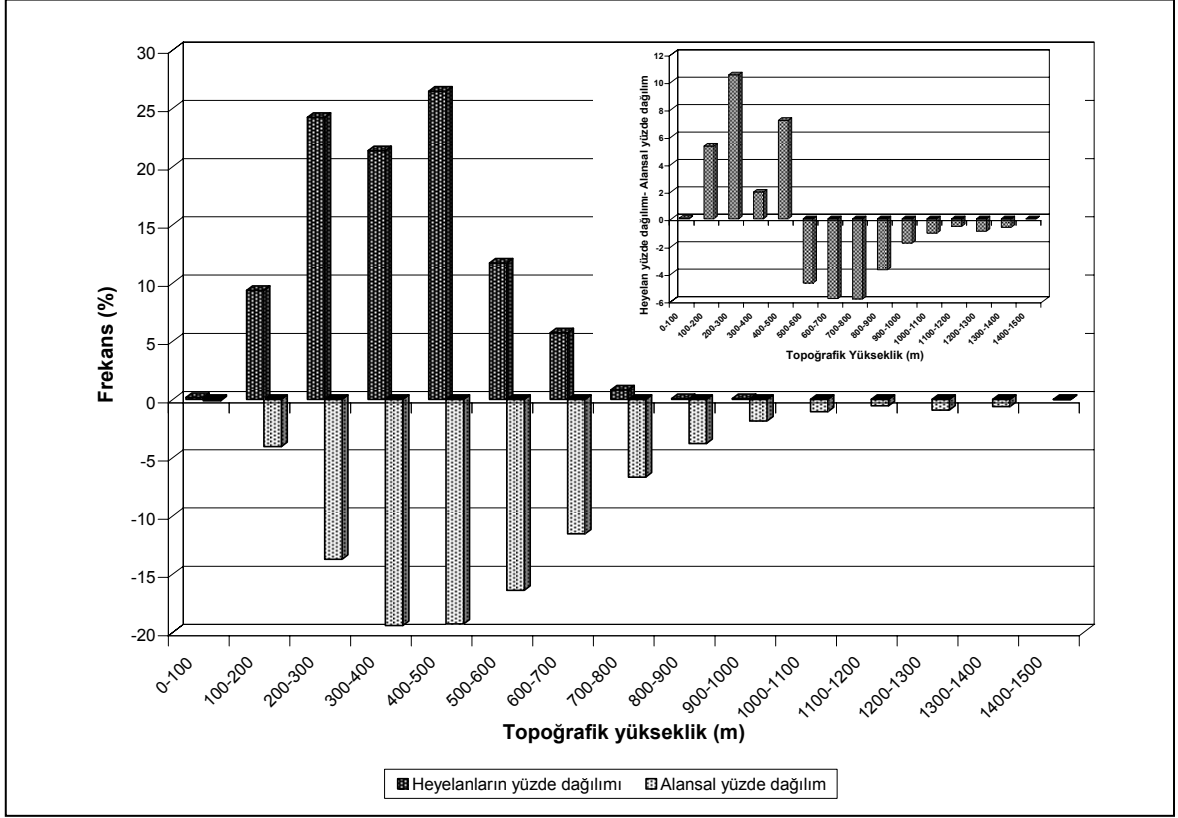
İnceleme alanındaki heyelanların, topoğrafik yükseklik değerine göre dağılımını belirlemek amacıyla heyelan envanter haritası, topoğrafik yükseklik haritası ile karşılaştırılmıştır (Şekil 6.10). Çalışma alanındaki en düşük topoğrafik yükseklik değeri 60 m ve en yüksek topoğrafik yükseklik değeri 1412 m olup, alanın yaklaşık % 80'i 200-700 m arasında değişen topoğrafik yükseklik değerlerine sahiptir. Heyelanların topoğrafik yükseklik değerlerine göre dağılımı incelendiğinde, heyelanların en düşük 80 m ve en yüksek 916 m topoğrafik yükseklik değerinde olduğu ve 200-500 m arasında yoğunlaştığı belirlenmiştir (Şekil 6.11).

Göreceli yükseklik parametresinin değerlendirilmesi amacıyla, 25*25 m'lik grid ağı sistemi kullanılarak oluşturulan sayısal arazi modeli kullanılarak çalışma alanı, alt havzalara ayrılmış ve her bir pikseldeki topoğrafik yükseklik değeri, ait olduğu havzadaki en düşük topoğrafik yükseklik değerinden çıkartılmış ve göreceli yükseklik haritası oluşturulmuştur (Şekil 6.12). Buna göre, heyelanların olduğu en küçük göreceli yükseklik değeri 1 m ve en büyük 605 m olup heyelanların yaklaşık % 75'inin, 1-300 m arasında değişen göreceli yükseklik değerine sahip alanlarda olduğu belirlenmiştir (Şekil 6.13).

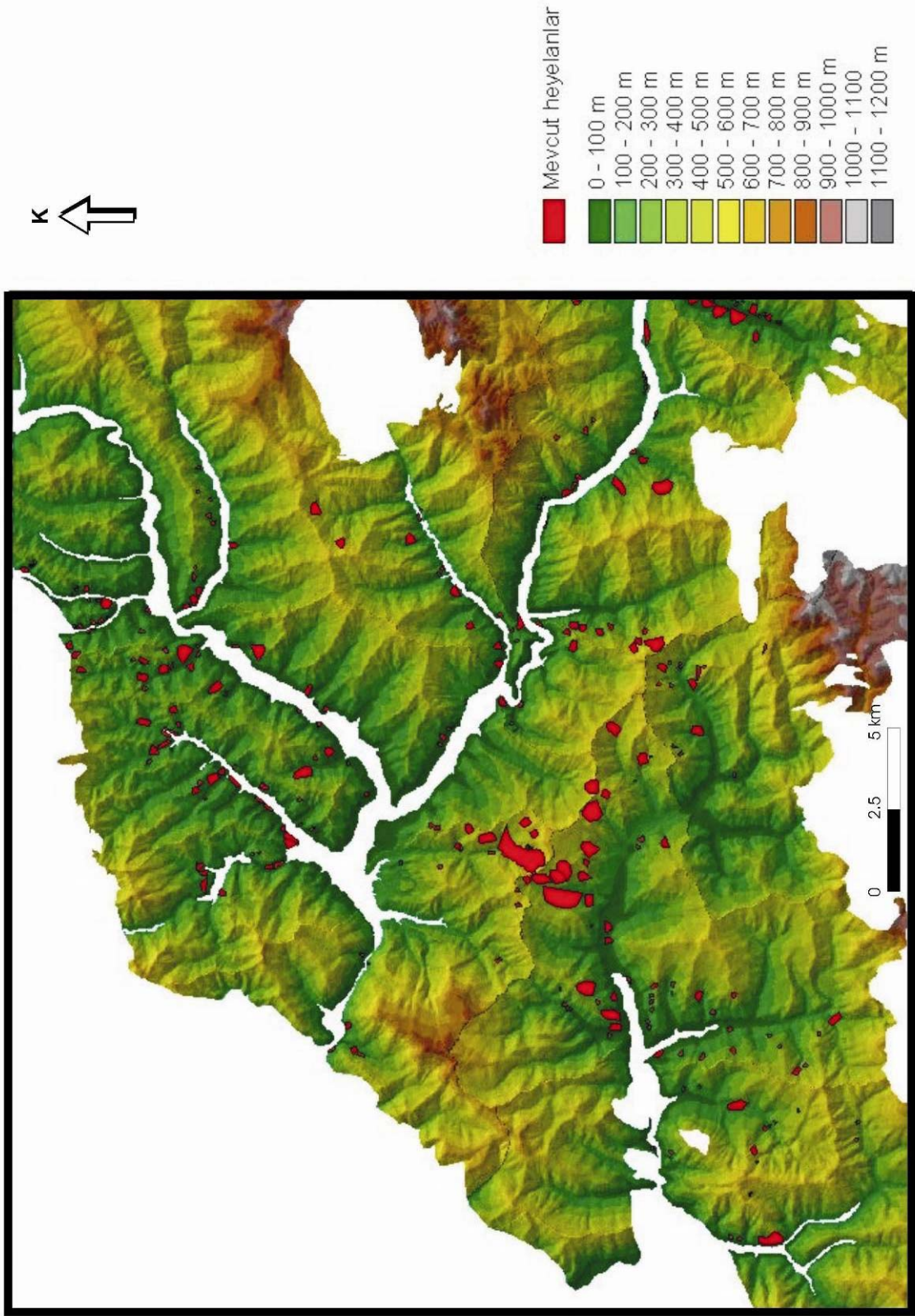
İnceleme alanında topoğrafik açıdan yüksek olan bölgeler, Ulus Formasyonunun kireçtaşı, kumtaşı ve kıltaşı ardalanmasından oluşan kaya kesimleri ve bozunma zonu kalınlığının daha az olduğu alanları kapsamaktadır. Göreceli yükseklik haritası ile Şekil 6.8'de verilen toprak ve kaya zeminlerin yayılımı ve toprak derinliği haritası karşılaştırıldığında; heyelan yoğunluğunda artışın görüldüğü 300 m'den düşük alanların, yaklaşık % 82'sini sığ ve orta derinlikteki toprak zeminlerin ve % 18'ini kaya ve çok sığ toprak zeminlerin oluşturduğu belirlenmiştir. Ayrıca, heyelan yoğunluğunda önemli oranda azalmanın görüldüğü, göreceli yükseklik değerinin 400 m'den büyük olduğu alanların yaklaşık % 75'i, yoğun bitki örtüsü ile kaplıyken geriye kalan % 25'lik kesimi, bitki örtüsünün seyrek olduğu bölgelere veya tarım alanlarına karşılık gelmektedir.



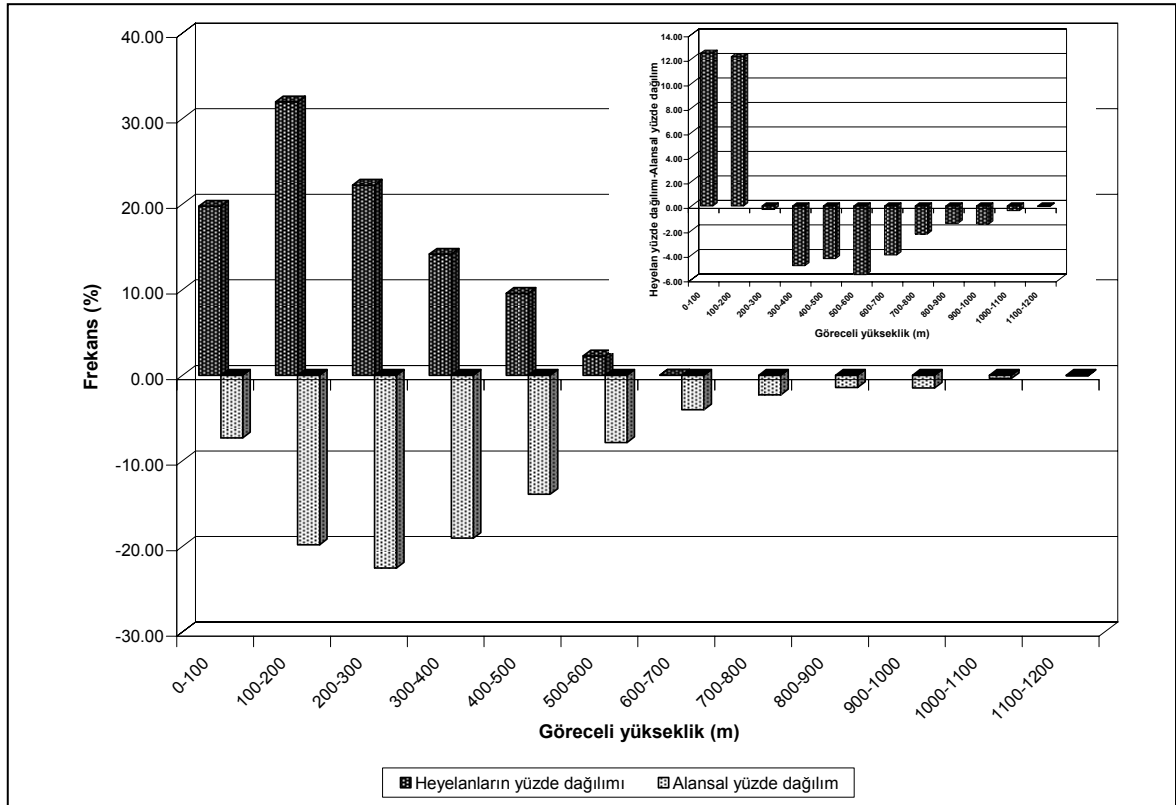
Şekil 6.10. İnceleme alanının topoğrafik yükseklik haritası ve heyelanların dağılımı.



Şekil 6.11. Topoğrafik yükseklik değerlerine göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılımı.



Şekil 6.12. İnceleme alanının göreceli yükseklik haritası ve heyelanların dağılımı.



Şekil 6.13. Göreceli yükseklik değerlerine göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılımı.

6.5. Yamaç Eğimi

Literatürde, araştırmacılar arasında, yamaç eğiminin heyelan oluşumunda etkin olan bir parametre olarak değerlendirilmesi konusunda fikir birliği sağlanmış olup bu parametre, heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Choubey and Litoria, 1990; Carrara et al., 1991; Chang 1991; Mehrotra et al., 1991; Moore et al., 1991; Choubey et al., 1991; Anbalagan, 1992; Pachauri and Pant, 1992; Maharaj, 1993; Jager and Wieczorek, 1994; Anbalagan and Singh, 1996; Gökçeoğlu and Aksoy, 1996; Atkinson and Massari, 1997; Binaghi et al., 1998; Nagarajan et al., 1998; Turrini and Visintainer, 1998; Fernandez et al., 1999; Barredo et al., 2000; Nagarajan et al., 2000; Uromeihy and MahdaviFar, 2000; Baeza and Corominas, 2001; Gritzner et al., 2001; Shaban et al., 2001; Temesgen et al., 2001; Clerici et al., 2002; Ercanoğlu and Gökçeoğlu, 2002; Pistocchi et al., 2002; Zhou et al., 2002; Tangestani, 2003; Liu et al., 2004; Süzen and Doyuran, 2004a; Lee et al., 2004; Ayalew and Yamagishi, 2005; Goméz and Kavzoğlu, 2005).

Genel olarak; yüksek eğimli yamaçların, heyelana daha duyarlı olduğu bilinmekle birlikte yamaç eğiminin heyelan duyarlılığı üzerindeki etkisi, çalışma alanındaki toprak, moloz ve kaya türü malzemelerde meydana gelen heyelan türüne bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Nagarajan et al. (2000) tarafından Hindistan'da Konkan bölgesinde yapılan bir çalışmada, kaya düşmesi türündeki heyelanların, 80⁰'den büyük yamaç eğimine sahip dik yamaçlarda, toprak kayması türündeki heyelanların ise 35⁰'den büyük eğime sahip yamaçlarda meydana geldiği saptanmış ve yamaç eğiminin artması ile heyelan duyarlılığının arttığı belirlenmiştir. Düzlemsel ve kama türü kayma şeklinde duraysızlıkların geliştiği bir bölge olan Himalayalar'daki Aglar Nehri havzasında, Pachauri and Pant (1992) tarafından yapılan çalışmada, yamaç eğiminin artmasıyla heyelan duyarlılığın arttığı saptanmıştır. Garhwal Himalayalar'da, Choubey et al. (1991) tarafından yapılan bir çalışmada da, heyelan duyarlılığının, 45⁰'den yüksek eğime sahip çok dik yamaçlarda, yüksek; 31⁰-45⁰ arasında eğime sahip yamaçlarda, orta ve 31⁰'den düşük eğimli yamaçlarda, düşük olduğu belirlenmiştir.

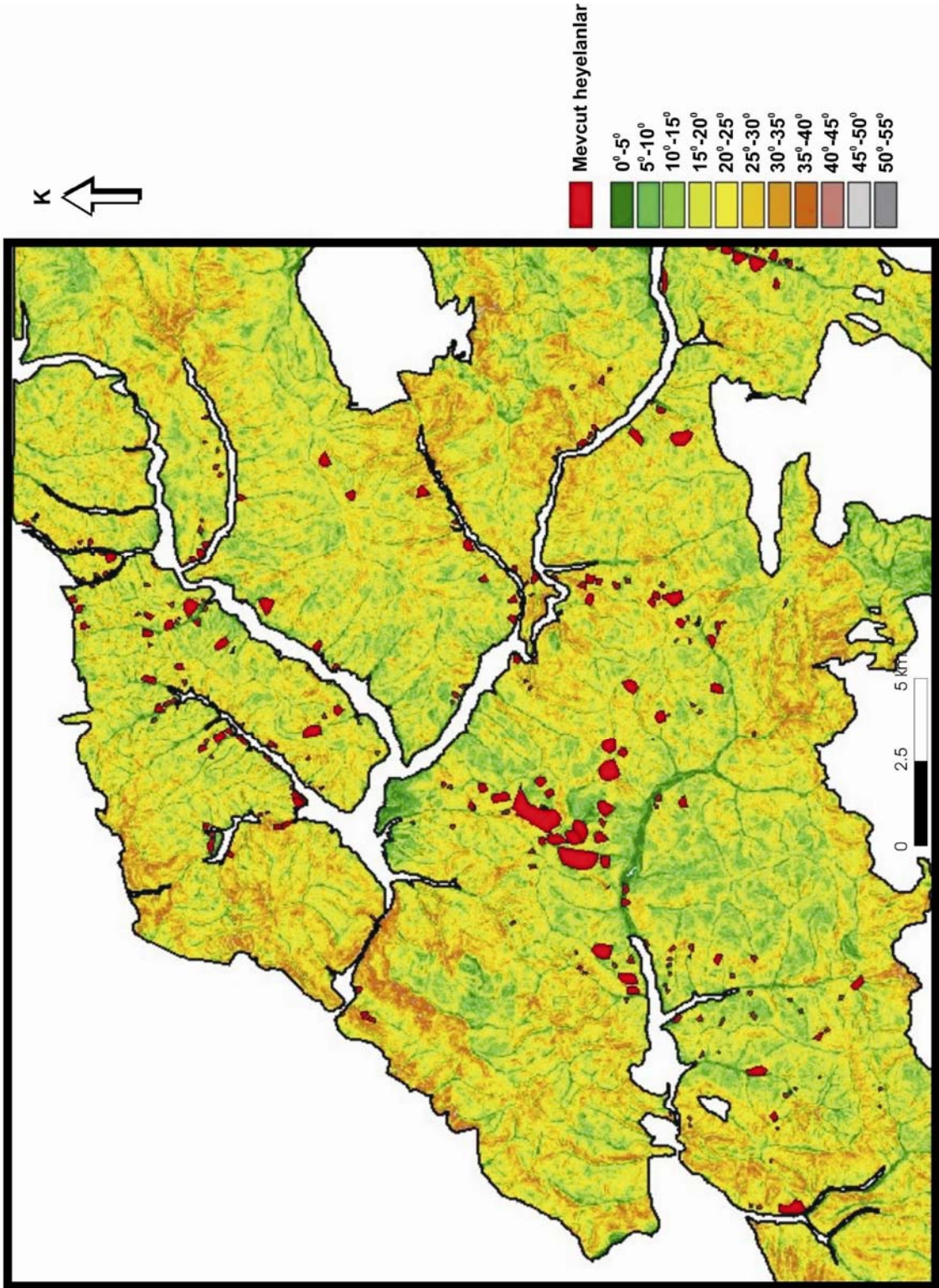
Toprak zeminlerde meydana gelen heyelan türleri, genellikle yüksek eğime sahip dik yamaçlarda bozunma sonucu oluşan toprak veya moloz türü malzemenin birikmemesi nedeniyle orta ve düşük eğime sahip yamaçlarda gelişmektedir (Derruau, 1983; Selby, 1993). Maharaj (1993), heyelanların yaklaşık % 92'sinin toprak kayması, toprak akması ve çamur akması şeklinde geliştiği, Jamaika'nın St Andrew bölgesinde yaptığı çalışmada, heyelanların yaklaşık % 96'sının 45⁰'den düşük eğime sahip yamaçlarda geliştiğini belirlemiştir. Jager and Wieczorek (1994), dairesel kayma, toprak kayması ve toprak akması türündeki heyelanların, 6⁰-25⁰ eğime sahip yamaçlarda yoğunlaştığını ve 25⁰'den yüksek eğime sahip yamaçlarda heyelanların oluşmadığını tespit etmişlerdir. Temesgen et al. (2001) tarafından yapılan çalışmada; 40⁰'den düşük eğime sahip yamaçlarda, bozunma zonu kalınlığının fazla ve heyelan duyarlılığının yüksek olduğu belirlenmiştir. Gökçeoğlu and Aksoy (1996), Lee et al. (2003) ve Ercanoğlu and Gökçeoğlu (2004) tarafından yapılan çalışmalarda da; genellikle, 20⁰-30⁰'den düşük eğime sahip yamaçlarda, dairesel kayma ve toprak akması türündeki heyelanların yoğunluğunda artış olduğu saptanmıştır.

Doktora tez çalışmasında, heyelan oluşumu ile yamaç eğimi arasındaki ilişkinin araştırılması amacıyla, ArcGIS 9 programı kullanılarak, sayısal arazi modelinden inceleme alanının yamaç eğimi haritası oluşturulmuştur (Şekil 6.14). İnceleme alanındaki yamaç eğimi değerleri, 0° - 55° arasında değişmekte olup alanın yaklaşık % 90'ı, 30° 'den düşük yamaç eğimine sahiptir. Çalışma alanındaki heyelanların, yaklaşık % 82'si, 10° - 30° arasında değişen yamaç eğimlerinde oluşmaktadır (Şekil 6.15). Yüksek eğime sahip yamaçların kaya birimlerden oluşması ve düşük eğimli yamaçlarda bozunma zonu kalınlığının artması nedeniyle düşük eğime sahip yamaçların, heyelana daha duyarlı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, inceleme alanında 30° 'den düşük eğime sahip yamaçlar genellikle, bitki örtüsünün olmadığı veya seyrek olduğu alanlara karşılık gelmektedir.

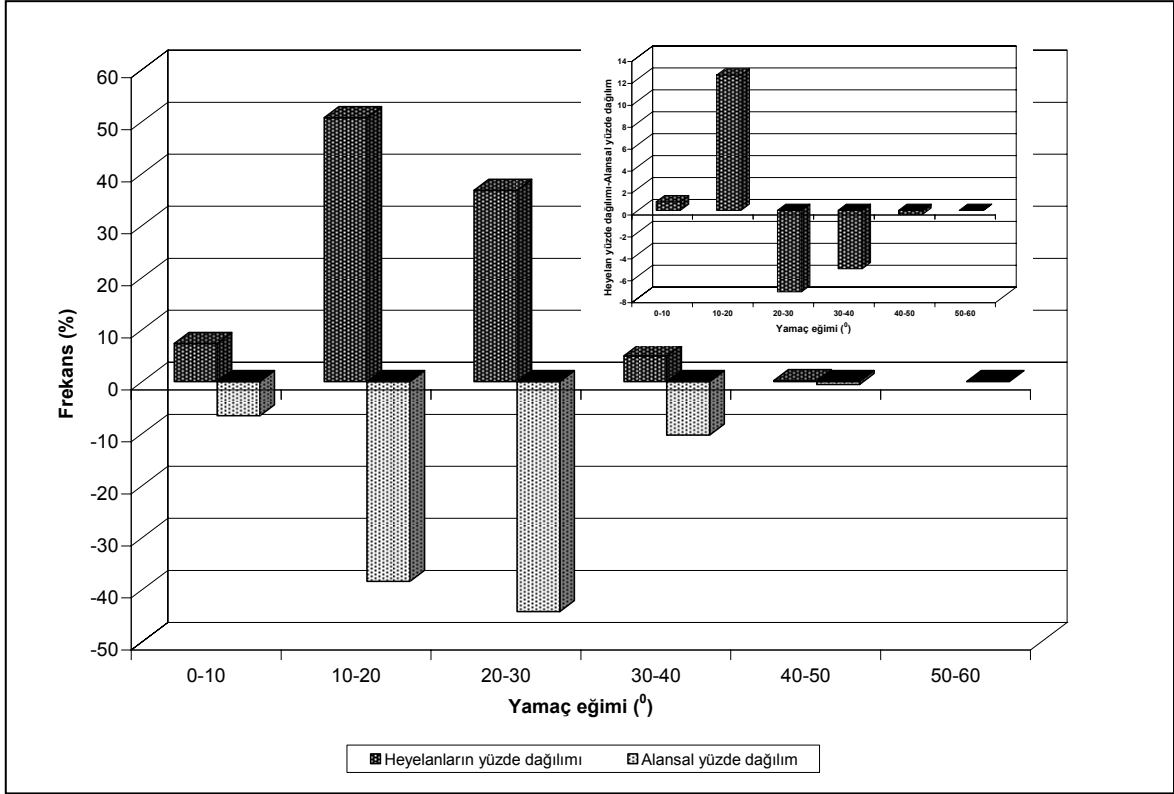
6.6. Yamaç Eğim Yönü

Heyelan oluşumunda, dolaylı olarak etkin olan bir parametre olarak değerlendirilen yamaç eğim yönünün, heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde kullanılmasına yönelik olarak bir görüş birliği oluşmamakla birlikte bu parametre, birçok araştırmacı tarafından dikkate alınmaktadır (Carrara et al., 1991; Maharaj, 1993; Gökçeoğlu and Aksoy, 1996; Atkinson and Massari, 1997; Binaghi et al., 1998; Fernandez et al., 1999; Baeza and Corominas, 2001; Gritzner et al., 2001; Lee and Min, 2001; Temesgen et al., 2001; Dai and Lee, 2002; Pistocchi et al., 2002; Tangestani, 2003; Ercanoğlu and Gökçeoğlu, 2004; Lan et al., 2004; Süzen and Doyuran, 2004a; Ayalew and Yamagishi, 2005; Gómez and Kavzoğlu, 2005).

Yağış miktarı, yamaç eğimi, malzeme türü, su içeriği ve geçirgenlik gibi birçok parametre tarafından kontrol edilen, süzölmeye bağlı olarak yamacın doygunluk derecesinin artması ve gözenek suyu basıncının yükselmesi ile heyelan duyarlılığı artmaktadır. Yamaç eğim yönünün heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde kullanımı; yamaca düşen yağış miktarının, eğim yönüne bağlı olduğu temel alınarak malzemenin su içeriği ve bitki örtüsü özelliklerini dolaylı olarak yansıtması şeklindedir (Neuland, 1976; Carrara, 1983; Wieczorek et al., 1996).



Şekil 6.14. İnceleme alanının yamaç eğimi haritası ve heyelanların dağılımı.

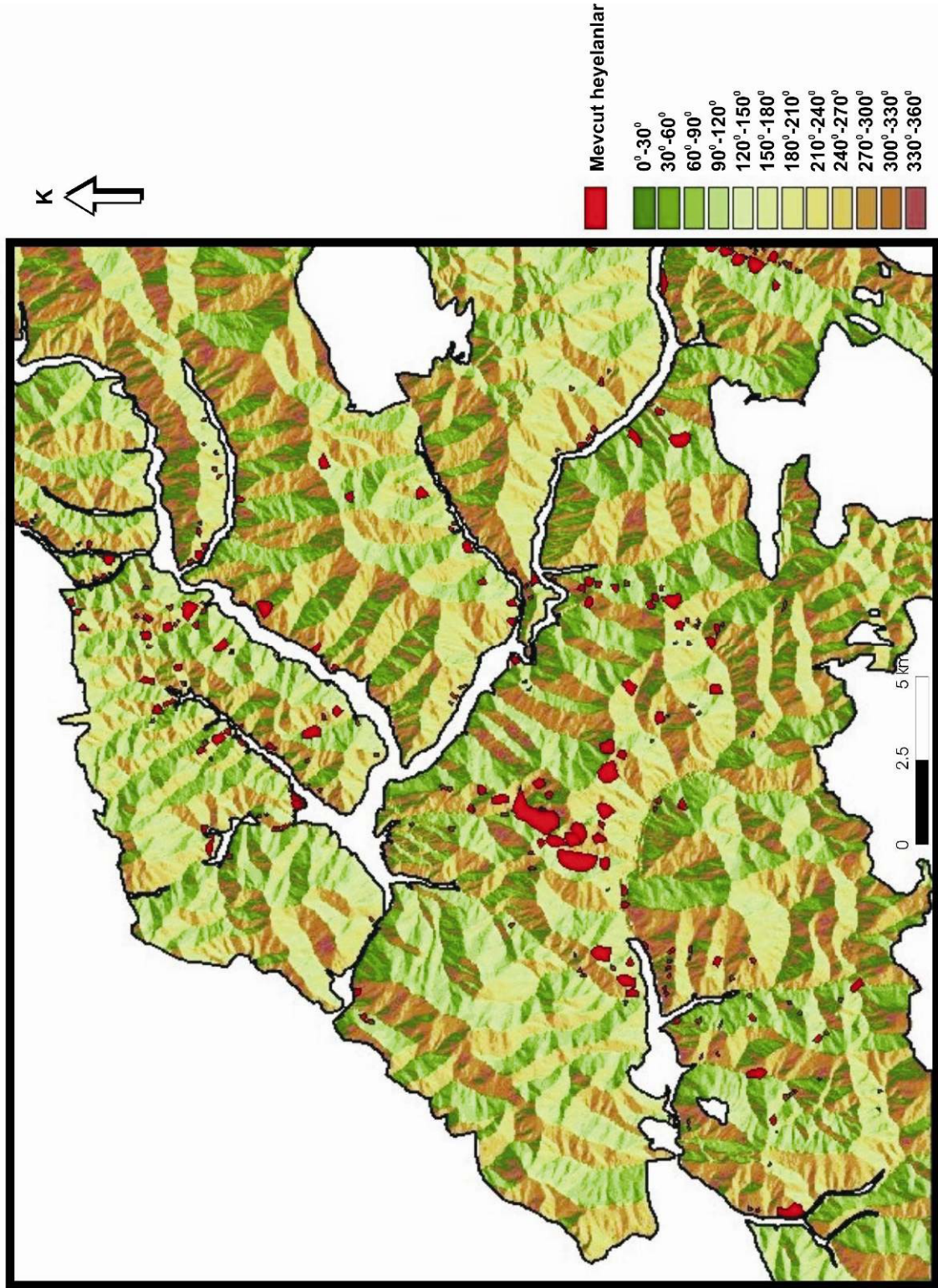


Şekil 6.15. Yamaç eğimi değerlerine göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.

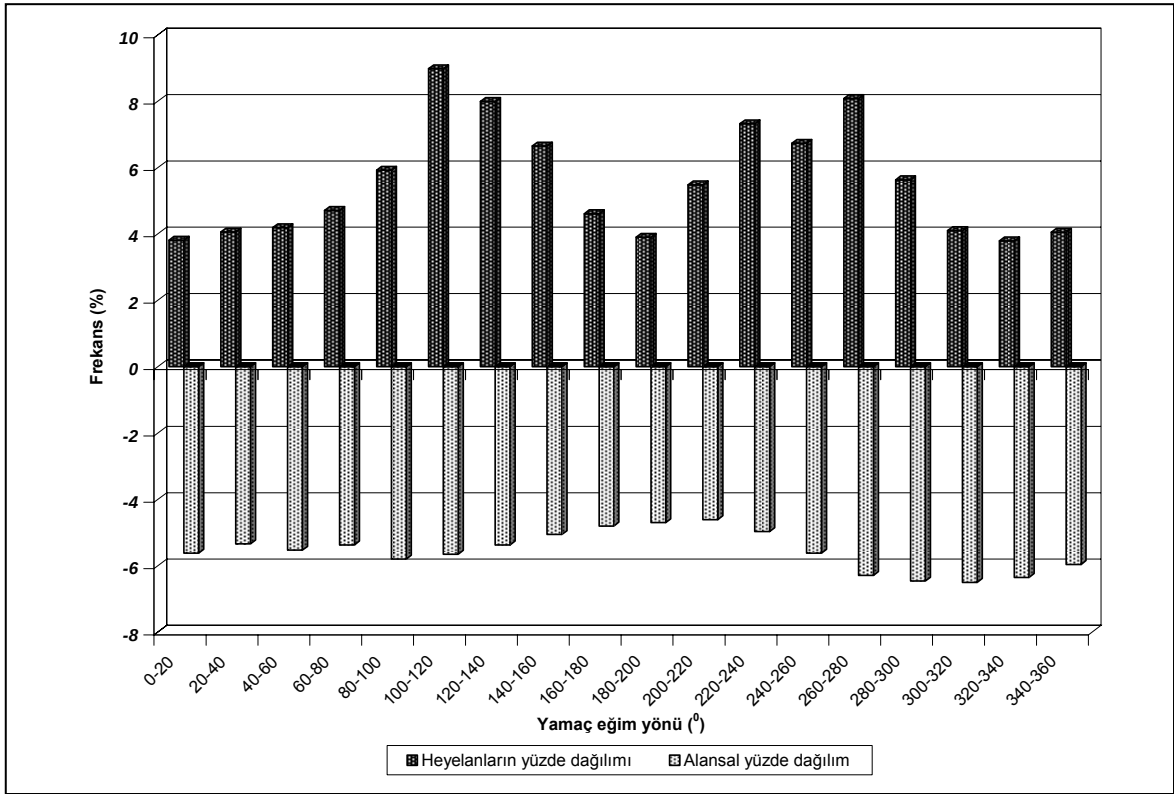
Beaty (1956), Handen (1976) ve Pomeroy (1982) tarafından yapılan çalışmalarda, doğu ve güneydoğuya bakan yamaçlarda, yağış miktarının fazla ve buharlaşma miktarının az olması nedeniyle bu yamaçların, heyelana daha duyarlı olduğu belirlenmiştir. Maharaj (1993), güneydoğuya bakan yamaçlarda, heyelan yoğunluğunun arttığını ve heyelanların % 34'ünün bu yönelimdeki yamaçlarda oluştuğunu saptamıştır. Araştırmacı, çalışma alanında, kuzeydoğu-güneybatı yönlü orografik yağışların etkin olduğunu ve doğuya bakan yamaçların, batıya bakan yamaçlara göre daha çok yağış aldığını belirtmiştir. Ayrıca, doğuya bakan yamaçlarda, güneş etkisinin az olduğu günün erken saatlerinde, düşük sıcaklığa bağlı olarak buharlaşmanın az olabileceğini ve öğlen saatlerinde sıcaklık artışına bağlı olarak batıya bakan yamaçlarda buharlaşmanın daha fazla olabileceğini ifade etmiştir. Doğuya ve güneydoğuya bakan yamaçların; yağış miktarı, malzemenin su içeriği, süzülme ve buharlaşma arasındaki ilişkilere bağlı olarak heyelana daha duyarlı olduğunu, ancak bu varsayımın doğrulanması için daha fazla veriye gereksinim duyulduğunu vurgulamıştır. Gökçeoğlu and Aksoy (1996), ana ve ara coğrafi yönler göre 8 grupta sınıflandırdıkları yamaç eğim yönü değerlerine göre, heyelanların % 42'sinin kuzeye bakan yamaçlarda oluştuğunu ve

bu yamaçların daha fazla yağış alması nedeniyle, heyelan duyarlılığının yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Marston et al. (1998), Himalayalar'da güneydoğuya bakan yamaçların, diğer yamaçlara göre daha fazla sayıda ıslanma- kuruma çevrimine maruz kalması nedeniyle, heyelan duyarlılığının daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Nagarajan et al. (2000), batı-kuzeybatı ve doğu-güneydoğu olmak üzere yamaç eğim yönünü iki sınıfa ayırmışlar ve heyelanların % 80'inin batı-kuzeybatıya bakan yamaçlarda meydana geldiğini saptamışlardır. Yamacı oluşturan malzemenin doygunluk derecesinin, heyelan oluşumunda etkin olan en önemli parametrelerden biri olduğunu belirterek en fazla yağışı alan yamaçların, batı-kuzeybatıya yönelimli olduğunu saptamışlardır. Temesgen et al. (2001), kuzey, güney, doğu ve batıya bakan yamaçlar olarak 4 grupta sınıflandırdıkları yamaç eğim yönü değerlerine göre heyelanların, batıya bakan yamaçlarda yoğunlaştığını belirlemişlerdir. Dai and Lee (2002), yamaç eğim yönünü, ana ve ara yönlerle göre sınıflandırmışlar ve heyelanların yaklaşık % 24'ünün güneye bakan yamaçlarda meydana geldiğini ve bu yamaçların heyelana daha duyarlı olduğunu saptamışlardır.

Bu çalışmada, inceleme alanının yamaç eğim yönü haritası, sayısal arazi modelinden üretilmiştir (Şekil 6.16). Heyelanların oluştuğu yamaç eğim yönü değerleri, 20^0 aralıklarla 12 grupta sınıflandırılmış ve bu sınıf aralıklarındaki heyelan yoğunlukları hesaplanmıştır. Şekil 6.17'de, heyelanların % 9'unun 100^0 - 120^0 arasında yamaç eğim yönü değerine sahip yamaçlarda meydana geldiği ve bunu sırayla 260^0 - 280^0 ve 120^0 - 140^0 arasındaki yamaç eğim yönü değerine sahip yamaçların izlediği görülmektedir. İnceleme alanı, kuzeydoğu-güneybatı yönlü orografik ve depresyonik yağışların etkisi altında kalmaktadır. Heyelanların % 32'si güneydoğuya bakan yamaçlarda oluşmaktadır ve bu yamaçlar, güneybatıya bakan yamaçlara göre heyelana daha duyarlıdır. Bu veriler, Maharaj (1993) tarafından öne sürülen varsayımı doğrulamasına rağmen, inceleme alanında kuzeydoğuya bakan yamaçların, kuzeybatıya bakan yamaçlara göre heyelan duyarlılığının düşük olması, söz konusu varsayımla uyuşmamaktadır. Alansal dağılımlar dikkate alındığında, doğu-güneydoğuya bakan yamaçlarda, heyelan yoğunluğunda meydana gelen artışın, orografik yağışların etkisi ve sıcaklığa bağlı olabileceği düşünülse de elde edilen veriler, bu yorumun yapılabilmesi için yeterli değildir.



Şekil 6.16. İnceleme alanının yamaç eğim yönü haritası ve heyelanların dağılımı.



Şekil 6.17. Yamaç eğim yönü değerlerine göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım

Yamaç eğim yönü parametresinin, coğrafi yönlerle bağlı olarak sınıflandırılması ve kategorik veri olarak kullanılmasının; öznellik içereceği ve sonuçları etkileyeceği düşünüldükçe, heyelan duyarlılığı analizlerinde bu parametre, yamaç eğim yönünün her bir pikseldeki değeri temel alınarak, sayısal veri olarak kullanılmıştır.

6.7. Yamaç Şekli

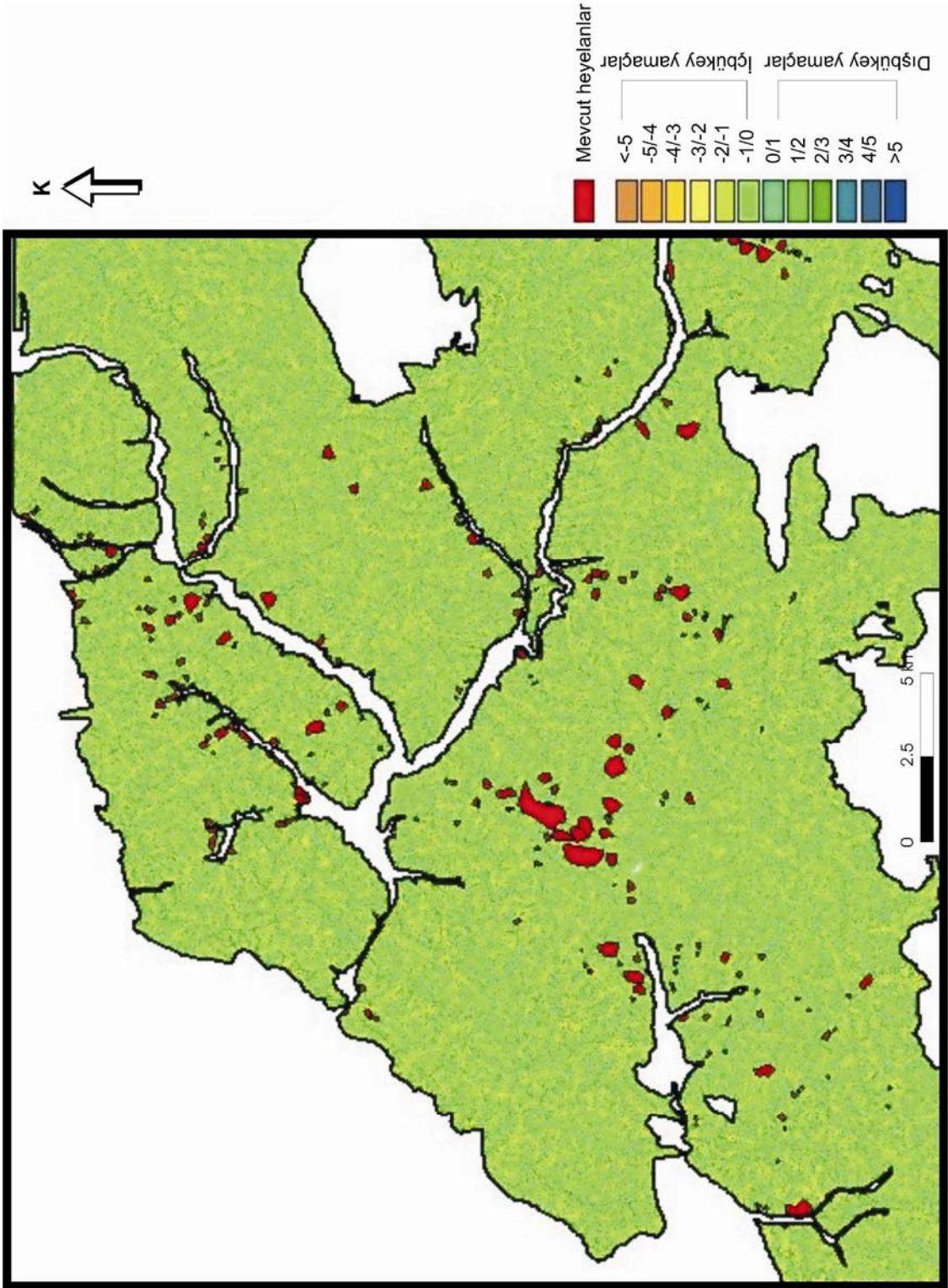
Yamaç şekli parametresi, heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılmamakla birlikte bazı çalışmalarda, dikkate alınmaktadır (Atkinson and Massari, 1997; Guzzetti et al., 2000; Baeza and Corominas, 2001; Gritzner et al., 2001; Lee and Min, 2001; Dai and Lee, 2002; Lee et al., 2003; Ercanoğlu and Gökçeoğlu, 2004; Lee et al., 2004; Yeşilnacar and Topal, 2005). Yamaç şekli; yüzey sularının, yamaç içinde birikmesi veya drene olmasını gösteren topoğrafik bir parametre olarak tanımlanmaktadır (Smith, 1988; Gao, 1993). Bu parametrenin heyelan oluşumundaki etkisi, dışbükey yamaçlarda yüzey sularının drenajına bağlı olarak ve içbükey yamaçlarda yüzey sularının malzeme içinde toplanarak yamacın doygunluk derecesini artırması şeklinde değerlendirilmektedir.

Baeza and Corominas (2001), içbükey, düz ve dışbükey olmak üzere 3 grupta sınıflandırdıkları yamaç şeklini, heyelan duyarlılık analizlerinde kullanmışlar ve içbükey yamaçların, heyelana daha duyarlı olduğunu saptamışlardır. Lee and Min (2001) tarafından yapılan çalışmada, heyelanların % 52'sinin içbükey, % 14'ünün düz ve % 34'ünün dışbükey yamaçlarda meydana geldiği ve içbükey yamaçların, heyelana daha duyarlı olduğunu belirlenmiştir. Heyelan duyarlılık analizlerinde, sayısal arazi modelinden elde ettikleri, -9 ve 7 arasında değişen yamaç şekli değerlerini kullanmışlardır. Ercanoğlu and Gökçeoğlu (2004), heyelanların % 42'sinin içbükey, % 11'inin düz ve % 47'sinin dışbükey yamaçlarda meydana geldiğini saptamışlardır.

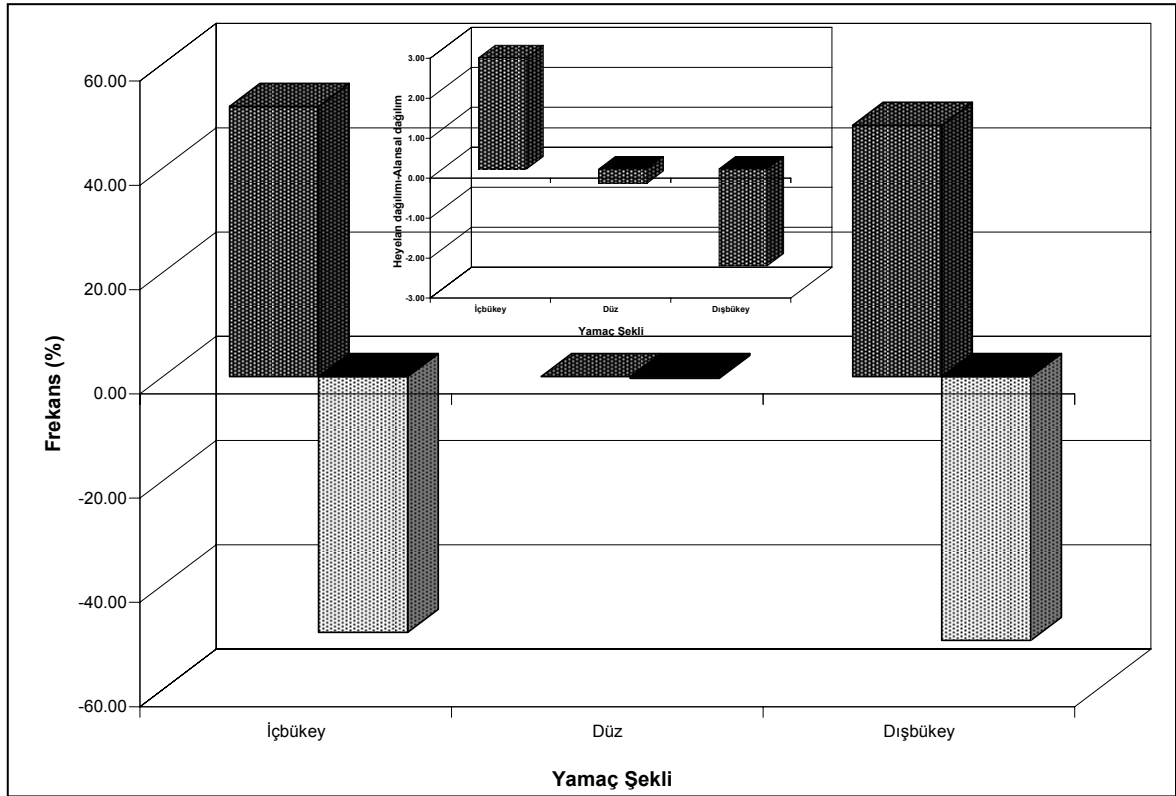
Bu çalışmada, yamaç şekli haritası, ArcGIS 9 programı kullanılarak sayısal arazi modelinden oluşturulmuştur. Genel olarak, negatif değerler, içbükey; "0" değeri, düz ve pozitif değerler, dışbükey yamaçları temsil etmektedir (Şekil 6.18). İnceleme alanındaki heyelanların, yaklaşık % 52'si içbükey ve % 48'i dışbükey yamaçlarda meydana gelmiştir (Şekil 6.19). Heyelan duyarlılığı analizlerinde, yamaç şekli parametresi; içbükey, düz ve dışbükey yamaçlar şeklinde, kategorik veri olarak değerlendirilmemiştir. Her bir pikseldeki, söz konusu parametreye ait sayısal değer temel alınarak sürekli veri şeklinde kullanılmıştır.

6.8. Drenaj Ağı

Literatürde, heyelan duyarlılığı değerlendirmelerine yönelik çalışmalarda, drenaj ağı; drenaj ağına yakınlık ve/veya drenaj yoğunluğu olmak üzere iki şekilde kullanılmaktadır. Drenaja yakınlık, akarsuların yamaç topuğunu erozyona uğratma olasılığını, drenaj yoğunluğu ise bazı bölgesel hidrojeolojik özellikleri temsil etmektedir (Süzen and Doyuran, 2004a). Genel olarak, drenaj ağına yakınlık (Mejia-Navarro and Wohl, 1994; Gökçeoğlu and Aksoy, 1996; Binaghi et al., 1998; Luzi and Pergalani, 1996; Barredo et al., 2000; Lee et al., 2001; Temesgen et al., 2001; Dai and Lee, 2002; Pistocchi et al., 2002; Ercanoğlu and Gökçeoğlu, 2004; Liu et al., 2004) ya da drenaj ağı yoğunluğu parametresi (Choubey and Litoria, 1990; Carrara, et al., 1991; Mehrotra et al., 1991; Pachauri et al., 1998; Fernandez



Şekil 6.18. İnceleme alanının yamaç şekli haritası ve heyelanların dağılımı.



Şekil 6.19. Yamaç şekline göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.

et.al., 1999; Nagarajan et al., 1998; Nagarajan et al., 2000) kullanılmakla birlikte, bazı araştırmacılar tarafından her iki parametre de dikkate alınmıştır (Süzen and Doyuran, 2004a; Yeşilnacar and Topal, 2005).

Gökçeoğlu and Aksoy (1996), heyelanların meydana gelmesinde, akarsuların; yamaç topuğunu aşındırması, akarsu seviyesinin altındaki kesimleri suya doygun hale getirmesi veya her iki durumun birlikte gerçekleşmesi şeklindeki etkileri nedeniyle, heyelan oluşumunda oldukça önemli bir parametre olduğunu belirtmişlerdir. Nagarajan et al. (2000), akarsuyun toplam uzunluğunun drenaj havzası alanına oranı ile drenaj yoğunluğunu hesaplamışlardır. Heyelanların % 70'inin, drenaj yoğunluğunun az olduğu alanlarda meydana geldiğini belirleyerek söz konusu alanlarda, süzülme kapasitesinin azaldığını ve heyelan duyarlılığının arttığını ifade etmişlerdir. Temesgen et al. (2001) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, heyelanların en yakın drenaj ağına olan uzaklığı hesaplanmıştır. Heyelanların drenaja olan uzaklıkları; 0-3 km arasında 500 m aralıklarla 6 grupta sınıflandırılmış ve heyelanların % 80'inin, drenaj ağına 500 m'den daha yakın olan alanlarda meydana geldiği saptanmıştır. Liu et al. (2004), çalışma alanındaki

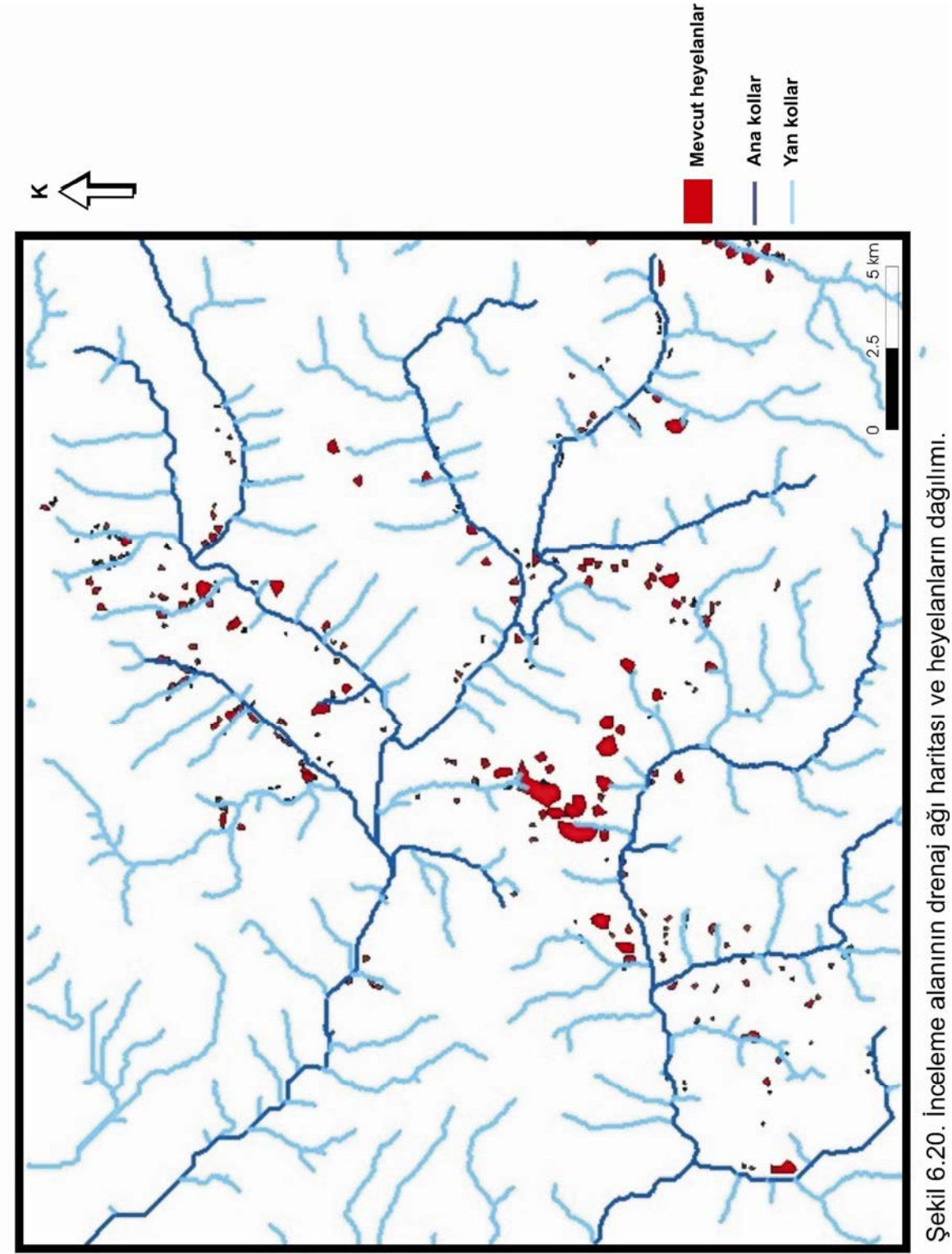
heyelanların büyük bir çoğunluğunun, akarsulara çok yakın alanlarda meydana geldiğini belirtmişlerdir. Drenaj ağına, 50 m uzaklıktaki kesimleri dikkate alarak, akarsuyun her iki tarafı için 100 m'lik bir zon oluşturmuşlardır. Araştırmacılar, bu zonun içindeki alanlara, yüksek heyelan duyarlılığını temsil eden "1" değeri ve dışında kalan alanlara, düşük heyelan duyarlılığını temsil eden "0" değeri atamışlardır.

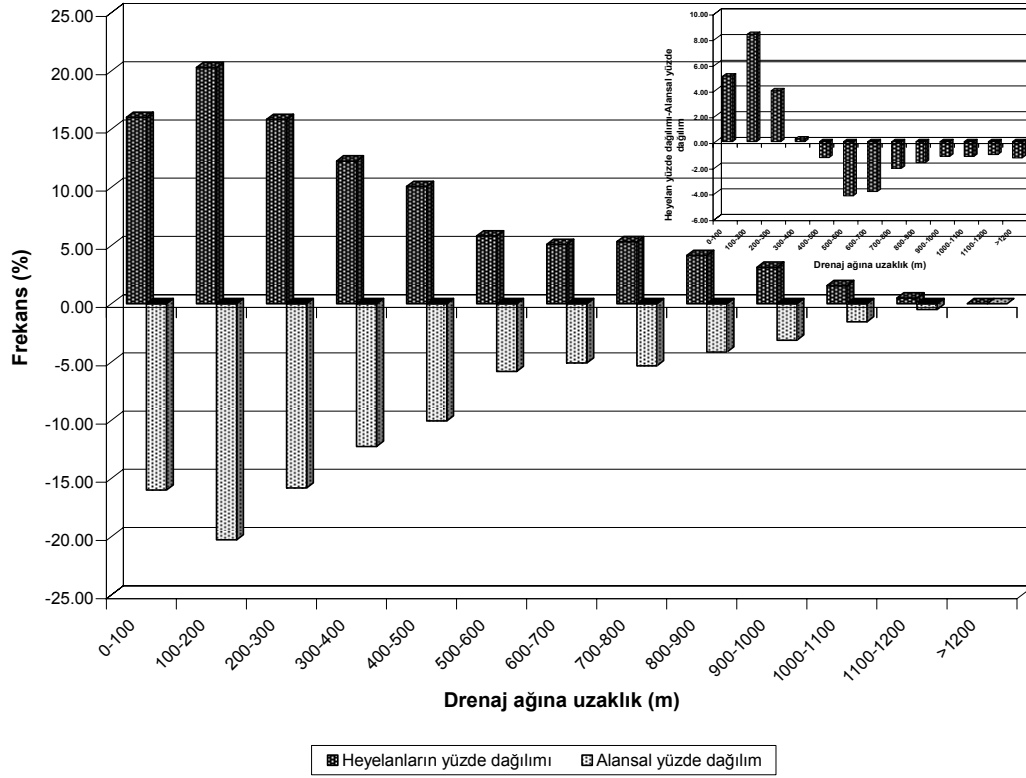
Drenaj ağı ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi amacıyla ilk aşamada, inceleme alanının drenaj ağı haritası, TauDEM 3.1. programı kullanılarak sayısal arazi modelinden üretilmiştir (Şekil 6.20). İkinci aşamada, inceleme alanında tespit edilen bütün heyelanların, en yakın drenaj ağına olan uzaklıkları hesaplanmıştır. Buna göre, mevcut heyelanların % 37'sinin, akarsulara 200 m ve daha yakın alanlarda meydana geldiği saptanmıştır (Şekil 6.21).

6.9. Sırtlara Yakınlık

Sırtlara yakınlık, heyelan duyarlılığı değerlendirmelerine yönelik çalışmalarda yaygın olarak kullanılmamakla birlikte, bazı çalışmalarda dikkate alınmaktadır (Choubey and Litoria, 1990; Choubey et al., 1991; Pachauri and Pant, 1992; Pachauri et al., 1998; Süzen and Doyuran, 2004a; Yeşilnacar and Topal, 2005). Choubey and Litoria (1990) ve Choubey et al. (1991) tarafından yapılan çalışmalarda; sırtlara yakın olan alanların, heyelana daha duyarlı olduğu belirlenmiştir. Pachauri and Pant (1992) tarafından yapılan çalışmada; sırtlara yakınlığın, heyelan oluşumunda önemli bir etkisinin olmadığı saptanmıştır. Araştırmacılar, heyelanların % 40'ının, sırt ekseninden 600-900 m uzaklıkta meydana geldiğini belirlemişler ve bu kesimlerin de, sırt ile vadi tabanının arasındaki orta yükseklikteki alanlara karşılık geldiğini ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada, sırt eksenlerine yakınlık ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi amacıyla, ArcGIS 9 programı kullanılarak sayısal arazi modelinden sırt eksenleri haritası oluşturulmuş (Şekil 6.22) ve mevcut heyelanların en yakın sırt eksenine olan uzaklıkları hesaplanmıştır. Mevcut heyelanların % 44'ü, sırt eksenlerine 200 m ve daha yakın alanlarda meydana gelmiştir (Şekil 6.23). Arazi çalışmaları sırasında, toprak akması türündeki heyelanların, genellikle sırt eksenlerine daha yakın alanlarda meydana geldiği gözlemlenmiştir.





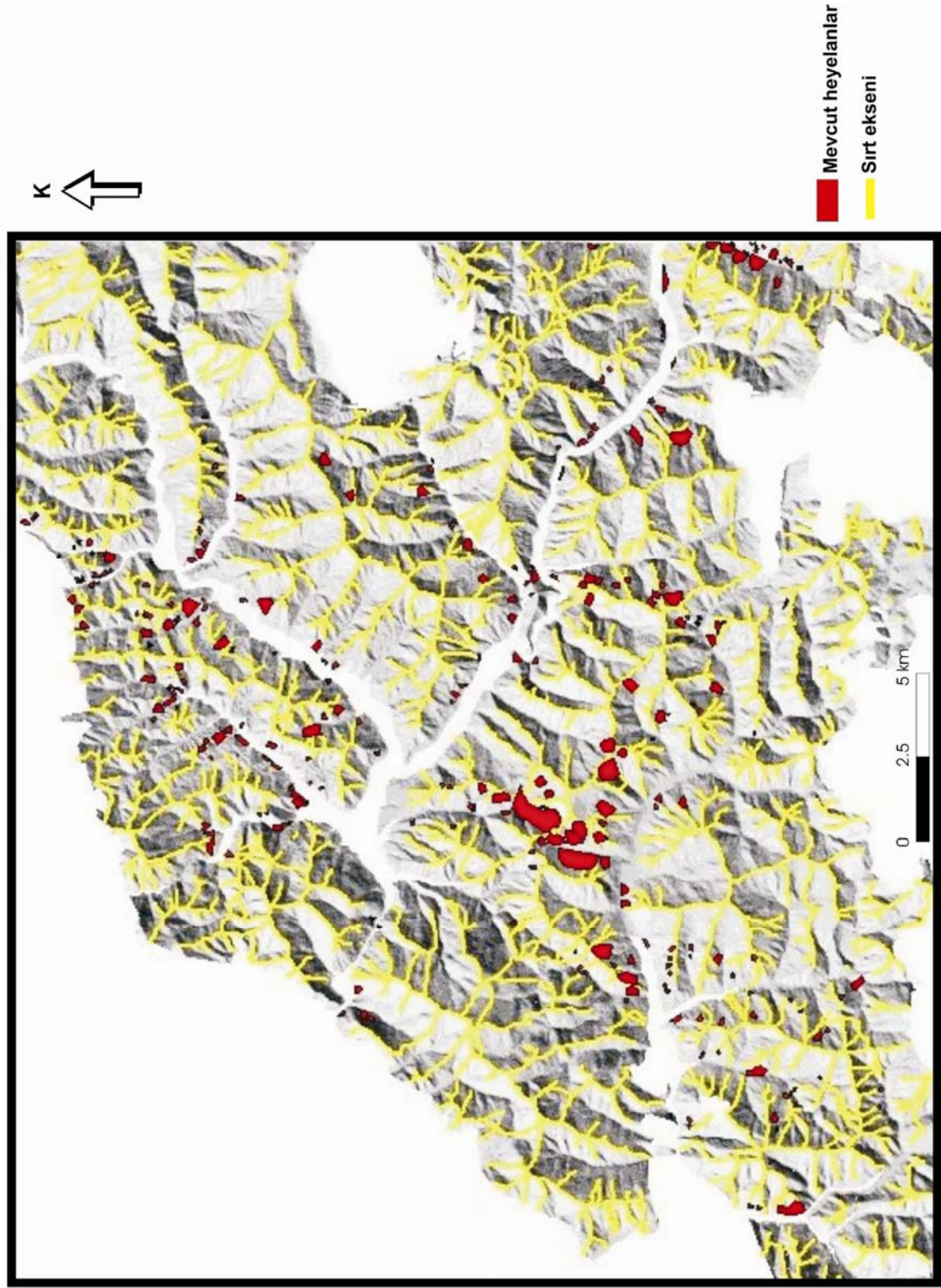
Şekil 6.21. Drenaj ağına olan uzaklığa göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.

6.10. Topoğrafik Nemlilik İndeksi

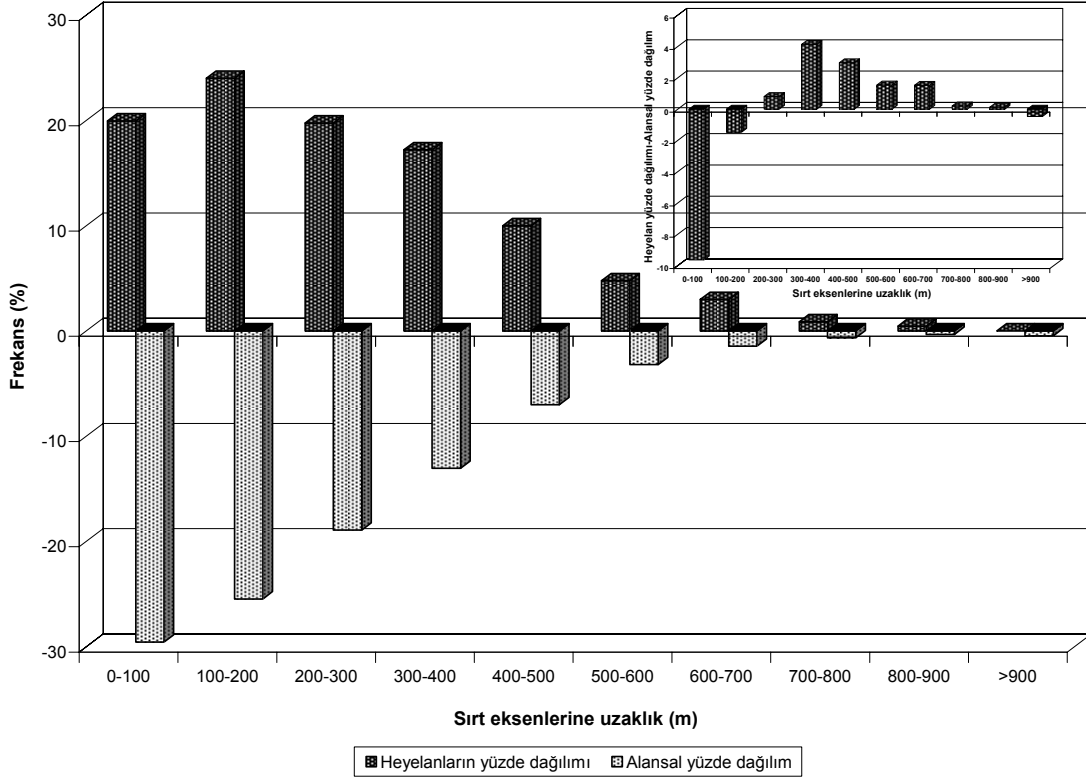
Topoğrafik nemlilik indeksi; akarsu havzası içindeki bir noktada, su akışının toplamı olarak tanımlanmaktadır. Söz konusu indeks, bir akarsu havzasındaki herhangi bir noktada suyun toplanması ve yerçekimi etkisiyle eğim yönünde hareketini göstermektedir. Topoğrafik nemlilik indeksi değeri, Eş. 6.1’de verilen şekilde hesaplanmaktadır (Moore, et al. 1988).

$$\omega = \ln (A_j / \tan \beta) \quad (\text{Eş. 6.1})$$

Bu eşitlikte, ω , topoğrafik nemlilik indeksini; A_j , su toplayabilme alanını ve β , yamaç eğimini temsil etmektedir. Topoğrafik özelliklere dayanan bir parametre olan ve su akışının alansal dağılımının yansıtılabildiği topoğrafik nemlilik indeksi değerleri, heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde bir girdi parametresi olarak kullanılmıştır.

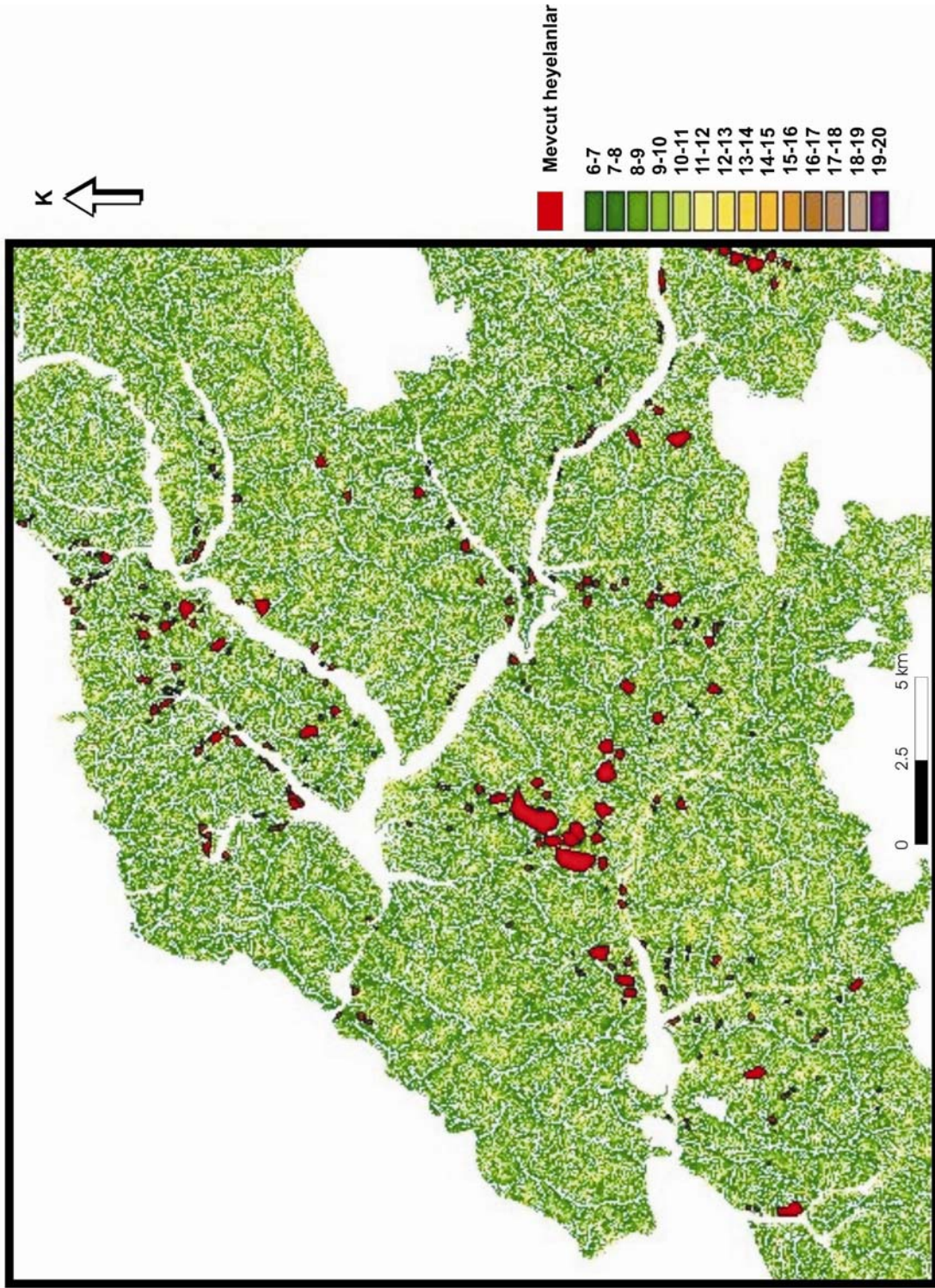


Şekil 6.22. İnceleme alanının sırt eksenleri haritası ve heyelanların dağılımı.

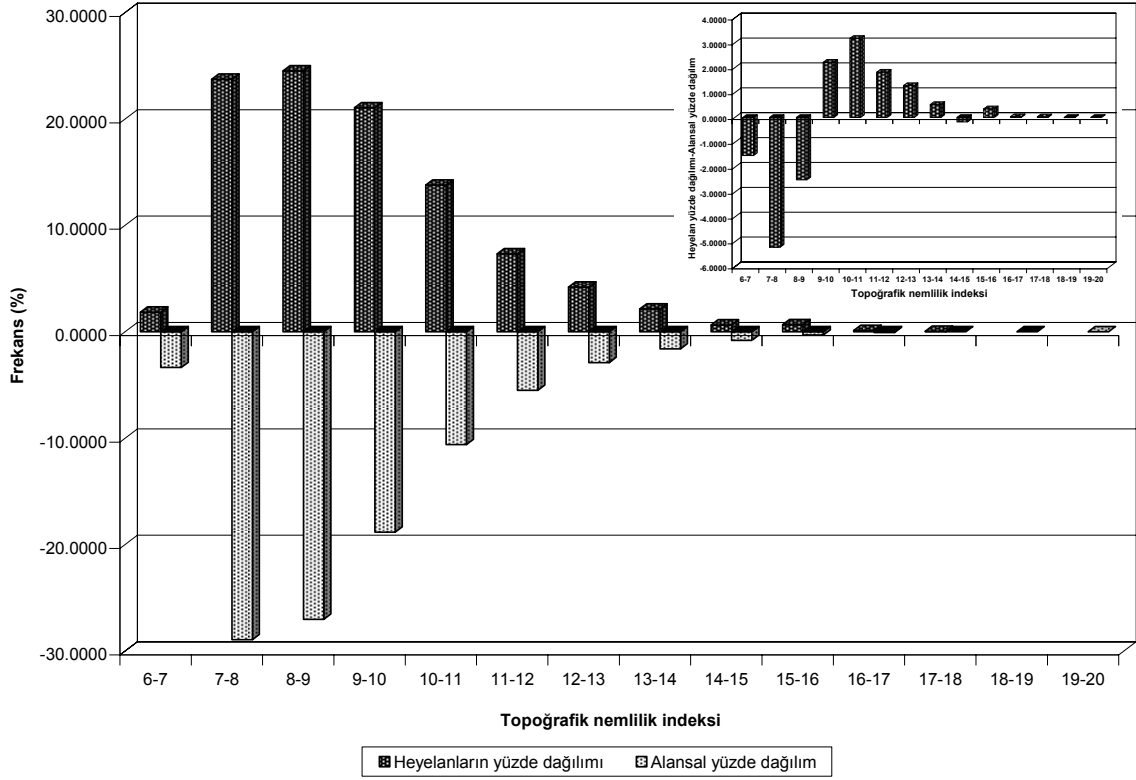


Şekil 6.23. Sırtlara olan yakınlığa göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.

Doktora tez çalışması kapsamında, topoğrafik nemlilik indeksi değerlerinin hesaplanabilmesi için ArcGIS 9 programı kullanılmıştır. Sayısal arazi modelinden üretilen inceleme alanının topoğrafik nemlilik indeksi haritası, Şekil 6.24’de sunulmaktadır. Topoğrafik nemlilik indeksi değerleri, 6 ile 20 arasında değişmekte olup inceleme alanının % 89’u, 11’den düşük topoğrafik nemlilik indeksi değerlerine sahiptir. Heyelanların, söz konusu değerlere göre dağılımı incelendiğinde; mevcut heyelanların % 70’inin, 7 ile 10 arasında değişen nemlilik indeksi değerlerine sahip alanlarda meydana geldiği görülmektedir (Şekil 6.25).



Şekil 6.24. İnceleme alanının topoğrafik nemlilik indeksi haritası ve heyelanların dağılımı.



Şekil 6.25. Topoğrafik nemlilik indeksi değerlerine göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılımı.

6.11. Bitki Örtüsü Yoğunluğu

Literatürde, heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde yaygın olarak kullanılan bitki örtüsü yoğunluğu, araştırmacılar arasında heyelan oluşumunda etkin olan önemli parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir (Gupta and Joshi, 1990; Choubey et al., 1991; Anbalagan and Singh, 1996; Atkinson and Massari, 1997; Gökçeoğlu and Aksoy, 1996; Nagarajan et al., 1998; Pachauri et al., 1998; Turrini and Visintainer, 1998; Fernandez et al., 1999; Nagarajan et al., 2000; Baeza and Corominas, 2001; Pistocchi et al., 2002; Zhou et al., 2002; Remondo et al., 2003; Tangestani, 2003; Ercanoğlu and Gökçeoğlu, 2004; Süzen and Doyuran, 2004a; Yeşilnacar and Topal, 2005).

Bitki örtüsü olmayan veya seyrek bitki örtüsü ile kaplı alanlar, hızlı erozyona maruz kalırlar ve heyelana daha duyarlıdırlar. Genellikle, bitki örtüsü ile kaplı alanlarda bozunma ve erozyon etkisinin azalması, heyelan duyarlılığını azaltmaktadır (Mulder and Van Asch, 1988; Anbalagan, 1992). Bitki örtüsünün, suyu tutma ve

buharlaştırma özelliğine bağlı olarak yoğun bitki örtüsü ile kaplı alanlarda, yamacı oluşturan malzeme içine süzülen su miktarı azalmaktadır. Bitki kökleri, zemin içindeki suyu, terleme yoluyla atmosfere vermekte ve gözenek suyu basıncının azalmasına neden olmaktadır. Bitki örtüsünün bu özellikleri, heyelan duyarlılığını azaltıcı yönde bir rol oynamaktadır (Greenway, 1987; Turrini and Visintainer, 1998; Nagarajan et al., 2000). Ancak, bitki örtüsünün duraylılığı azaltacak yönde etkileri de bulunmaktadır. Bitki kökleri, zemin pürüzlülüğü ve geçirgenliğini artırarak yağışlardan sonra suyun süzülmesine katkıda bulunabilmekte ve kaya kütlelerinde süreksizlikler içine girerek bozunmayı artırabilmekte ve parçalanmaya neden olarak kayacın dayanımını azaltabilmektedir (Nagarajan et al., 2000). Willmott (1984), Avustralya'da Queensland bölgesinde yaptığı çalışmada, ağaçların etkisiyle yeraltı suyunun yükselmesi sonucunda, heyelanların meydana geldiğini kanıtlamıştır. Ancak, bir çok araştırma, iyi gelişmiş bir kök sisteminin, yamacı oluşturan malzemenin makaslama dayanımını artırarak heyelan duyarlılığını azalttığını göstermiştir (Greenway, 1987; Anbalagan, 1992; Turrini and Visintainer, 1998).

Heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde bitki örtüsü yoğunluğu, arazi gözlemleri, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri kullanılarak belirlenmektedir. Pachauri and Pant (1992), hava fotoğrafları kullanarak çalışma alanını; seyrek bitki örtüsü ile kaplı alanlar, tarım alanları ve yoğun bitki örtüsü ile kaplı alanlar olmak üzere 3 grupta sınıflandırmışlardır. Seyrek bitki örtüsü ile kaplı alanlar ve tarım alanlarında, heyelan yoğunluğunun arttığını saptamışlardır. Temesgen et al. (2001) tarafından yapılan çalışmada, uydu görüntüleri kullanılarak oluşturulan bitki örtüsü yoğunluğu indeksi (NDVI) değerlerine göre bitki örtüsü yoğunluğu belirlenmiş ve yoğun bitki örtüsü ile kaplı alanların heyelan duyarlılığının düşük olduğu saptanmıştır.

Bu çalışmada, inceleme alanının bitki örtüsü yoğunluğu, Landsat ETM uydu görüntüleri kullanılarak elde edilen normalleştirilmiş bitki örtüsü indeksi değerlerine göre belirlenmiştir. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) olarak adlandırılan bitki örtüsü yoğunluğu indeksi değerinin hesaplanmasında temel alınan yaklaşım, Rouse et al. (1974) tarafından önerilen ve güneş ışığının bitkiler tarafından absorbe edilmesi ve yansıtılması ilkesine dayanmaktadır. Bitki örtüsü yoğunluğu indeksi değeri, elektromanyetik spektrumda görünür kırmızı ve yakın

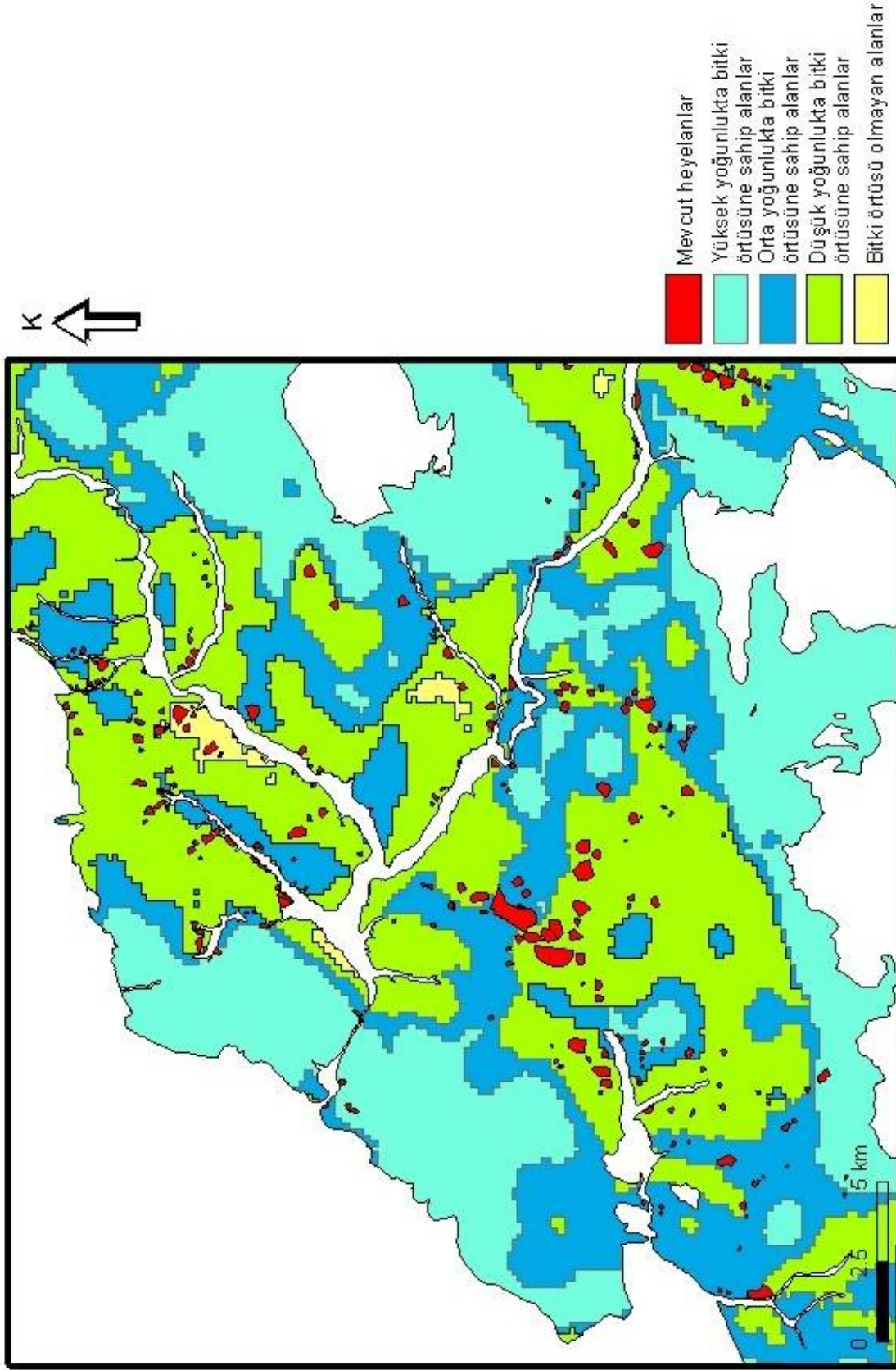
kızılötesi bandlar arasındaki doğrusal ilişkiyi temel alan bir indeks değeri olup görüntünün alındığı anda, fotosentetik olarak aktif olan ve/veya olmayan bitki kütlelerinin, ışığı absorbe etme ve yansıtma özelliklerini ifade etmektedir. Bilindiği üzere nesneler, güneş ışığını, belirli dalga boyları için absorbe etme ve yansıtma özelliklerine sahiptirler. Bitki türleri için, yapraklarında bulunan pigmentler (klorofil), görünür dalga boyundaki ışığı (0,4-0,7 µm) fotosentez sürecinde kullanmak üzere absorbe etmekteyken, yakın kızılötesi dalga boyundaki ışığı (0.7-1.1 µm) ise yansıtmaktadırlar.

NDVI değeri, Landsat ETM uydu görüntüsü kullanılarak, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

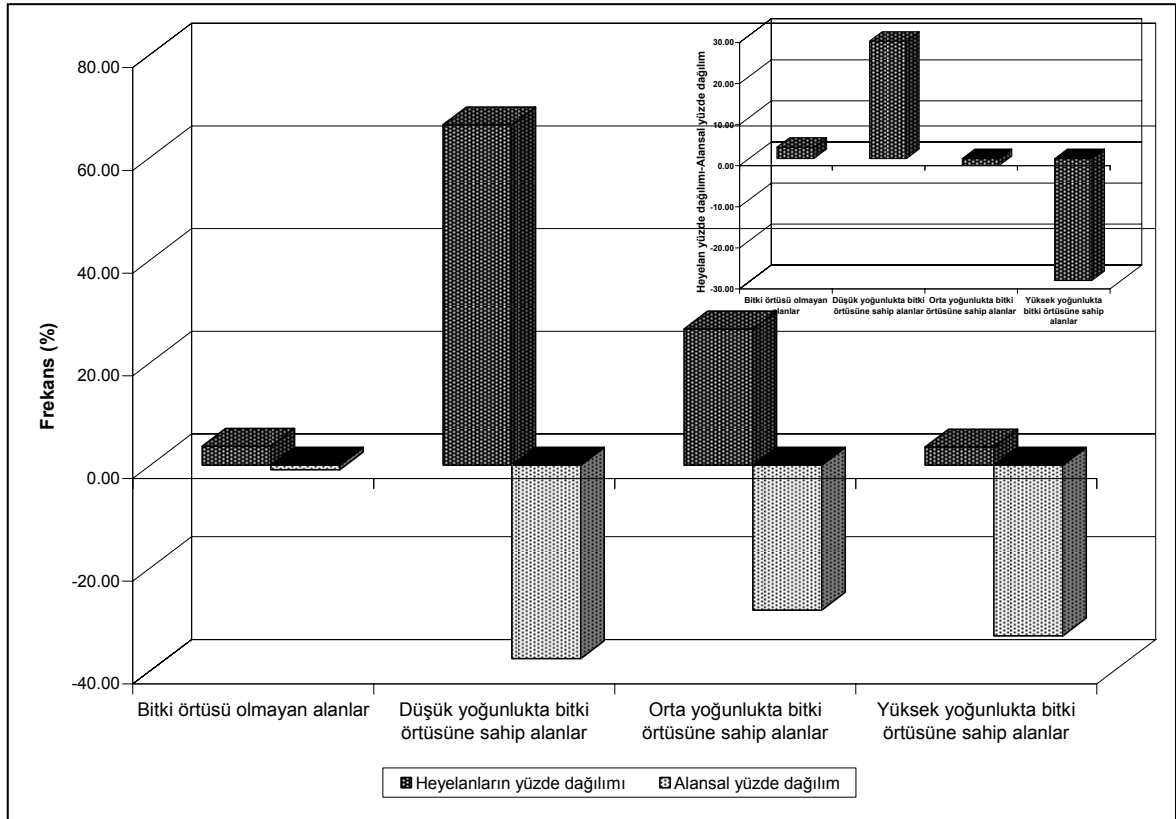
$$NDVI = \left[\frac{4. \text{Band} - 3. \text{Band}}{4. \text{Band} + 3. \text{Band}} \right] \quad (Jensen, 1986) \quad (\text{Eş. 6.2})$$

Bitki örtüsü yoğunluğunun yorumlanması için ayrıca ER Mapper 5.5 programı kullanılarak, farklı band konfigürasyonları için gözetimsiz (unsupervised) ve gözetimli (supervised) sınıflamalar yapılmıştır. Bu sınıflamalar, oluşturulan bitki örtüsü indeksi baz alınarak elde edilmiştir. Bitki örtüsünün en iyi temsil edildiği band konfigürasyonu için filtreleme yapılarak veriler, ArcGIS 9 veri tabanına dönüştürülmüştür. Buna göre, inceleme alanı; bitki örtüsü olmayan alanlar, düşük yoğunlukta bitki örtüsü ile kaplı alanlar, orta yoğunlukta bitki örtüsü ile kaplı alanlar ve yüksek yoğunlukta bitki örtüsü ile kaplı alanlar olmak üzere 4 sınıfa ayrılmıştır.

Şekil 6.26'da, inceleme alanının bitki örtüsü yoğunluğu haritası ve mevcut heyelanların dağılımı sunulmaktadır. Çalışma alanının yaklaşık % 33'ünü yüksek yoğunlukta, % 28'ini orta yoğunlukta, % 38'ini düşük yoğunlukta bitki örtüsüne sahip alanlar ve % 1'ini bitki örtüsü olmayan alanlar kapsamaktadır. Mevcut heyelanların, yaklaşık % 70'i bitki örtüsü olmayan veya düşük yoğunluğa sahip bitki örtüsü ile kaplı alanlarda, % 26'sı orta yoğunlukta ve % 4'ü yüksek yoğunlukta bitki örtüsü ile kaplı alanlarda meydana gelmiştir (Şekil 6.27). Heyelan duyarlılık analizlerinde, söz konusu parametre, her bir pikseldeki NDVI değeri dikkate alınarak sürekli veri şeklinde kullanılmıştır.



Şekil 6.26. İnceleme alanının bitki örtüsü yoğunluğu haritası ve heyelanların dağılımı.



Şekil 6.27. Bitki örtüsü yoğunluğuna göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılım.

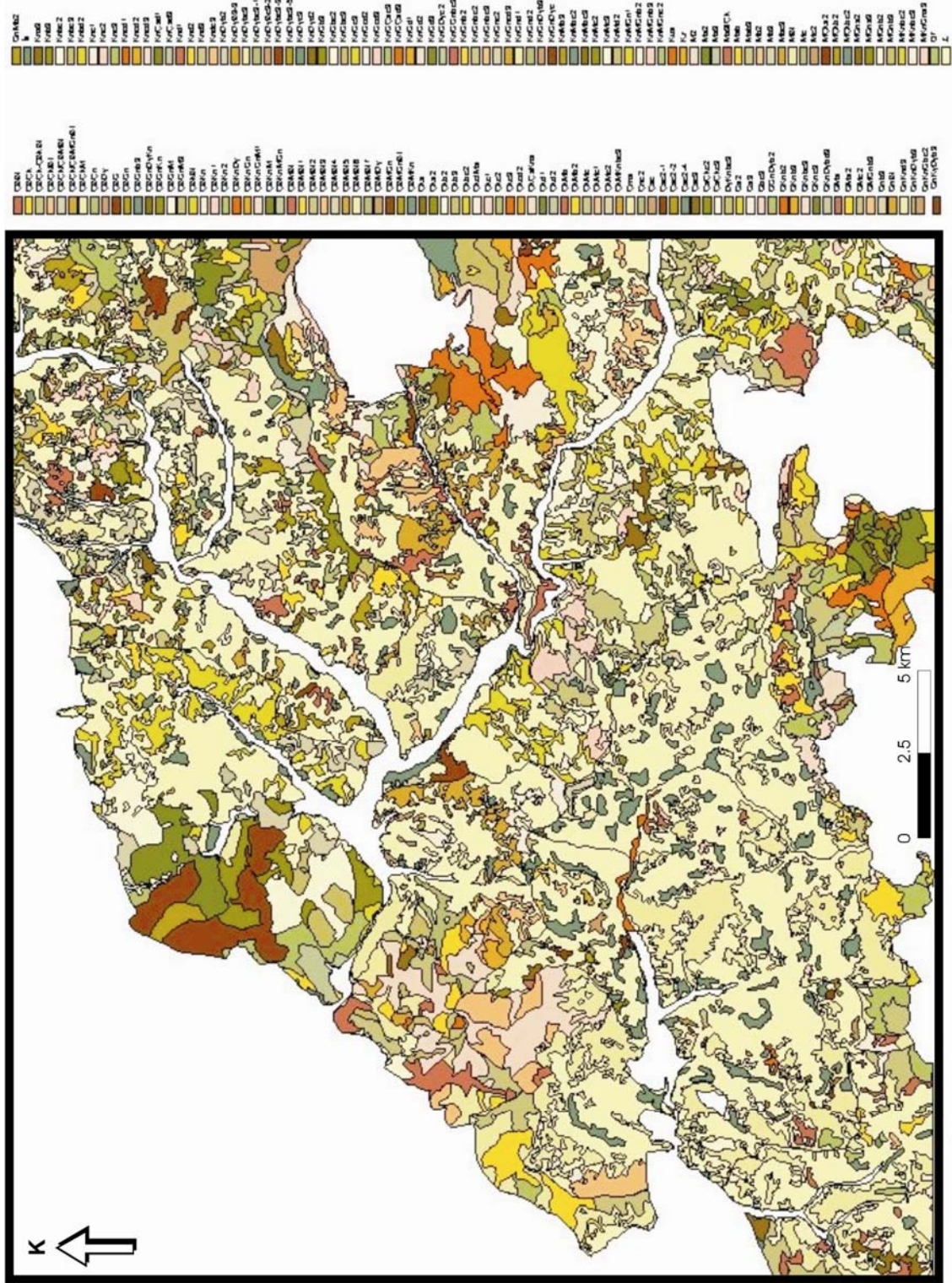
6.12. Bitki Türü

Bitki örtüsünün duraylılık üzerindeki etkisi, önemli ölçüde bitki örtüsü yoğunluğu ve özellikle bitki türüne bağlıdır (Greenway, 1987). Lee and Min (2001) tarafından yapılan çalışmada, bitki örtüsü parametresi; ağaç türü, yaşı, çapı ve yoğunluğu temel alınarak değerlendirilmiştir. Çapı 6 cm' den küçük olan ağaçlarla kaplı alanlarda, heyelan yoğunluğunda artış olduğunu ve çapı 6-16 cm arasında olan ağaçlarla kaplı alanlarda, heyelan yoğunluğunun azaldığını saptamışlardır. Büyük çaplı ağaçların, güçlü kök yapısına sahip olması nedeniyle su tutma kapasitesinin yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılar, kök yapısı ve derinliğinin, bitkilerin yaşına bağlı olduğunu belirtmişler ve ağaçların yaşını dikkate alarak ormanlık alanları; 1-10 yıl, 11-20 yıl ve 21-30 yıl olmak üzere 3 sınıfa ayırmışlardır. Yaşı, 1-10 yıl olan ağaçlarla kaplı alanların heyelan duyarlılığının, yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Lee et al. (2003) tarafından yapılan çalışmada da, ağaç çapı ve yaşı dikkate alınmış ve heyelanların % 94 ünün, bitki örtüsünün olmadığı ve yaşı, 1-20 yıllık ağaçlarla kaplı alanlarda oluştuğu saptanmıştır.

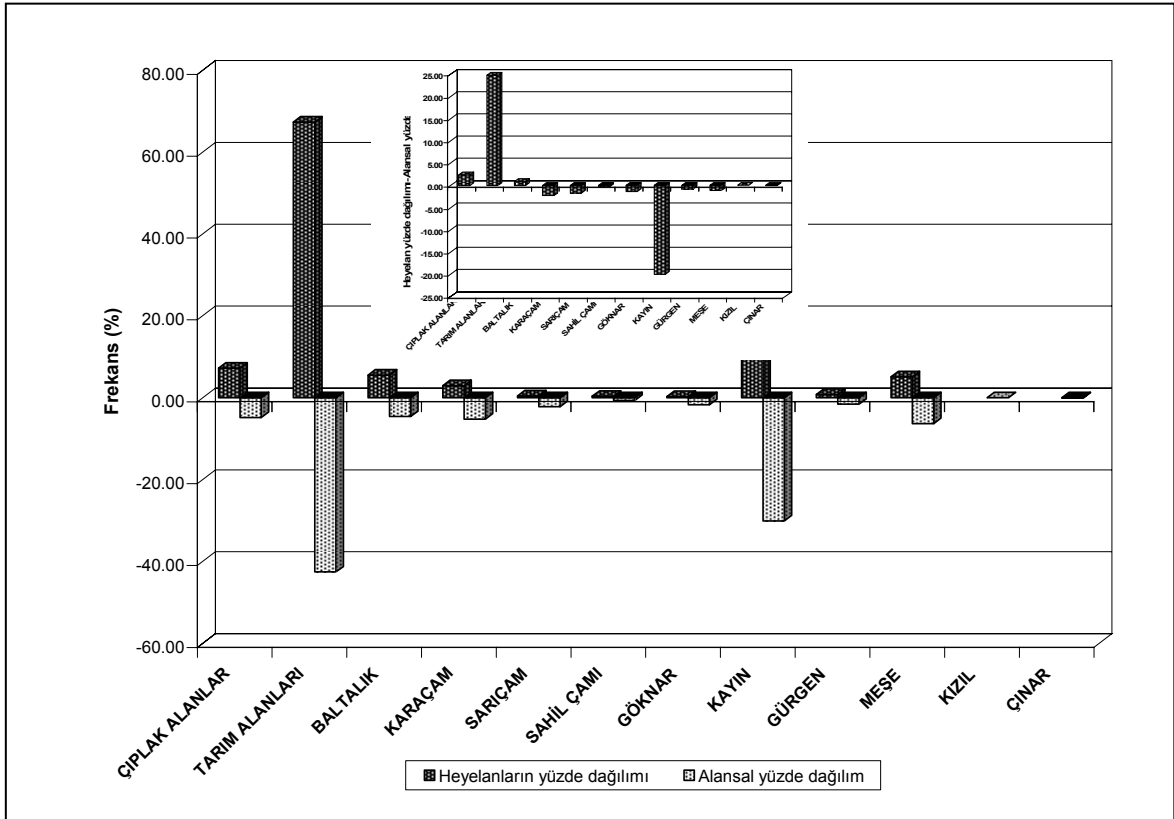
Bu çalışmada, arazi gözlemleri sonucunda, yoğun bitki örtüsü ile kaplı alanlarda da heyelanların meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu nedenle, bitki örtüsü yoğunluğunun yanı sıra, bitki türünün de heyelan oluşumunda etkin bir parametre olabileceği sonucuna varılmıştır. Bitki türünün, heyelan oluşumu üzerindeki etkisini araştırmak ve ayrıntılı bir değerlendirme yapabilmek amacıyla inceleme alanının bitki türü haritası oluşturulmuştur. Orman Genel Müdürlüğü'nden alınan inceleme alanının 1/25000 ölçekli orman haritaları, gelişme çağı ve kapalılık oranları dikkate alınarak, bu çalışma kapsamında sayısallaştırılmıştır. İnceleme alanının bitki türlerini gösteren orman haritası, Şekil 6.28'de, orman haritasında yer alan bitki türü ve özellikleri Ek 1'de sunulmaktadır.

Çalışma alanı içerisinde yer alan ağaç türleri, karaçam, sarıçam, sahil çamı, göknar, gürgen, meşe ve kayın olup söz konusu ağaç türleri, inceleme alanında karışık bitki toplulukları şeklinde de bulunmaktadır. Bitki türlerinin sınıflandırılmasında, karışık bitki topluluklarında hakim olan bitki türü temel alınmıştır. Genel olarak değerlendirildiğinde; inceleme alanının yaklaşık, % 5'ini bitki örtüsü olmayan alanlar, % 43'ünü tarım alanları, % 30'unu kayın, % 6'sını meşe, % 6'sını karaçam, % 2'sini sarıçam, % 2'sini göknar ve % 2'sini gürgen ağaçları kaplamaktadır. İnceleme alanındaki heyelanların yaklaşık, % 7'si bitki örtüsü olmayan alanlarda, % 67'si tarım alanlarında, % 10'u kayın, % 5'i meşe, % 3'ü karaçam, % 1'i de gürgen ağaçlarıyla kaplı alanlarda meydana gelmiştir (Şekil 6.29).

Karaçam, sarıçam, sahil çamı ve göknar, kazık kök; kayın, yürek kök; gürgen ve meşe, yayvan kök yapısına sahiptir. Toprak ve kaya zeminde yaşayabilme özelliğine sahip olan karaçam ve sarıçam, çok derin (en fazla 5-6 m) kök yapabilme özelliğine sahip olan ağaç türleridir. Batı Karadeniz bölgesinde yapılan çalışmalarda, bu tür ağaçların genellikle, 1 m'den daha fazla kök derinliğine sahip olduğu belirlenmiştir. Yüksek topoğrafyada yaşayan ve kazık kök yapısına sahip olan göknar, toprak ve kaya zeminde yaşayabilmektedir. Göknar ağacı, derin kök yapısına sahip olmakla birlikte kök derinliği, karaçam ve sarıçamdan daha azdır. Alçak topoğrafya ve toprak zeminde yetişen sahil çamı, Batı Karadeniz bölgesinde (a) gelişme çağında yaklaşık 15 cm, (b) gelişme çağında yaklaşık 25 cm, (c) gelişme çağında yaklaşık 40 cm ve (d) gelişme çağında 65 cm kök derinliğine



Şekil 6.28. İnceleme alanının orman haritası.



Şekil 6.29. Bitki türüne göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılımı.

sahiptir. Yürek kök yapısına sahip olan kayın, yüksek ve düşük topoğrafyalarda bulunabilmektedir ve yaklaşık kök derinliği 30-50 cm'dir. Batı Karadeniz Bölgesi'nde yetişen gürgen ve meşe, yayvan kök yapısına sahiptir ve kökleri fazla derine inmemektedir. Çok kısa bir kazık kök ve fazla derine inmeyen, ince ve yaygın yan köklere sahiptir (Kayacık, 1965; Çepel, 1995; Anşin ve Özkan, 1997; Anşin 2001; Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları).

İnceleme alanında gelişen heyelanlar ile bitki türü arasındaki ilişkiler, Çizelge 6.2'de verilen gelişme çağı ve kapalılık oranlarına göre değerlendirilmiştir. Ancak, ağaçların; boy, çap ve kök derinlikleri gibi özelliklerinin, heyelan oluşumu üzerindeki etkisi konusunda doğru ve güvenilir değerlendirmelerin yapılabilmesi, heyelanların meydana geldiği tarihlerin ve söz konusu tarihlerde, ormanlık alanların özelliklerinin bilinmesini gerektirmektedir. Bu nedenle, ağaçların özelliklerinin, heyelan oluşumu üzerindeki etkisine yönelik yorumlar, sadece genel bir değerlendirme niteliği taşımaktadır. Heyelan duyarlılığı analizlerinde, yanlış değerlendirmelerin yapılmasını engellemek amacıyla, söz konusu özellikler kullanılmamış ve sadece bitki türleri dikkate alınmıştır.

Çizelge 6.2. Bitki türlerinin gelişme çağı ve kapalılık oranlarının tanımlanma indeksi.

GELİŞME ÇAĞLARI	TANIMLAMA
a	<i>Gençlik ve sıklık</i> ; 1.30 m'deki kabuklu çapları 7.9cm'ye kadar
b	<i>Sırlıklık ve direklik</i> ; 1.30 m'deki kabuklu çapları 8-19.9 cm'ye kadar
c	<i>İnce ağaçlık</i> ; 1.30 m'deki kabuklu çapları 20-35.9 cm'ye kadar
d	<i>Orta ağaçlık</i> ; 1.30 m'deki kabuklu çapları 36-51.9 cm'ye kadar
e	<i>Kalın ağaçlık</i> ; 1.30 m'deki kabuklu çapları 52 cm'den büyük

KAPALILIK ORANLARI	TANIMLAMA
0	<i>Boşluklu kapalı</i> :Tepe kapalılığı %10 ve daha az
1	<i>Gevşek kapalı</i> :Tepe kapalılığı %11-%40'a kadar
2	<i>Orta kapalı</i> :Tepe kapalılığı %41-%70'e kadar
3	<i>Kapalı ve tam kapalı</i> :Tepe kapalılığı %71-%100'e kadar
4	<i>Sıkışık veya girift kapalı</i> :Tepe kapalılığı %100'den fazla

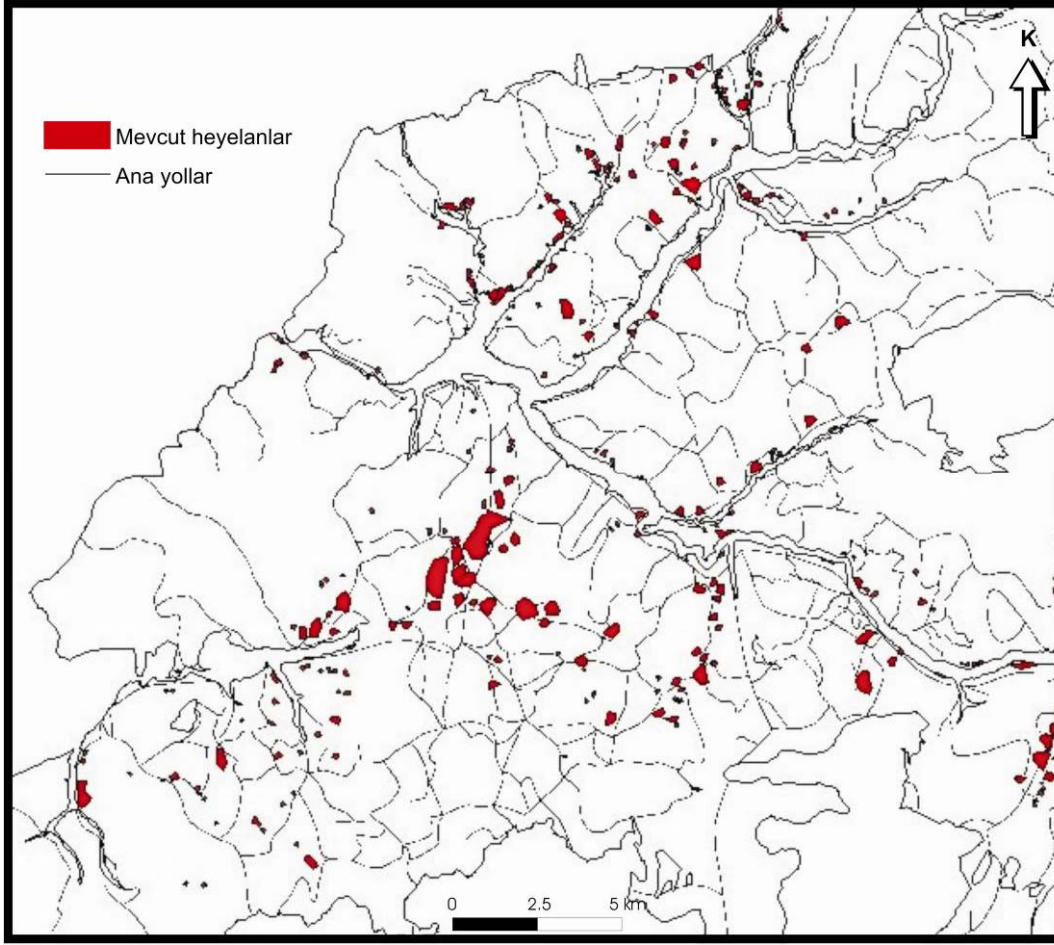
Bitki örtüsü ile kaplı alanlarda meydana gelen heyelanların % 10'u, yürek kök yapısına sahip kayın ağacıyla kaplı, ormanlık alanlarda gelişmiştir. Heyelanların geliştiği kayın ile kaplı alanların % 93'ü; b ve c gelişme çağındaki ağaçlarla kaplıdır. Gelişme çağı, d olan kayınla kaplı alanlarda, kök derinliğinin artmasına bağlı olarak heyelan duyarlılığının azaldığı düşünülmektedir. Heyelanların % 5'i, meşe ağacı ile kaplı alanlarda gelişmiştir. Özellikle, alansal dağılım dikkate alındığında, bu bitki türüyle kaplı alanlardaki heyelan yoğunluğu, diğer bitki türleriyle kaplı alanlara göre daha fazladır. Bu alanların gelişme çağı ve kapalılık oranları incelendiğinde; % 1.5'inin kapalılık oranı, % 10'dan az ve % 3.5'inin kapalı veya tam kapalı alanlarda, b, c ve d gelişme çağlarında geliştiği belirlenmiştir. Kapalılık oranı yüksek olan ve her gelişme çağında meşe ormanları ile kaplı alanlarda da heyelanların meydana gelmesi nedeniyle bu ağaç türünün, kök yapısı ve derinliğinin heyelan oluşumu üzerinde etkin olduğu düşünülmektedir. Heyelanların % 1'inin meydana geldiği ve inceleme alanının çok küçük bir kesimini kapsayan gürgen ağacı da, meşe gibi sık kök yapabilme özelliğine sahiptir.

Çok derin kazık kök yapabilme özelliğine sahip karaçamla kaplı alanlarda gelişen heyelanlar, toplam heyelanların % 3'ünü kapsamaktadır. Ancak, heyelanların geliştiği karaçam ormanlarının, a gelişme çağında ve kapalılık oranı %10'dan küçük, çok bozuk orman alanları olduğu saptanmıştır. Mevcut heyelanların; gelişme çağı, büyük ve orta kapalı, kapalı ve sıkışık kapalı karaçam ormanlarında gelişmediği belirlenmiştir.

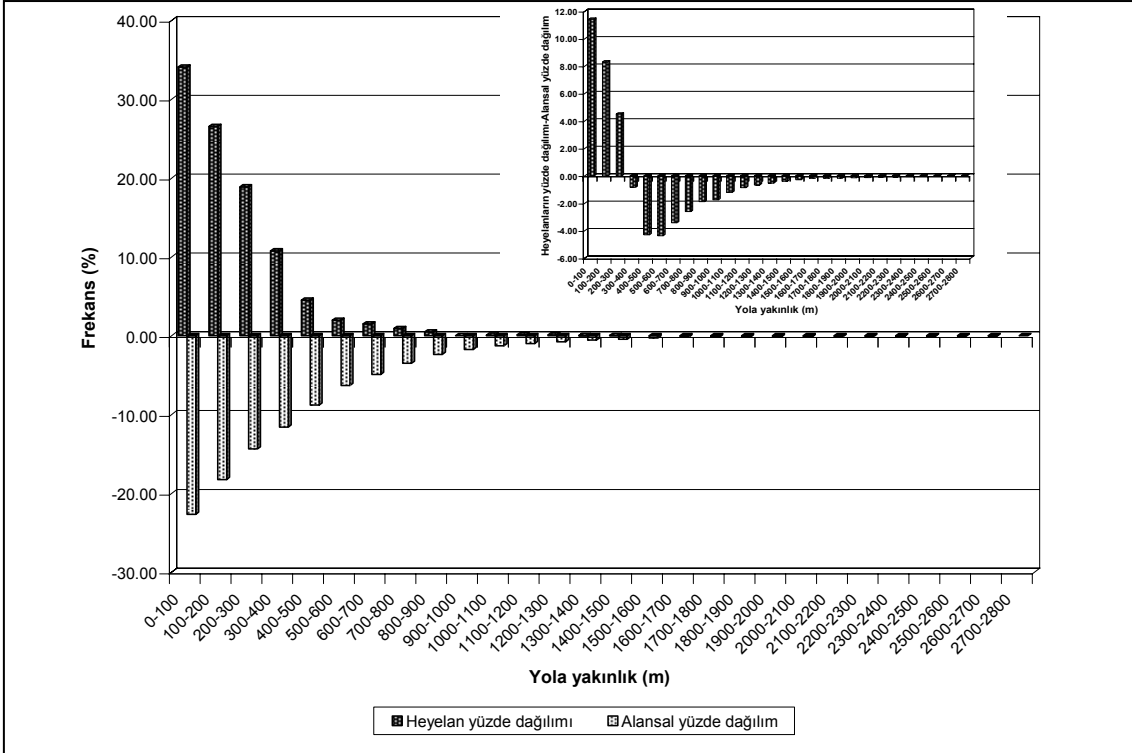
6.13. Yollara yakınlık

Bu parametrenin heyelan oluşumu üzerindeki etkisi, genellikle yol yapımı için açılan kazılar sonucunda yamaçların doğal dengesinin bozulması ile heyelanların oluşması şeklinde değerlendirilmektedir. Heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde, araştırmacılar tarafından yollara yakınlık ve yol yoğunluğu olmak üzere iki şekilde kullanılmaktadır (Pachauri and Pant, 1992; Maharaj, 1993; Nagarajan et al., 1998; Tangestani, 2003; Süzen and Doyuran, 2004a; Ayalew and Yamagishi, 2005; Yeşilnacar and Topal, 2005). Yol yoğunluğunu dikkate alan Maharaj (1993), heyelanların meydana gelmesinde bu parametrenin oldukça etkin olduğunu ve özellikle bozunma sonucu oluşan toprak zeminlerde, heyelan yoğunluğunun arttığını belirlemiştir. Nagarajan et al. (1998), yollardan 50 m uzaklıktaki alanlar için zonlama yaparak bu alanlar için yüksek, zonlama alanı dışında kalan kesimler için düşük heyelan duyarlılığını temsil eden değerler atamışlar ve yollara uzaklık parametresini, duyarlılık değerlendirmelerinde kategorik veri olarak kullanmışlardır. Ayalew and Yamagishi (2005), tarafından yapılan çalışmada da, arazi gözlemlerine dayalı olarak yollara 40 m uzaklıktaki alanlar için zonlama yapılmış ve heyelan duyarlılık analizleri sonucunda yollara yakınlık, heyelanların oluşmasında en etkin parametre olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada, arazi çalışmaları sırasında, heyelanların meydana gelmesinde yol ağının etkin olduğu gözlenmiştir. Çalışma alanındaki ana yolları ve köy yollarını içeren yol ağı haritası, Ankara İl Özel İdaresi Köye Yönelik Hizmetler Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. İnceleme alanının yol ağı haritası ve heyelanların dağılımı Şekil 6.30' da sunulmaktadır. Mevcut heyelanların, % 70'i yollara 100 m ve daha yakın alanlarda meydana gelmiştir (Şekil 6.31).



Şekil 6.30. İnceleme alanının yol ağı haritası ve heyelanların dağılımı.



Şekil 6.31. Yollara yakınlığa göre heyelanların yüzde dağılımı ve alansal dağılımı.

7. İKİ DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL ANALİZ YÖNTEMİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ OLUŞTURULMASI

Heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde, iki değişkenli istatistiksel analizlerin kullanılması, ilk kez Brabb et al. (1972) tarafından önerilmiştir. Bu yöntemin temeli, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin, birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesi ve parametrelerin heyelan yoğunluğuna göre sınıflandırılarak her bir sınıfa, ağırlık değerlerinin atanması ilkesine dayanmaktadır. Parametre sınıflarının ağırlık değerleri, genellikle heyelan yoğunluğuna bağlı olarak sınıflara puan atanması veya parametre sınıflarındaki heyelanlı alanların toplam alana oranı ile oluşturulan duyarlılık indeksine göre belirlenmektedir. Parametre sınıflarına ağırlık değerleri atandıktan sonra parametre haritaları, ya eşit ağırlıklarda (Maharaj, 1993; Uromeihy and Mahdaviyar, 2000; Lee and Min, 2001) ya da her bir parametreye heyelan oluşumunda etkin olma derecesine göre öznel olarak atanan ağırlık değerleri kullanılarak çakıştırılmakta ve sonuç haritaları üretilmektedir (Mehrotra et al., 1991; Pachauri and Pant, 1992; Mejia-Navarro and Wohl, 1994; Nagarajan et al., 2000; Shaban et al., 2001).

Mehrotra et al (1991), parametrelerin heyelan oluşumundaki etkisini göreceli olarak temsil eden 10 ile 35 arasında değişen yüzde değerlere göre her bir parametre alt sınıfındaki heyelanlı alanın, toplam alana oranını kullanarak heyelan duyarlılık indeksini hesaplamışlardır. Nagarajan et al. (2000), parametre sınıflarına heyelan yoğunluğuna bağlı olarak 1 ile 6 arasında, parametrelere de heyelan oluşumunda etkin olma derecesine göre öznel olarak 2 ile 15 arasında değişen değerler atamışlardır. Her bir parametre sınıfı değerinin, ait olduğu parametrenin ağırlık değeri ile çarpılması sonucunda elde ettikleri indekse göre heyelan duyarlılık haritasını oluşturmuşlardır. Maharaj (1993), Uromeihy and Mahdaviyar (2000), Temesgen et. al. (2001) ve Lee and Min (2001) tarafından yapılan çalışmalarda, parametre sınıflarındaki heyelanlı alanların toplam alana oranı ile heyelan duyarlılık indeksi hesaplanmış ve parametre haritaları, eşit ağırlıkta çakıştırılarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

Bu çalışmada, heyelan yoğunluğu temel alınarak ve heyelan yoğunluğu ile alansal dağılım dikkate alınarak hesaplanan, parametre alt sınıflarına ait ağırlık değerleri

kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. İki değişkenli istatistiksel analizler kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasındaki en önemli aşamalardan biri, parametre sınıflarının belirlenmesidir. Belirlenen sınıf aralıkları, sonuç haritaların doğruluğunu ve güvenilirliğini etkilemektedir. Bu nedenle, parametre sınıf sayıları mümkün olduğu ölçüde eşit tutulmuş ve parametre sınıf aralıkları, heyelan oranlarına bağlı olarak değişkeni, en iyi temsil edecek şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, parametre sınıf aralıklarının belirlenmesinde, Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşım kullanılarak, inceleme alanının heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuş ve sonuç haritaları karşılaştırılmıştır.

İnceleme alanı, 25*25 m'lik grid ağı sisteminde 951340 adet pikselden oluşmaktadır. Mevcut heyelanların bulunduğu toplam 17824 adet piksele, heyelanlı alanları temsil eden "1" değeri ve 933516 adet piksele, heyelan olmayan alanları temsil eden "0" değeri atanmıştır. Heyelanlı veya heyelan olmayan alanları temsil eden her bir piksel, heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen; yükseklik (topoğrafik yükseklik ve göreceli yükseklik), yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yamaç şekli, topoğrafik nemlilik indeksi, sırtlara yakınlık, drenaja yakınlık, faylara yakınlık, yollara yakınlık ve bitki yoğunluğu indeksi olmak üzere 10 adet sürekli değişken ile bitki türü ve zemin grubu olmak üzere 2 adet kategorik değişken içermektedir. Toprak ve kaya zeminlerin, inceleme alanı içindeki yayılımını ve toprak derinliği bilgilerini içeren kategorik değişken, zemin grubu olarak adlandırılmıştır. Yapılan analizlerde, arazi çalışmaları sırasında kaydedilen, heyelanlara ilişkin özellikleri içeren veri tabanı kullanılmamıştır. Arazi çalışmaları sırasında, heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yamaç şekli ve bitki örtüsü olmak üzere sadece beş parametreye ilişkin özelliklerin kaydedilebilmesi ve bu özelliklerin, ölçümsel-gözlemsel hatalar ve öznellik içerebileceği düşünülerek, bilgisayar destekli oluşturulan parametre haritaları kullanılmıştır.

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanılan parametrelere ait verilerin; en küçük, en büyük, ortalama ve standart sapma değerlerini içeren istatistiksel özellikleri; heyelanlı ve heyelan olmayan alanların tamamı için Çizelge 7.1'de, heyelanlı alanlar için Çizelge 7.2'de verilmektedir.

Çizelge 7.1. Heyelanlı ve heyelan olmayan piksellere ait değişkenlerin istatistiksel özellikleri.

PARAMETRE	EN KÜÇÜK DEĞER	EN BÜYÜK DEĞER	ORTALAMA DEĞER	STANDART SAPMA
Topoğrafik yükseklik (m)	60.77	1412	497.43	220.19
Göreceli yükseklik (m)	0	1202	335.95	196.00
Yamaç eğimi (°)	0	54.14	20.94	7.37
Yamaç eğim yönü (°)	-1	359.99	184.60	106.53
Yamaç şekli	-15.12	25.59	0	1.30
Topoğrafik nemlilik indeksi	6.10	19.91	8.97	1.62
Sırtlara yakınlık (m)	0	1718.28	208.26	167.37
Drenaja yakınlık (m)	0	2233.97	464.70	304.18
Faylara yakınlık (m)	0	8755.71	1884.08	1356.78
Yollara yakınlık (m)	0	2763.71	356.43	349.96
NDVI	-0.40	0.62	0.25	0.15
Zemin grubu	Kategorik			
Bitki türü	Kategorik			

Çizelge 7.2. Heyelanlı piksellere ait değişkenlerin istatistiksel özellikleri.

PARAMETRE	EN KÜÇÜK DEĞER	EN BÜYÜK DEĞER	ORTALAMA DEĞER	STANDART SAPMA
Topoğrafik yükseklik (m)	79.91	915.88	378.26	137.68
Göreceli yükseklik (m)	0.87	605.03	219.34	129.27
Yamaç eğimi (°)	1	47.93	18.85	6.65
Yamaç eğim yönü (°)	0.06	359.99	180.54	95.38
Yamaç şekli	-7.07	10.05	-0.0713	1.21
Topoğrafik nemlilik indeksi	6.32	17.93	9.29	1.70
Sırtlara yakınlık (m)	0	950.33	251.24	171.82
Drenaja yakınlık (m)	0	1200.26	355.57	269.89
Faylara yakınlık (m)	0	5261	1665.18	1242.39
Yollara yakınlık (m)	0	1435.70	192.51	168.30
NDVI	-0.4	0.56	0.18	0.14
Zemin grubu	Kategorik			
Bitki türü	Kategorik			

7.1. Heyelan Yoğunluğu Temel Alınarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması

Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan yaklaşımlardan biri, belirlenen parametre sınıflarındaki heyelan yoğunluğuna bağlı olarak parametre sınıflarının ağırlık değerlerinin hesaplanması ve parametre haritalarının karşılaştırılması ile sonuç haritaların üretilmesidir. Klasik karşılaştırma analizinin gerçekleştirilmesi amacıyla öncelikle, parametre sınıfları belirlenmiş ve bu sınıflardaki heyelanların yüzde oranları hesaplanmıştır. İkinci aşamada, heyelanların en yoğun olduğu parametre alt sınıfına, yüksek heyelan duyarlılığını temsil eden “1” değeri atanarak “0” ve “1” arasında değişen değerlere göre heyelan duyarlılık indeksi oluşturulmuştur (Çizelge 7.3).

Çizelge 7.3. Heyelan yoğunluğu temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi (Wi) değerleri.

PARAMETRELER	PARAMETRE SINIFLARI	HEYELANLI PİKSEL SAYISI	HEYELAN ORANI (%)	Wi
TOPOĞRAFİK YÜKSEKLİK (m)	0-100	31	0.17	0.0066
	100-200	1664	9.34	0.3528
	200-300	4322	24.25	0.9163
	300-400	3810	21.38	0.8077
	400-500	4717	26.46	1.0000
	500-600	2087	11.71	0.4424
	600-700	1021	5.73	0.2165
	700-800	146	0.82	0.0310
	800-900	12	0.07	0.0025
	900-1000	14	0.08	0.0030
GÖRECELİ YÜKSEKLİK (m)	0-75	2085	11.70	0.4642
	75-150	4492	25.20	1.0000
	150-225	3670	20.59	0.8170
	225-300	2937	16.48	0.6538
	300-375	1990	11.16	0.4430
	375-450	1459	8.19	0.3248
	450-525	1003	5.63	0.2233
	525-600	185	1.04	0.0412
	600-675	3	0.02	0.0007
YAMAÇ EĞİMİ (°)	0-5	355	1.99	0.0694
	5-10	951	5.34	0.1859
	10-15	3922	22.00	0.7668
	15-20	5115	28.70	1.0000
	20-25	4352	24.42	0.8508

Çizelge 7.3. (Devam ediyor).

YAMAÇ EĞİMİ (°)	25-30	2209	12.39	0.4319
	30-35	741	4.16	0.1449
	35-40	143	0.80	0.0280
	40-45	27	0.15	0.0053
	45-50	9	0.05	0.0018
YAMAÇ EĞİM YÖNÜ (°)	0-30	1034	5.80	0.4685
	30-60	1115	6.26	0.5052
	60-90	1290	7.24	0.5845
	90-120	2207	12.38	1.0000
	120-150	2054	11.52	0.9307
	150-180	1376	7.72	0.6235
	180-210	1135	6.37	0.5143
	210-240	1839	10.32	0.8333
	240-270	1914	10.74	0.8672
	270-300	1732	9.72	0.7848
	300-330	1047	5.87	0.4744
	330-360	1081	6.06	0.4898
YAMAÇ ŞEKLİ	<-5	16	0.09	0.0028
	-5/-4	44	0.25	0.0078
	-4/-3	167	0.94	0.0296
	-3/-2	733	4.11	0.1298
	-2/-1	2630	14.76	0.4658
	-1/0	5646	31.68	1.0000
	0/1	5417	30.39	0.9594
	1/2	2471	13.86	0.4377
	2/3	584	3.28	0.1034
	3/4	90	0.50	0.0159
	4/5	20	0.11	0.0035
	>5	6	0.03	0.0011
TOPOĞRAFİK NEMLİLİK İNDEKSİ	6-7	328	1.84	0.0751
	7-8	4229	23.73	0.9680
	8-9	4369	24.51	1.0000
	9-10	3751	21.04	0.8585
	10-11	2457	13.78	0.5624
	11-12	1305	7.32	0.2987
	12-13	746	4.19	0.1707
	13-14	380	2.13	0.0870
	14-15	114	0.64	0.0261
	15-16	118	0.66	0.0270
	16-17	20	0.11	0.0046
	17-18	7	0.04	0.0016
SIRTLARA YAKINLIK (m)	0-100	3554	19.94	0.8312
	100-200	4276	23.99	1.0000
	200-300	3519	19.74	0.8230
	300-400	3065	17.20	0.7168
	400-500	1778	9.98	0.4158
	500-600	848	4.76	0.1983
	600-700	530	2.97	0.1239
	700-800	154	0.86	0.0360
	800-900	81	0.45	0.0189
	900-1000	19	0.11	0.0044

Çizelge 7.3. (Devam ediyor).

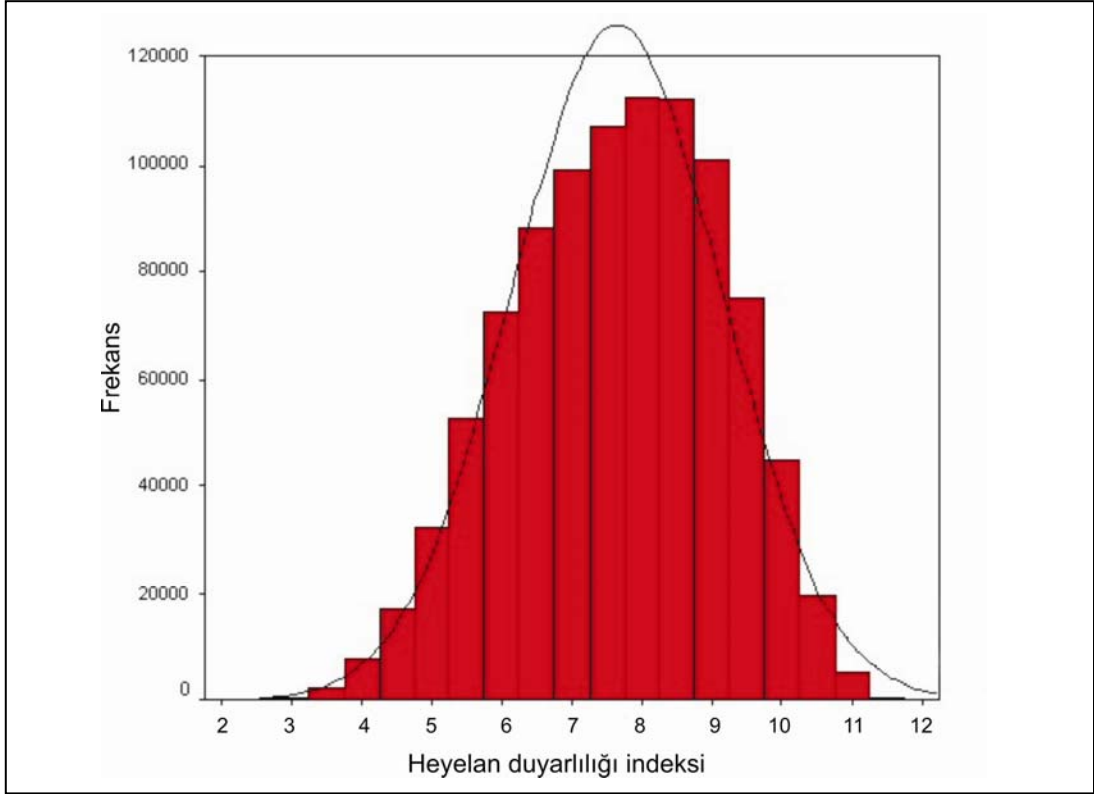
DRENAJA YAKINLIK (m) (ANA KOL)	0-100	432	2.42	0.1686
	100-200	1053	5.91	0.4110
	200-300	1075	6.03	0.4196
	300-400	640	3.59	0.2498
	400-500	309	1.73	0.1206
	500-600	186	1.04	0.0726
	600-700	155	0.87	0.0605
	700-800	127	0.71	0.0496
	800-900	82	0.46	0.0320
	900-1000	13	0.07	0.0051
DRENAJA YAKINLIK (m) (YAN KOL)	0-100	2420	13.58	0.9446
	100-200	2562	14.37	1.0000
	200-300	1746	9.80	0.6815
	300-400	1544	8.66	0.6027
	400-500	1487	8.34	0.5804
	500-600	851	4.77	0.3322
	600-700	753	4.22	0.2939
	700-800	823	4.62	0.3212
	800-900	657	3.69	0.2564
	900-1000	544	3.05	0.2123
	1000-1100	277	1.55	0.1081
	1100-1200	88	0.49	0.0343
FAYLARA YAKINLIK (m)	0-500	3211	18.02	0.9414
	500-1000	3156	17.71	0.9252
	1000-1500	3411	19.14	1.0000
	1500-2000	2826	15.86	0.8285
	2000-2500	1149	6.45	0.3369
	2500-3000	770	4.32	0.2257
	3000-3500	1118	6.27	0.3278
	3500-4000	991	5.56	0.2905
	4000-4500	868	4.87	0.2545
	4500-5000	205	1.15	0.0601
YOLLARA YAKINLIK (m)	0-50	3182	17.85	1.0000
	50-100	2895	16.24	0.9098
	100-150	2640	14.81	0.8297
	150-200	2093	11.74	0.6578
	200-250	1935	10.86	0.6081
	250-300	1431	8.03	0.4497
	300-350	1196	6.71	0.3759
	350-400	723	4.06	0.2272
	400-450	497	2.79	0.1562
	450-500	307	1.72	0.0965
	>500	925	5.19	0.2907
NDVI	-0.4/-0.3	28	0.16	0.0063
	-0.3/-0.2	116	0.65	0.0259
	-0.2/-0.1	422	2.37	0.0943
	-0.1/0	1448	8.12	0.3234
	0/0.1	3018	16.93	0.6741
	0.1/0.2	4303	24.14	0.9611
	0.2/0.3	4477	25.12	1.0000

Çizelge 7.3. (Devam ediyor).

NDVI	0.3/0.4	3162	17.74	0.7063
	0.4/0.5	823	4.62	0.1838
	0.5/0.6	27	0.15	0.0060
BİTKİ TÜRÜ	Tarım alanları	12002	67.34	1.0000
	Bitki örtüsü olmayan alanlar	1284	7.20	0.1070
	Baltalık alan	979	5.49	0.0816
	Karaçam	523	2.93	0.0436
	Sarıçam	79	0.44	0.0066
	Sahilçamı	64	0.36	0.0053
	Gökmar	52	0.29	0.0043
	Kayın	1792	10.05	0.1493
	Gürgen	140	0.79	0.0117
	Meşe	909	5.10	0.0757
ZEMİN GRUBU	Çok Sığ	1010	5.67	0.0806
	Sığ	12533	70.32	1.0000
	Orta derin	4281	24.02	0.3416

Sonraki aşamada, heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen 12 adet parametre haritası çakıştırılarak, heyelan duyarlılığını temsil eden W_i değerlerinin her bir pikseldeki toplamaları alınmış ve sonuç heyelan duyarlılığı indeksi değerleri elde edilmiştir. Bu indeksin; en küçük değeri, 1.9287; en büyük değeri, 11.7995; ortalaması 7.6431 ve standart sapması 1.5077'dir. Heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin frekans dağılımı, Şekil 7.1'de sunulmaktadır.

İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla son aşamada, heyelan duyarlılık sınıfları belirlenmiştir. Literatürde, heyelan duyarlılık sınıflarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yaklaşımlar, hesaplanan sonuç heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin, en küçük ve en büyük değer arasında eşit aralıklarda ya da ortalama ve standart sapma değeri temel alınarak sınıflandırılması şeklindedir. Ancak, bu yaklaşımlar bazı sınırlamalar içermektedir. Sınıflamanın eşit aralıklarda yapılması durumunda, hesaplanan sonuçların istatistiksel dağılımı dikkate alınmamaktadır. "Ortalama $\pm$ standart sapma değeri" nin kullanılması durumunda ise istatistiksel dağılımın, normal dağılıma mükemmel derecede uyum gösterdiği kabul edilmekte, ancak bu koşul her zaman geçerli olmamaktadır. Bu nedenle, heyelan duyarlılık sınıflarının belirlenmesinde, istatistiksel dağılımın şekliyle (normal, sağa çarpık, sola çarpık, logaritmik, vb.) ilgili bir kabullenme yapılmadan frekans dağılım fonksiyonu eğrisinin, eşit olasılığa sahip 5 sınıfa ayrılması şeklinde bir yaklaşım denenmiştir.

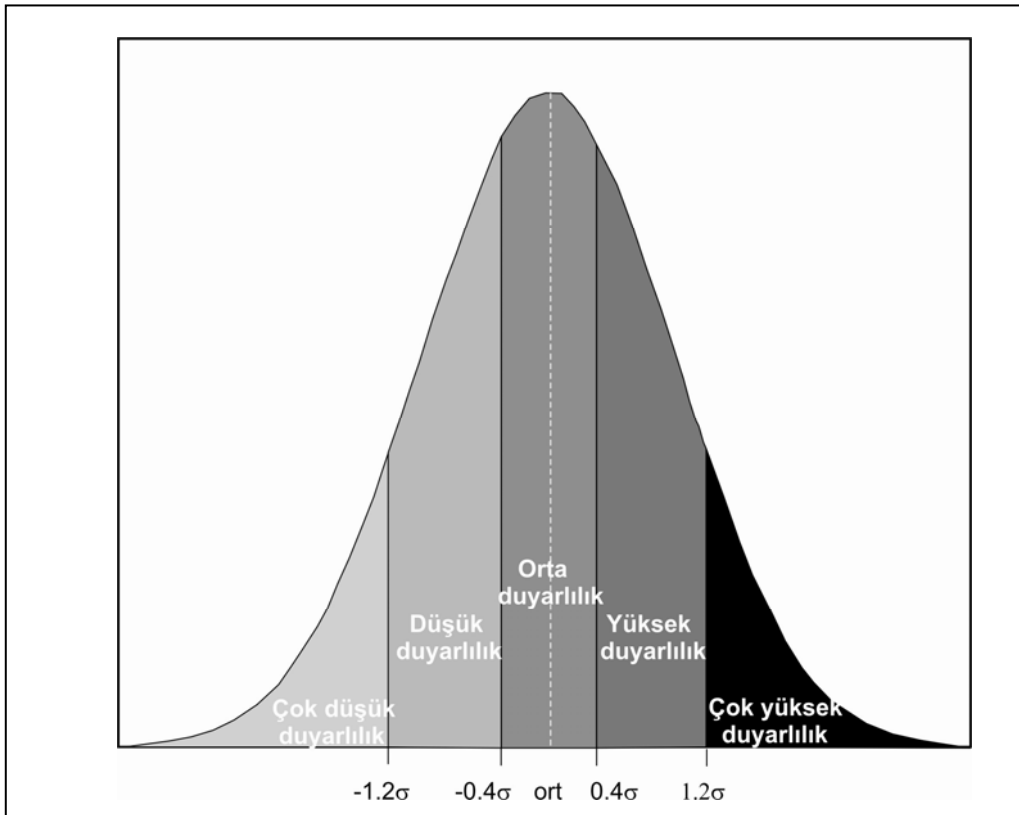


Şekil 7.1. Heyelan yoğunluğu temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin frekans dağılımı.

Ancak, bu yaklaşımın kullanılması, heyelan duyarlılık sınıflarının alansal yayılımlarının hemen hemen eşit olmasına neden olmaktadır. Heyelan duyarlılık sınıflarının belirlenmesi amacıyla kullanılan son yaklaşım ise Jenks (1967) sınıflamasıdır. Verilerin, istatistiksel özellikleri dikkate alınarak sınıflandırılması temeline dayanan bu sistem, istatistiksel dağılımının şekli ile ilgili bir kabullenme yapmamaktadır. Sınıf aralıkları, öncelikle gelişigüzel seçilmekte ve her bir sınıfın standart sapma değeri, en küçük değere indirgenecek şekilde ardalanmalı olarak ayarlanmaktadır. Bu şekilde her sınıf, ortalama değer etrafına toplanan ve diğer sınıflardan belirgin bir biçimde ayrılan aralıklara sahip olmaktadır. Aralık sınırlarında yer alan değerlerin, küçük farklar ile bir önce ya da sonraki sınıfa yakın olması engellenmektedir.

Duyarlılık sınıflarının belirlenmesi, oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının doğruluğunu ve güvenilirliğini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Bu nedenle, heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin; en küçük ve en büyük değer

arasında eşit aralıklarda, “ortalama $\pm$ standart sapma değeri” dikkate alınarak (Şekil 7.2), frekans dağılım fonksiyonu eğrisinin eşit olasılığa sahip değerleri kullanılarak ve Jenks (1967) sınıflaması temel alınarak belirlenen sınıf aralıklarına göre heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuş ve sonuç haritaları karşılaştırılmıştır. Dört farklı yaklaşım için duyarlılık sınıflarının, inceleme alanı içinde kapsadığı alanlar ve heyelanların bu sınıflar içindeki dağılımları, Çizelge 7.4’de sunulmaktadır. Oluşturulan haritaların performansı; mevcut heyelanların, duyarlılık sınıfları içindeki dağılımı dikkate alınarak değerlendirildiğinde, frekans dağılımı fonksiyonunun eşit olasılık değerlerine göre sınıflandırılması yaklaşımının, en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir. Bunu sırasıyla; Jenks (1967) sınıflaması, “ortalama $\pm$ standart sapma değeri” ve eşit aralıklarda yapılan sınıflamalar takip etmektedir. Ancak, Jenks (1967) sınıflaması dışındaki diğer üç yaklaşımın, sınırlamalar içermesi nedeniyle iki değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri ile hesaplanan ve heyelan duyarlılığını temsil eden indeks değerlerin sınıflandırılmasında, Jenks (1967) sınıflaması temel alınmıştır.



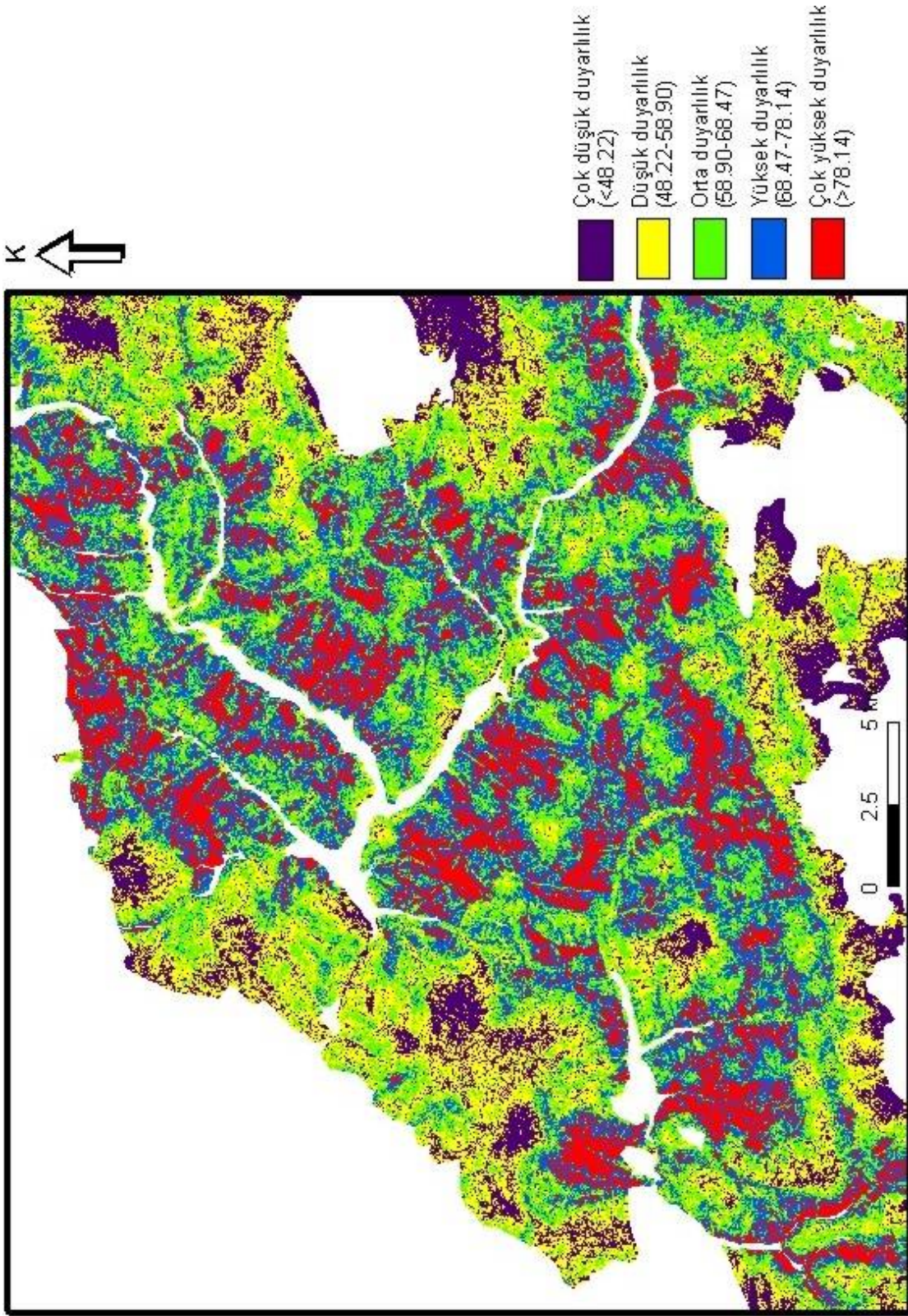
Şekil 7.2. Ortalama ve standart sapma değeri kullanılarak belirlenen heyelan duyarlılık sınıfları.

Çizelge 7.4. Heyelan yoğunluğu temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin sınıflandırılması.

	HEYELAN DUYARLILIĞI	SINIF ARALIĞI *	HEYELAN DAĞILIMI (%)	ALANSAL DAĞILIM (%)
En küçük ve en büyük değer arasında eşit aralıklarda yapılan sınıflama	Çok Düşük Duyarlılık	16.36-33.05	0	0.62
	Düşük Duyarlılık	33.05-49.83	1.10	14.61
	Orta Duyarlılık	49.83-66.53	23.33	40.46
	Yüksek Duyarlılık	66.53-83.31	63.04	38.49
	Çok Yüksek Duyarlılık	83.31-100	12.53	5.82
Ortalama $\pm$ standart sapma değeri dikkate alınarak yapılan sınıflama	Çok Düşük Duyarlılık	16.36-49.41	1.17	13.01
	Düşük Duyarlılık	49.41-59.66	6.82	21.72
	Orta Duyarlılık	59.66-69.92	23.08	27.57
	Yüksek Duyarlılık	69.92-80.08	42.68	25.93
	Çok Yüksek Duyarlılık	80.08-100	26.25	11.77
Frekans dağılım fonksiyonu eğrisinin eşit olasılık değerlerine göre yapılan sınıflama	Çok Düşük Duyarlılık	16.36-53.98	2.83	21.70
	Düşük Duyarlılık	53.98-61.53	7.96	17.78
	Orta Duyarlılık	61.53-68.05	14.11	17.49
	Yüksek Duyarlılık	68.05-75.51	29.18	20.76
	Çok Yüksek Duyarlılık	75.51-100	45.92	22.27
Jenks (1967) sınıflaması	Çok Düşük Duyarlılık	16.36-48.22	0.89	11.15
	Düşük Duyarlılık	48.22-58.90	6.16	21.72
	Orta Duyarlılık	58.90-68.47	19.32	25.41
	Yüksek Duyarlılık	68.47-78.14	39.25	25.82
	Çok Yüksek Duyarlılık	78.14-100	34.38	15.90

* Hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi, “0” ve “100” değerleri arasında normalleştirilmiştir.

Heyelan yoğunluğu dikkate alınarak oluşturulan ve “çok düşük” ile “çok yüksek” heyelan duyarlılığı sınıfları arasında 5 grupta sınıflandırılan heyelan duyarlılık haritasına göre; inceleme alanının yaklaşık % 16’sının çok yüksek, % 26’sının yüksek, % 25’inin orta, % 22’sinin düşük ve % 11’inin çok düşük heyelan duyarlılığına sahip olduğu saptanmıştır (Şekil 7.3). Üretilen haritanın performansının belirlenmesi amacıyla mevcut heyelanlar, sonuç haritası ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, mevcut heyelanların yaklaşık % 35’i çok yüksek, % 39’u yüksek, % 19’u orta, % 6’sı düşük ve % 1’i çok düşük heyelan duyarlılığı sınıfında yer almaktadır.



Şekil 7.3. Heyelan yoğunluğu dikkate alınarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.

7.2. Van Westen (1993) Tarafından Önerilen Yaklaşım Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması

Parametre sınıflarının ağırlık değerlerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri, alansal yayılım dikkate alınarak heyelan duyarlılık indeksinin hesaplanmasıdır. Her bir parametre sınıfındaki heyelanlı alanların, toplam alana oranı temeline dayanan bu yaklaşımla belirlenen ağırlık değerlerinin toplamı, heyelan duyarlılığını temsil etmektedir. Bu çalışmada, parametre sınıflarının ağırlık değerlerinin belirlenmesinde, Van Westen (1993) tarafından önerilen yaklaşım kullanılmıştır. Bu yaklaşım, parametre sınıflarındaki heyelanlı piksellerin, toplam piksele oranı ile elde edilen değerlerin, çalışılan alandaki toplam heyelanlı piksel sayısının toplam piksel sayısına oranı olan sabit bir değere bölünmesi ile standartlaştırılması temeline dayanmaktadır. Eş. 7.1’de verilen formüle göre hesaplanan her bir parametre sınıfına ait ağırlık değerleri, Çizelge 7.5’de sunulmaktadır .

$$W_i = \ln \frac{N_{pix}(SX_i) / N_{pix}(X_i)}{\sum N_{pix}(SX_i) / \sum N_{pix}(X_i)} \quad (\text{Eş. 7.1})$$

$N_{pix}(SX_i)$: Parametre sınıfındaki heyelanlı piksel sayısı

$N_{pix}(X_i)$: Parametre sınıfındaki toplam piksel sayısı

Çizelge 7.5. Van Westen (1993) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi (W_i) değerleri.

	PARAMETRE SINIFLARI	HEYELANLI PİKSEL SAYISI (HPS)	TOPLAM PİKSEL SAYISI (TPS)	HPS/TPS	W_i	NORMALLEŞTİRİLEN W_i DEĞERLERİ
TOPOĞRAFİK YÜKSEKLİK(m)	0-100	31	1170	0.026496	0.348460	8.403842
	100-200	1664	38559	0.043155	0.836267	8.891649
	200-300	4322	130604	0.033092	0.570780	8.626162
	300-400	3810	184739	0.020624	0.097917	8.153299
	400-500	4717	183414	0.025718	0.318659	8.374041
	500-600	2087	156002	0.013378	-0.334909	7.720473
	600-700	1021	109900	0.009290	-0.699557	7.355825
	700-800	146	63487	0.002300	-2.095752	5.959630
	800-900	12	36020	0.000333	-4.027691	4.027691
	900-1000	14	17610	0.000795	-3.157933	4.897449
	>1000	0	29835	0.000000	Tanımsız	0.000000

Çizelge 7.5. (Devam ediyor).

	PARAMETRE SINIFLARI	HEYELANLI PİKSEL SAYISI (HPS)	TOPLAM PİKSEL SAYISI (TPS)	HPS/TPS	Wi	NORMALLEŞTİRİLEN Wi DEĞERLERİ
GÖRECELİ YÜKSEKLİK(m)	0-75	2085	37808	0.055147	1.081480	11.585654
	75-150	4492	115653	0.038840	0.730935	11.235109
	150-225	3670	158019	0.023225	0.216708	10.720882
	225-300	2937	160398	0.018311	-0.021038	10.483136
	300-375	1990	139608	0.014254	-0.271472	10.232702
	375-450	1459	114293	0.012765	-0.381782	10.122392
	450-525	1003	82587	0.012145	-0.431625	10.072549
	525-600	185	51631	0.003583	-1.652290	8.851884
	600-675	3	30636	0.000098	-5.252087	5.252087
	>675	0	60707	0.000000	Tanımsız	0.000000

YAMAÇ EĞİMİ (°)	0-5	355	18646	0.019039	0.017963	2.356203
	5-10	951	43574	0.021825	0.154530	2.492770
	10-15	3922	135062	0.029039	0.440100	2.778340
	15-20	5115	229764	0.022262	0.174356	2.512596
	20-25	4352	250702	0.017359	-0.074398	2.263842
	25-30	2209	170081	0.012988	-0.364503	1.973737
	30-35	741	75760	0.009781	-0.648093	1.690147
	35-40	143	22385	0.006388	-1.074070	1.264170
	40-45	27	4648	0.005809	-1.169124	1.169116
	45-50	9	664	0.013554	-0.321826	2.016414
	>50	0	54	0.000000	Tanımsız	0.000000

YAMAÇ EĞİM YÖNÜ (°)	0-30	1034	78923	0.013101	-0.355806	0.650034
	30-60	1115	77990	0.014297	-0.268494	0.737346
	60-90	1290	78132	0.016511	-0.124526	0.881314
	90-120	2207	81930	0.026938	0.365001	1.370841
	120-150	2054	75281	0.027284	0.377793	1.383633
	150-180	1376	69604	0.019769	0.055590	1.061430
	180-210	1135	66827	0.016984	-0.096243	0.909597
	210-240	1839	68961	0.026667	0.354913	1.360753
	240-270	1914	82831	0.023107	0.211625	1.217465
	270-300	1732	91894	0.018848	0.007873	1.013713
	300-330	1047	92579	0.011309	-0.502902	0.502938
	330-360	1081	86350	0.012519	-0.401291	0.604549
	-1	0	38	0.000000	Tanımsız	0.000000
YAMAÇ ŞEKLİ	<-5	16	1123	0.014248	-0.271938	1.099618
	-5/-4	44	2841	0.015488	-0.188490	1.183066
	-4/-3	167	10545	0.015837	-0.166182	1.205374
	-3/-2	733	41764	0.017551	-0.063413	1.308143
	-2/-1	2630	132776	0.019808	0.057552	1.429108
	-1/0	5646	277441	0.020350	0.084571	1.456127
	0/1	5417	288298	0.018790	0.004779	1.376335
	1/2	2471	143735	0.017191	-0.084117	1.287439
	2/3	584	41593	0.014041	-0.286554	1.085002
	3/4	90	8842	0.010179	-0.608227	0.763329
	4/5	20	1745	0.011461	-0.489546	0.882010
	>5	6	637	0.009419	-0.685778	0.685778

Çizelge 7.5. (Devam ediyor).

	PARAMETRE SINIFLARI	HEYELANLI PİKSEL SAYISI (HPS)	TOPLAM PİKSEL SAYISI (TPS)	HPS/TPS	Wi	NORMALLEŞTİRİLEN Wi DEĞERLERİ
TOPOĞRAFIK NEMLİLİK İNDEKSİ	6-7	328	32065	0.010229	-0.603275	0.603275
	7-8	4229	275269	0.015363	-0.196551	1.009999
	8-9	4369	257044	0.016997	-0.095481	1.111069
	9-10	3751	179114	0.020942	0.113232	1.319782
	10-11	2457	100922	0.024346	0.263825	1.470375
	11-12	1305	52325	0.024940	0.287961	1.494511
	12-13	746	27608	0.027021	0.368096	1.574646
	13-14	380	15338	0.024775	0.281314	1.487864
	14-15	114	7758	0.014695	-0.241050	0.965500
	15-16	118	3000	0.039333	0.743549	1.950099
	16-17	20	736	0.027174	0.373734	1.580284
	17-18	7	120	0.058333	1.137650	2.344200
	>18	0	41	0.000000	Tanımsız	0.000000
SIRTLARA YAKINLIK (m)	0-100	3554	281382	0.012631	-0.392408	0.392408
	100-200	4276	242243	0.017652	-0.057692	0.727124
	200-300	3519	180142	0.019535	0.043663	0.828479
	300-400	3065	124162	0.024685	0.277692	1.062508
	400-500	1778	66726	0.026646	0.354126	1.138942
	500-600	848	30588	0.027723	0.393749	1.178565
	600-700	530	13840	0.038295	0.716791	1.501607
	700-800	154	6296	0.024460	0.268515	1.053331
	800-900	81	3164	0.025601	0.314089	1.098905
	900-1000	19	1358	0.013991	-0.290098	0.494718
	>1000	0	1439	0.000000	Tanımsız	0.000000
DRENAJA YAK.(ANAKOL) (m)	0-100	432	21550	0.020046	0.069526	4.655074
	100-200	1053	29500	0.035695	0.646485	5.232033
	200-300	1075	30316	0.035460	0.639877	5.225425
	300-400	640	29267	0.021868	0.156484	4.742032
	400-500	309	25361	0.012184	-0.428395	4.157153
	500-600	186	20670	0.008999	-0.731460	3.854088
	600-700	155	17922	0.008649	-0.771127	3.814421
	700-800	127	14264	0.008904	-0.742075	3.843473
	800-900	82	10208	0.008033	-0.844976	3.740572
	900-1000	13	6884	0.001888	-2.292774	2.292774
	>1000	0	7522	0.000000	Tanımsız	0.000000
DRENAJA YAK. (YAN KOL) (m)	0-100	2420	82120	0.029469	0.454818	5.040366
	100-200	2562	84069	0.030475	0.488382	5.073930
	200-300	1746	82600	0.021138	0.122550	4.708098
	300-400	1544	85281	0.018105	-0.032343	4.553205
	400-500	1487	82368	0.018053	-0.035205	4.550343
	500-600	851	74789	0.011379	-0.496782	4.088766
	600-700	753	67461	0.011162	-0.516008	4.069540
	700-800	823	56218	0.014639	-0.244804	4.340744
	800-900	657	44689	0.014702	-0.240567	4.344981
	900-1000	544	33702	0.016141	-0.147131	4.438417
	100-1100	277	21869	0.012666	-0.389576	4.195972
	1100-1200	88	12295	0.007157	-0.960379	3.625169
	>1200	0	10415	0.000000	Tanımsız	0.000000

Çizelge 7.5. (Devam ediyor).

	PARAMETRE SINIFLARI	HEYELANLI PİKSEL SAYISI (HPS)	TOPLAM PİKSEL SAYISI (TPS)	HPS/TPS	Wi	NORMALLEŞTİRİLEN Wi DEĞERLERİ
FAYLARA YAKINLIK (m)	0-500	3211	137531	0.023347	0.221965	1.726673
	500-1000	3156	146126	0.021598	0.144068	1.648776
	1000-1500	3411	150135	0.022720	0.194702	1.699410
	1500-2000	2826	134879	0.020952	0.113716	1.618424
	2000-2500	1149	118350	0.009708	-0.655523	0.849185
	2500-3000	770	87376	0.008812	-0.752354	0.752354
	3000-3500	1118	60577	0.018456	-0.013142	1.491566
	3500-4000	991	43574	0.022743	0.195730	1.700438
	4000-4500	868	31458	0.027592	0.389015	1.893723
	4500-5000	205	18952	0.010817	-0.547423	0.957285
	5000-5500	119	7580	0.015699	-0.174913	1.329795
	>5500	0	14802	0.000000	Tanımsız	0.000000
YOLLARA YAKINLIK (m)	0-50	3182	114430	0.027807	0.396778	3.482956
	50-100	2895	101178	0.028613	0.425336	3.511514
	100-150	2640	94705	0.027876	0.399244	3.485422
	150-200	2093	78843	0.026546	0.350372	3.436550
	200-250	1935	76833	0.025184	0.297705	3.383883
	250-300	1431	59861	0.023905	0.245580	3.331758
	300-350	1196	61355	0.019493	0.041538	3.127716
	350-400	723	48939	0.014773	-0.235689	2.850489
	400-450	497	44739	0.011109	-0.520779	2.565399
	450-500	307	39008	0.007870	-0.865443	2.220735
	>500	925	231449	0.003997	-1.543089	1.543089
NDVI	-0.4/-0.3	28	463	0.060475	1.173709	4.177449
	-0.3/-0.2	116	3398	0.034138	0.601880	3.605620
	-0.2/-0.1	422	10508	0.040160	0.764345	3.768085
	-0.1/0	1448	44677	0.032410	0.549956	3.553696
	0/0.1	3018	96132	0.031394	0.518104	3.521844
	0.1/0.2	4303	153851	0.027969	0.402560	3.406300
	0.2/0.3	4477	210701	0.021248	0.127745	3.131485
	0.3/0.4	3162	268584	0.011773	-0.462727	2.541013
	0.4/0.5	823	156543	0.005257	-1.268898	1.734842
	0.5/0.6	27	6483	0.004165	-1.501870	1.501870
BİTKİ TÜRÜ	Tarım alanları	12002	405017	0.029633	0.460376	3.628236
	Bitki örtüsü olmayan alanlar	1284	46108	0.027848	0.398225	3.566085
	Baltalık alan	979	43927	0.022287	0.175479	3.343339
	Karaçam	523	50049	0.010450	-0.581945	2.585915
	Sarıçam	79	20591	0.003837	-1.583930	1.583930
	Sahilçamı	64	6535	0.009793	-0.646813	2.521047
	Gökmar	52	16510	0.003150	-1.781246	1.386614
	Kayın	1792	286425	0.006256	-1.094913	2.072947
	Gürgen	140	15245	0.009183	-0.711133	2.456727
	Meşe	909	60363	0.015059	-0.216555	2.951305
	Kızıl	0	4	0.000000	Tanımsız	0.000000
	Çınar	0	566	0.000000	Tanımsız	0.000000

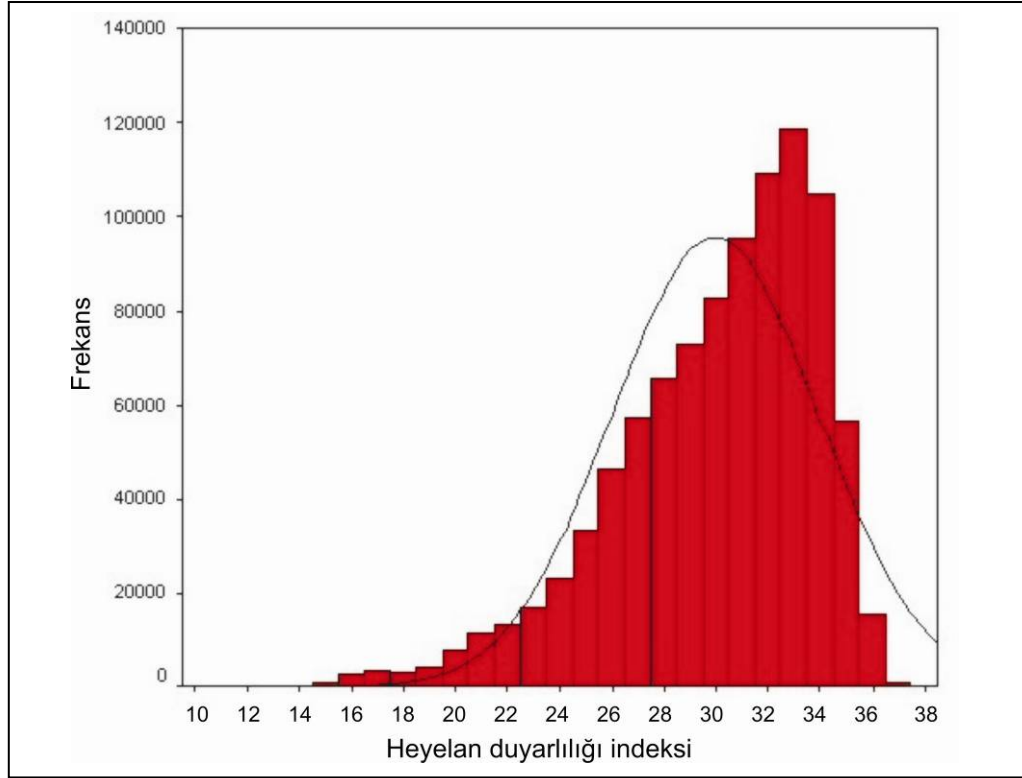
Çizelge 7.5. (Devam ediyor).

	PARAMETRE SINIFLARI	(HPS)	(TPS)	HPS/TPS	Wi	NORMALLEŞTİRİLEN Wi DEĞERLERİ
ZEMİN GRUBU	Çok Sığ	1010	228483	0.004420	-1.442280	1.442280
	Sığ	12533	538877	0.023258	0.218110	3.102670
	Orta derin	4281	81009	0.052846	1.038858	3.923418
	Kaya zemin	0	102971	0.000000	Tanımsız	0.000000

Eşitlik 7.1’de verilen formül kullanılarak, parametre sınıflarının ağırlık değerleri hesaplandıktan sonra heyelan duyarlılığını temsil eden W_i değerleri, normalleştirilmiştir. Bunun nedeni, heyelan yoğunluğu temel alınarak belirlenen parametre sınıflarında, heyelanlı piksel sayısının “0” olması durumunda $\ln(0)$ ’ın tanımsız olmasıdır. Söz konusu piksellere “0” değeri atanması ve diğer parametre sınıflarına ait negatif ve pozitif W_i değerlerinin kullanılması durumunda ise bu parametre sınıfının heyelan duyarlılığı, heyelanlı pikselleri içeren ve negatif değerlere sahip sınıfların heyelan duyarlılığından yüksek olmaktadır. Bu nedenle, Çizelge 7.5’de görüldüğü üzere, heyelanlı piksel içermeyen sınıf aralıklarına “0” değeri atanmış, en küçük negatif değer pozitif değere dönüştürülmüş ve diğer değerler, bu değere göre normalleştirilmiştir. Normalleştirilen ağırlık değerlerine sahip parametre haritaları çakıştırılmış ve her bir pikseldeki ağırlık değerleri toplanmıştır. Heyelan duyarlılığını temsil eden bu değerlerin en küçük değeri, 10.0637; en büyük değeri, 37.5035; ortalama değeri, 29.9676 ve standart sapma değeri 3.9587’dir. Heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin frekans dağılımı, Şekil 7.4’de verilmektedir. Söz konusu değerler; en küçük ve en büyük değer arasında eşit aralıklarda, “ortalama $\pm$ standart sapma değeri” dikkate alınarak, frekans dağılım fonksiyonu eğrisinin eşit olasılığa sahip değerleri kullanılarak ve Jenks (1967) sınıflaması temel alınarak sınıflandırılmıştır. Bu yaklaşımlar kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarında, duyarlılık sınıflarının inceleme alanı içinde kapsadığı alanlar ve heyelanların bu sınıflar içindeki dağılımları Çizelge 7.6’da sunulmaktadır.

Jenks (1967) sınıflaması temel alınarak, “çok düşük”, “düşük”, “orta”, “yüksek” ve “çok yüksek” olmak üzere 5 heyelan duyarlılığı grubunda sınıflandırılan heyelan duyarlılık haritasına göre; inceleme alanının, yaklaşık % 30’u çok yüksek, % 29’u yüksek, % 22’si orta, % 14’ü düşük ve % 5’i çok düşük heyelan duyarlılığına sahiptir (Şekil 7.5). Mevcut heyelanların, üretilen heyelan duyarlılık haritası ile

çakıştırılması sonucunda, heyelanların yaklaşık % 72'sinin çok yüksek, % 24'ünün yüksek ve % 4'ünün orta heyelan duyarlılığı sınıfında yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 7.4. Van Westen (1993) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin frekans dağılımı.

Çizelge 7.6. Van Westen (1993) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin sınıflandırılması.

	HEYELAN DUYARLILIĞI	SINIF ARALIĞI *	HEYELAN DAĞILIMI (%)	ALANSAL DAĞILIM (%)
En küçük ve en büyük değer arasında eşit aralıklarda yapılan sınıflama	Çok Düşük Duyarlılık	26.83-41.47	0.00	0.31
	Düşük Duyarlılık	41.47-56.11	0.00	2.91
	Orta Duyarlılık	56.11-70.75	0.31	14.72
	Yüksek Duyarlılık	70.75-85.39	19.60	44.90
	Çok Yüksek Duyarlılık	85.39-100	80.09	37.16
Ortalama ± standart sapma değeri dikkate alınarak yapılan sınıflama	Çok Düşük Duyarlılık	26.83-67.25	0.08	11.96
	Düşük Duyarlılık	67.25-75.68	1.77	18.08
	Orta Duyarlılık	75.68-84.13	13.52	27.79
	Yüksek Duyarlılık	84.13-92.59	59.60	36.26
	Çok Yüksek Duyarlılık	92.59-100	25.03	5.91
Frekans dağılım fonksiyonu eğrisinin eşit olasılık değerlerine göre yapılan sınıflama	Çok Düşük Duyarlılık	26.83-71.04	0.36	18.71
	Düşük Duyarlılık	71.04-77.23	2.23	15.68
	Orta Duyarlılık	77.23-82.59	8.18	17.40
	Yüksek Duyarlılık	82.59-88.80	29.34	26.96
	Çok Yüksek Duyarlılık	88.80-100	59.89	21.25

Çizelge 7.6. (Devam ediyor).

Jenks (1967) sınıflaması	Çok Düşük Duyarlılık	26.83-59.55	0	5.05
	Düşük Duyarlılık	59.55-71.15	0.38	13.92
	Orta Duyarlılık	71.15-79.57	4.36	22.37
	Yüksek Duyarlılık	79.57-87.04	23.54	29.14
	Çok Yüksek Duyarlılık	87.04-100	71.72	29.52

* Hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi, “0” ve “100” değerleri arasında normalleştirilmiştir.

7.3. Süzen and Doyuran (2004a) Tarafından Önerilen Yaklaşım Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması

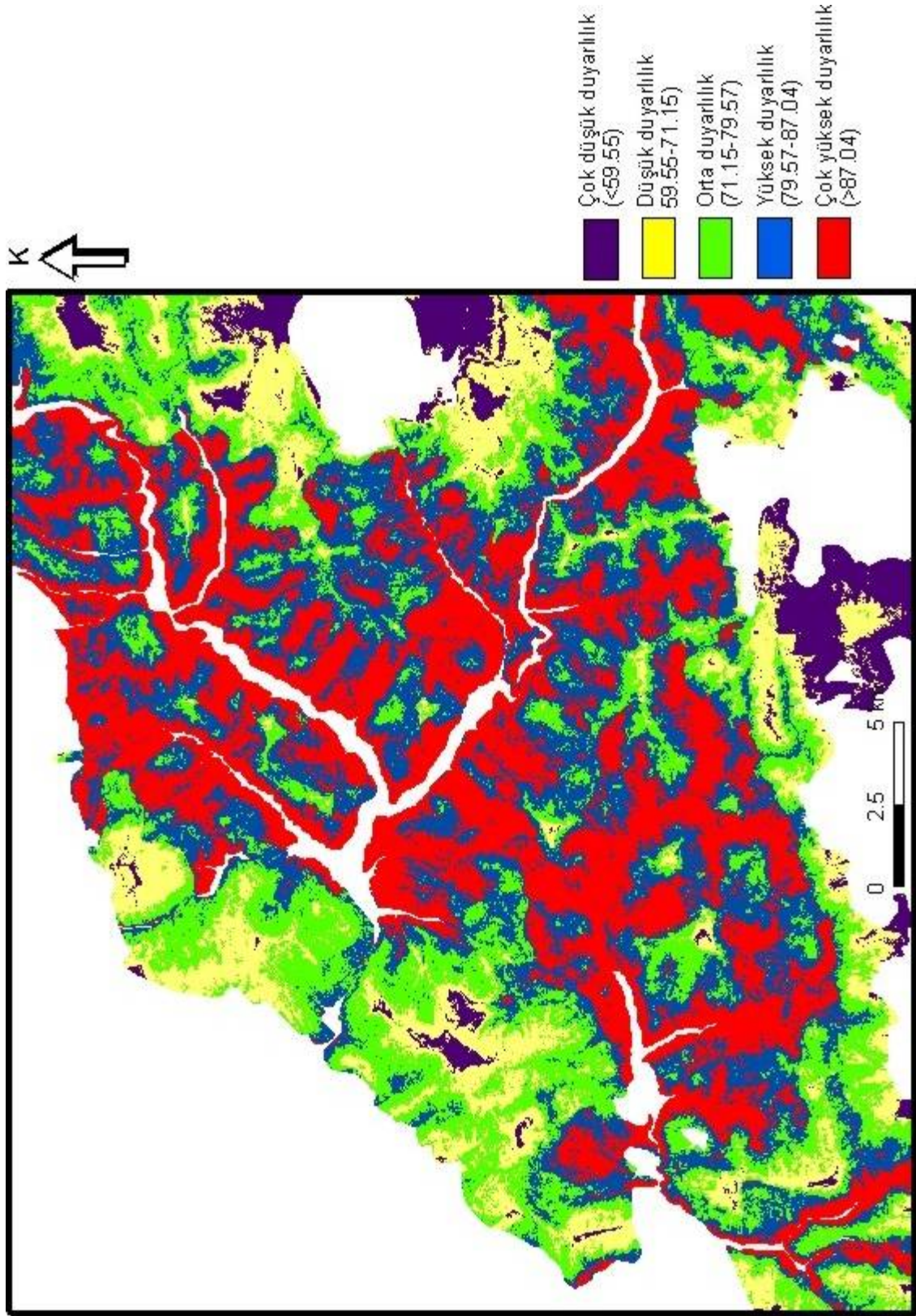
İki değişkenli istatistiksel analizlerin en büyük sınırlaması, parametre sınıflarının belirlenmesinin öznellik içermesi ve öznel olarak belirlenen parametre sınıflarına ait ağırlık değerlerinin sonuç haritalarına yansımadır. Ayrıca, bazı çalışmalarda kullanılan, her bir parametreye heyelan oluşumu üzerindeki etki derecesine göre öznel olarak ağırlık değerlerinin atanması da yöntemin sınırlaması olarak kabul edilmektedir. Süzen and Doyuran (2004a), heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde; veri bağımlılığını artırmak ve özneliği azaltmak amacıyla yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Heyelanların, kümülatif yüzde dağılımı dikkate alınarak sınıf aralıklarının belirlenmesi temeline dayanan bu yaklaşım, parametre sınıflarının belirlenmesinde, araştırmacıya bağlı karar verme kurallarını azaltmaktadır.

Bu çalışmada, söz konusu yeni yaklaşımın uygulanması amacıyla öncelikle, heyelanların kümülatif yüzde dağılımına bağlı olarak parametre sınıfları belirlenmiştir (Çizelge 7.7). Parametre sınıflarının ağırlık değerleri, Süzen and Doyuran (2004) tarafından önerilen eşitlik (Eş. 7.2) kullanılarak hesaplanmıştır. Eşit heyelan yoğunluğuna sahip parametre sınıflarının ağırlık değerleri, Çizelge 7.8’de sunulmaktadır.

$$W_i = 1000 \frac{N_{pix}(SX_i)}{N_{pix}(X_i)} - 1000 \frac{\sum N_{pix}(SX_i)}{\sum N_{pix}(X_i)} \quad (\text{Eşitlik 7.2})$$

$N_{pix}(SX_i)$ = Parametre sınıfındaki heyelanlı piksel sayısı

$N_{pix}(X_i)$ = Parametre sınıfındaki toplam piksel sayısı



Şekil 7.5. Van Westen (1993) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.

Çizelge 7.7. Heyelanların kümülatif yüzde dağılımı dikkate alınarak belirlenen parametre sınıfları.

Çizelge 7.7. Heyelanların kümülatif yüzde dağılımı dikkate alınarak belirlenen parametre sınıfları.

Oran (%)	TOPOĞRAFİK YÜKSEKLİK	GÖRECELİ YÜKSEKLİK	YAMAÇ EĞİMİ	YAMAÇ EĞİM YÖNÜ	YAMAÇ ŞEKLİ	W _i	FAYLARA YAKINLIK	DRENAJA YAKINLIK	SIRTLARA YAKINLIK	YOLLARA YAKINLIK	NDVI
10	201.495	68.895	10.950	50.120	-1.570	7.390	292.613	70.710	50.000	25.001	-0.010
20	246.450	100.490	13.160	92.490	-1.010	7.760	548.296	124.996	100.000	50.001	0.050
30	282.705	128.310	15.120	116.780	-0.640	8.180	825.377	167.705	134.600	79.058	0.100
40	329.190	160.490	16.930	140.930	-0.340	8.570	1118.037	223.603	176.700	124.999	0.150
50	377.790	193.070	18.590	175.400	-0.060	8.990	1372.957	279.507	225.000	152.069	0.190
60	420.500	236.320	20.360	218.990	0.220	9.430	1643.359	357.944	275.000	200.000	0.220
70	457.395	281.335	22.140	246.560	0.530	9.940	1950.001	450.697	325.900	246.222	0.260
80	492.400	335.200	24.380	274.060	0.900	10.560	2846.164	594.239	390.500	301.039	0.310
90	559.775	415.245	27.540	309.560	1.405	11.610	3804.028	783.021	482.800	395.284	0.360

Çizelge 7.8. Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi (W_i) değerleri.

	HPS	TPS	HPS/TPS	(HPS/TPS)*1000	W_i	Normalleştirilen W_i
TOPOĞRAFİK YÜKSEKLİK (m)						
10	1782	41378	0.04306636	43.066364	23.420072	36.490621
20	1782	47085	0.03784645	37.846448	18.200156	31.270705
30	1783	54566	0.03267603	32.676025	13.029734	26.100283
40	1782	77454	0.0230072	23.007204	3.3609125	16.431461
50	1783	91075	0.01957727	19.577271	-0.06902	13.001529
60	1779	83112	0.02140485	21.404851	1.7585595	14.829108
70	1786	66120	0.02701149	27.011494	7.3652025	20.435751
80	1782	65164	0.02734639	27.346388	7.7000958	20.770645
90	1783	110295	0.01616574	16.165737	-3.480554	9.589995
100	1782	270996	0.00657574	6.5757428	-13.07055	0.000000
$\Sigma=$	17824	907245	0.01964629	19.646292		
GÖRECELİ YÜKSEKLİK (m)						
10	1782	31416	0.05672269	56.722689	36.055385	47.157728
20	1782	38926	0.04577917	45.779171	25.111866	36.214210
30	1782	42551	0.04187916	41.879157	21.211852	32.314196
40	1783	61596	0.02894668	28.946685	8.279380	19.381724
50	1782	68102	0.02616663	26.166632	5.499328	16.601672
60	1783	93872	0.01899395	18.993949	-1.673355	9.428989
70	1783	97712	0.01824750	18.247503	-2.419802	8.682542
80	1782	106238	0.01677366	16.773659	-3.893645	7.208698
90	1783	135707	0.01313860	13.138600	-7.528704	3.573639
100	1782	186305	0.00956496	9.564961	-11.102344	0.000000
$\Sigma=$	17824	862425	0.02066730	20.667304		
YAMAÇ EĞİMİ (°)						
10	1780	79200	0.02247475	22.474747	3.746175	12.229386
20	1775	56307	0.03152361	31.523612	12.795039	21.278250
30	1685	66221	0.02544510	25.445100	6.716528	15.199739
40	1878	75044	0.02502532	25.025318	6.296746	14.779957
50	1780	78349	0.02271886	22.718860	3.990288	12.473499
60	1778	90886	0.01956297	19.562969	0.834397	9.317607
70	1790	93908	0.01906121	19.061209	0.332636	8.815847
80	1777	110155	0.01613181	16.131814	-2.596758	5.886453
90	1783	126579	0.01408606	14.086065	-4.642508	3.840703
100	1788	174518	0.01024536	10.245362	-8.483211	0.000000
$\Sigma=$	17814	951167	0.01872857	18.728572		
YAMAÇ EĞİM YÖNÜ (°)						
10	1782	131273	0.01357476	13.574764	-5.164538	1.671592
20	1782	110811	0.01608144	16.081436	-2.657867	4.178264
30	1782	66284	0.02688432	26.884316	8.145013	14.981144
40	1782	61842	0.02881537	28.815368	10.076066	16.912196

Çizelge 7.8. (Devam ediyor).

50	1783	80878	0.02204555	22.045550	3.306248	10.142378
60	1783	96831	0.01841352	18.413525	-0.325778	6.510352
70	1782	66629	0.02674511	26.745111	8.005808	14.841939
80	1782	78179	0.02279384	22.793845	4.054542	10.890672
90	1783	108637	0.01641246	16.412456	-2.326846	4.509284
100	1783	149792	0.01190317	11.903172	-6.836130	0.000000
$\Sigma=$	17824	951156	0.01873930	18.739302		
YAMAÇ ŞEKLİ						
10	1766	97788	0.01805948	18.059476	-0.679571	3.233829
20	1773	89077	0.01990413	19.904128	1.165082	5.078482
30	1780	85958	0.02070779	20.707788	1.968741	5.882141
40	1781	84748	0.02101525	21.015245	2.276199	6.189599
50	1762	88965	0.01980554	19.805542	1.066495	4.979895
60	1793	91740	0.01954436	19.544365	0.805318	4.718718
70	1776	95539	0.01858927	18.589267	-0.149779	3.763621
80	1809	97906	0.01847691	18.476906	-0.262140	3.651260
90	1802	99251	0.01815599	18.155988	-0.583058	3.330342
100	1782	120197	0.01482566	14.825661	-3.913385	0.000015
$\Sigma=$	17824	951169	0.01873905	18.739046		
TOPOĞRAFİK NEMLİLİK İNDEKSİ						
10	1747	137287	0.01272517	12.725167	-6.012382	0.000000
20	1805	106979	0.01687247	16.872470	-1.865079	4.147303
30	1790	112757	0.01587485	15.874846	-2.862703	3.149679
40	1761	103286	0.01704975	17.049745	-1.687804	4.324578
50	1784	101761	0.01753127	17.531274	-1.206275	4.806107
60	1779	90368	0.01968617	19.686172	0.948623	6.961005
70	1804	82736	0.02180429	21.804293	3.066744	9.079126
80	1773	72948	0.02430498	24.304984	5.567435	11.579817
90	1791	72197	0.02480712	24.807125	6.069576	12.081958
100	1790	70926	0.02523757	25.237572	6.500022	12.512405
$\Sigma=$	17824	951245	0.01873755	18.737549		
FAYLARA YAKINLIK (m)						
10	1780	79317	0.02244160	22.441595	3.355182	13.329989
20	1790	72303	0.02475693	24.756926	5.670512	15.645320
30	1778	80091	0.02219975	22.199748	3.113334	13.088142
40	1786	88312	0.02022375	20.223752	1.137339	11.112146
50	1780	76292	0.02333141	23.331411	4.244997	14.219805
60	1782	77950	0.02286081	22.860808	3.774395	13.749203
70	1781	81846	0.02176038	21.760379	2.673966	12.648774
80	1781	195465	0.00911161	9.111606	-9.974808	0.000000
90	1784	111595	0.01598638	15.986379	-3.100034	6.874774
100	1782	70687	0.02520973	25.209727	6.123314	16.098122
$\Sigma=$	17824	933858	0.01908641	19.086414		

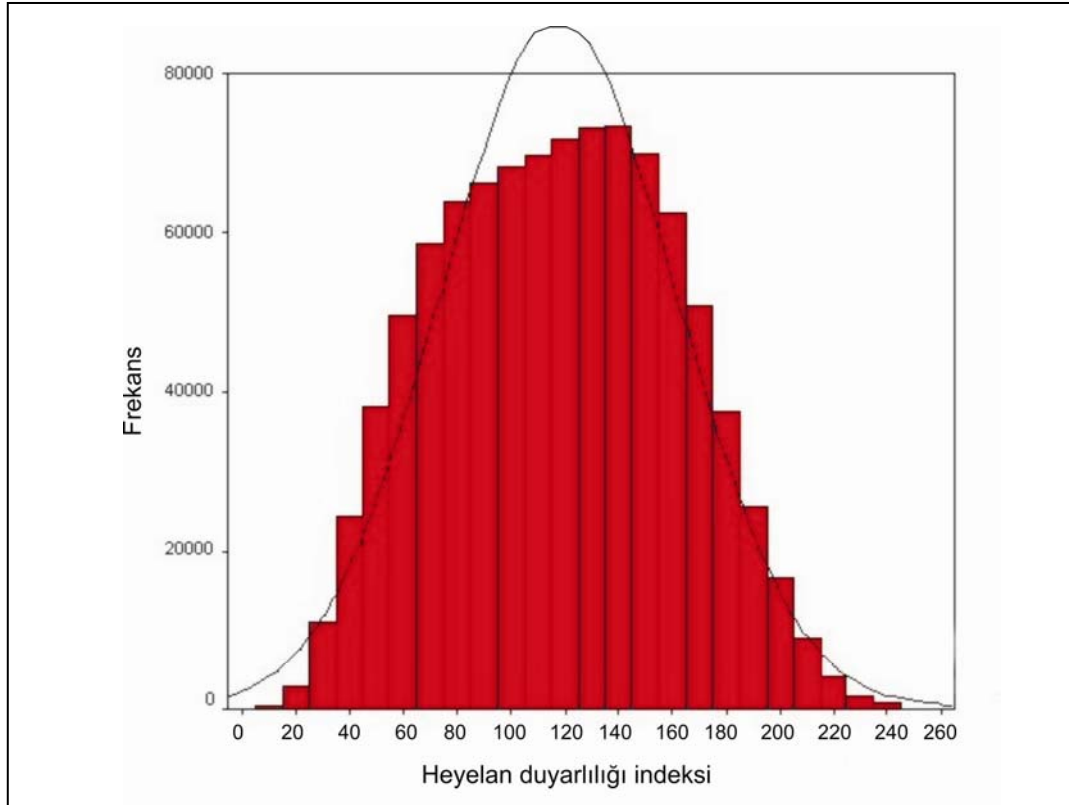
Çizelge 7.8. (Devam ediyor).

DRENAJA YAKINLIK (m)						
10	1851	71136	0.02602058	26.020580	7.046808	14.215006
20	1952	60652	0.03218360	32.183605	13.209832	20.378031
30	1581	51051	0.03096903	30.969031	11.995258	19.163457
40	1721	56988	0.03019934	30.199340	11.225568	18.393766
50	1842	72756	0.02531750	25.317500	6.343727	13.511926
60	1709	87417	0.01954997	19.549973	0.576200	7.744399
70	1836	104919	0.01749921	17.499214	-1.474559	5.693640
80	1774	138768	0.01278393	12.783927	-6.189846	0.978353
90	1774	150268	0.01180557	11.805574	-7.168199	0.000000
100	1784	145447	0.01226564	12.265636	-6.708136	0.460062
$\Sigma=$	17824	939402	0.01897377	18.973773		
SIRTLARA YAKINLIK (m)						
10	1486	135319	0.01098146	10.981459	-7.791194	0.0074
20	2069	146063	0.01416512	14.165121	-4.607532	3.1911
30	1694	100058	0.01693018	16.93018	-1.842472	5.9561
40	1736	96600	0.01797101	17.971014	-0.801638	6.9969
50	1884	100296	0.0187844	18.784398	0.011746	7.8103
60	1752	89346	0.01960916	19.60916	0.8365077	8.6351
70	1740	81639	0.02131334	21.313343	2.5406907	10.3393
80	1866	71817	0.02598271	25.982706	7.2100539	15.0086
90	1805	67116	0.02689374	26.893736	8.1210841	15.9197
100	1792	61159	0.02930068	29.300675	10.528023	18.3266
$\Sigma=$	17824	949413	0.01877371	18.773705		
YOLLARA YAKINLIK (m)						
10	1770	62875	0.02815109	28.151093	9.085810	22.235376
20	1412	51555	0.02738823	27.388226	8.322943	21.472509
30	2216	76453	0.02898513	28.985128	9.919845	23.069411
40	2002	72671	0.02754882	27.548816	8.483532	21.633098
50	1540	54817	0.02809347	28.093475	9.028191	22.177757
60	1870	70785	0.02641803	26.418026	7.352743	20.502309
70	1550	62825	0.02467171	24.671707	5.606424	18.755990
80	1919	79480	0.02414444	24.144439	5.079155	18.228721
90	1749	99834	0.01751908	17.519082	-1.546202	11.603364
100	1796	303598	0.00591572	5.915717	-13.149566	0.000000
$\Sigma=$	17824	934893	0.01906528	19.065283		
NDVI						
10	1766	51322	0.03441019	34.410194	15.673335	27.660951
20	1511	48112	0.03140589	31.405886	12.669026	24.656643
30	1755	55729	0.03149168	31.491683	12.754823	24.742439
40	2037	70001	0.02909958	29.099584	10.362724	22.350341
50	1818	66069	0.02751669	27.516687	8.779827	20.767443
60	1394	54949	0.02536898	25.368979	6.632119	18.619735
70	1784	81404	0.02191538	21.915385	3.178525	15.166141

Çizelge 7.8. (Devam ediyor).

80	2173	117363	0.01851520	18.515205	-0.221655	11.765961
90	1759	135634	0.01296872	12.968725	-5.768135	6.219481
100	1827	270697	0.00674924	6.749244	-11.987616	0.000000
$\Sigma=$	17824	951280	0.01873686	18.736860		
BİTKİ TÜRÜ						
Tarım alanları	12002	405017	0.02963332	29.633324	10.886414	26.483718
Bitki örtüsü olmayan alanlar	1284	46108	0.02784766	27.847662	9.100752	24.698056
Baltalık alan	979	43927	0.02228698	22.286976	3.540066	19.137370
Karaçam	523	50049	0.01044976	10.449759	-8.297151	7.300153
Sarıçam	79	20591	0.00383663	3.836628	-14.910283	0.687021
Sahilçamı	64	6535	0.00979342	9.793420	-8.953490	6.643814
Gök nar	52	16510	0.00314961	3.149606	-15.597304	0.000000
Kayın	1792	286425	0.00625644	6.256437	-12.490473	3.106831
Gür gen	140	15245	0.00918334	9.183339	-9.563572	6.033732
Meşe	909	60363	0.01505889	15.058894	-3.688017	11.909287
$\Sigma=$	17824	950770	0.01874691	18.746910		
ZEMİN GRUBU						
Çok Sığ	1010	228483	0.00442046	4.420460	-16.589266	0.000000
Sığ	12533	538877	0.02325763	23.257627	2.247901	18.837166
Orta derin	4281	81009	0.05284598	52.845980	31.836254	48.425520
$\Sigma=$	17824	848369	0.02100973	21.009726		

Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşım kullanılarak hesaplanan parametre sınıflarının, normalleştirilmiş ağırlık değerlerine sahip parametre haritaları çakıştırılmış ve her bir pikseldeki, 12 adet parametreye ait ağırlık değerleri toplanmıştır. Heyelan duyarlılığını temsil eden indeks değerlerinin; en küçük değeri, 3.1068; en büyük değeri, 259.9379; ortalaması, 117.6489 ve standart sapması 43.6499'dur. Heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin frekans dağılımı, Şekil 7.6'da verilmektedir. Heyelan duyarlılık indeksi; en küçük ve en büyük değer arasında eşit aralıklarda, "ortalama $\pm$ standart sapma değeri" dikkate alınarak, frekans dağılım fonksiyonu eğrisinin eşit olasılığa sahip değerleri kullanılarak ve Jenks (1967) sınıflaması temel alınarak sınıflandırılmıştır. Söz konusu 4 yaklaşım temel alınarak sınıflandırılan heyelan duyarlılık haritalarında, duyarlılık sınıflarının kapsadığı alanlar ve heyelanların bu sınıflar içindeki dağılımları Çizelge 7.9'da sunulmaktadır.



Şekil 7.6. Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin frekans dağılımı.

Çizelge 7.9. Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin sınıflandırılması.

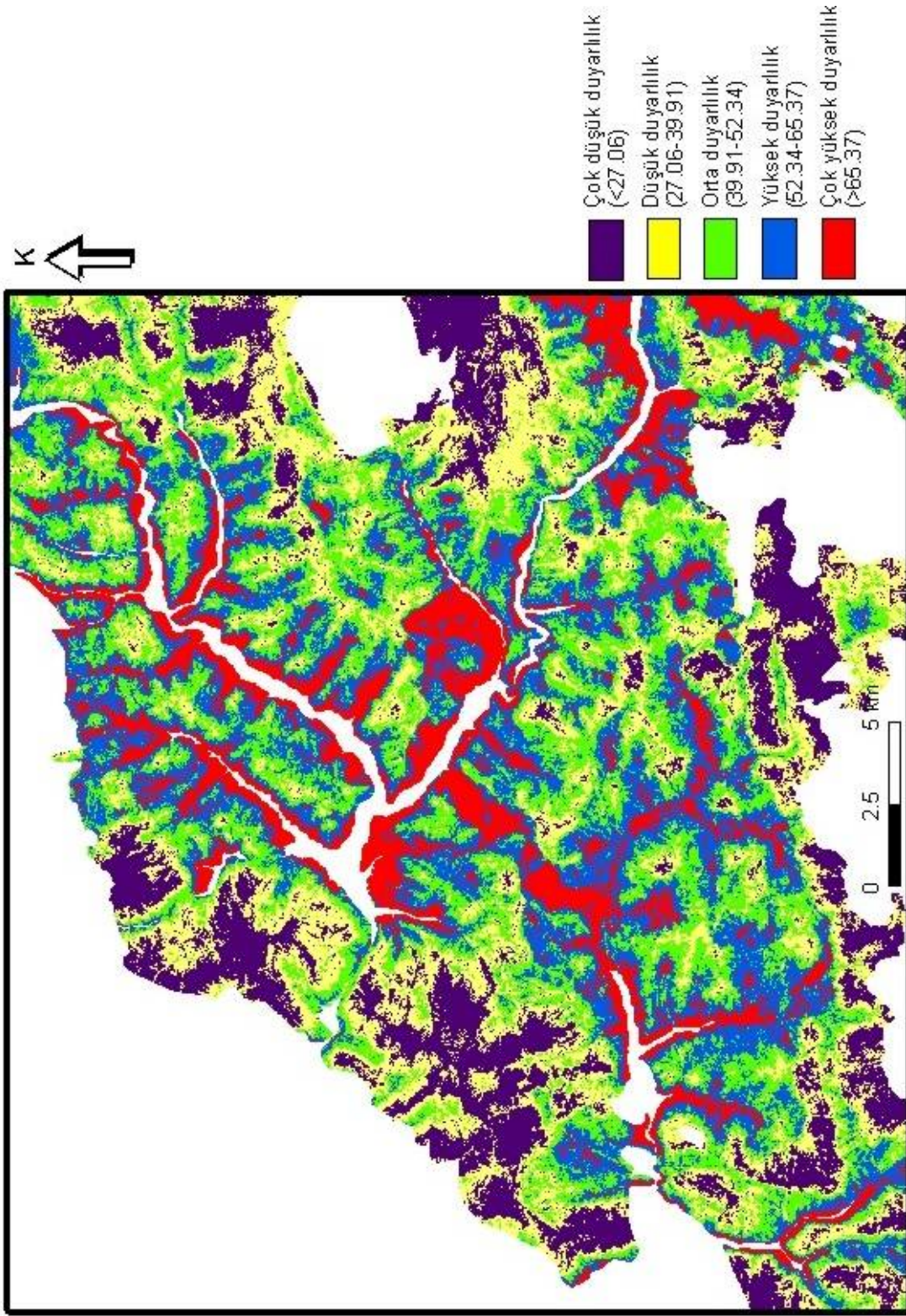
	HEYELAN DUYARLILIĞI	SINIF ARALIĞI *	HEYELAN DAĞILIMI (%)	ALANSAL DAĞILIM (%)
En küçük ve en büyük değer arasında eşit aralıklarda yapılan sınıflama	Çok Düşük Duyarlılık	1.20-20.95	0.20	7.81
	Düşük Duyarlılık	20.95-40.72	5.97	33.10
	Orta Duyarlılık	40.72-60.48	37.57	38.67
	Yüksek Duyarlılık	60.48-80.24	47.88	19.18
	Çok Yüksek Duyarlılık	80.24-100	8.39	1.24
Ortalama ± standart sapma değeri dikkate alınarak yapılan sınıflama	Çok Düşük Duyarlılık	1.20-25.11	0.47	13.43
	Düşük Duyarlılık	25.11-38.54	4.10	23.42
	Orta Duyarlılık	38.54-51.98	17.81	26.21
	Yüksek Duyarlılık	51.98-65.41	35.52	24.44
	Çok Yüksek Duyarlılık	65.41-100	42.10	12.50
Frekans dağılım fonksiyonu eğrisinin eşit olasılık değerlerine göre yapılan sınıflama	Çok Düşük Duyarlılık	1.20-31.13	1.55	23.35
	Düşük Duyarlılık	31.13-41.01	4.85	18.12
	Orta Duyarlılık	41.01-49.52	11.48	16.65
	Yüksek Duyarlılık	49.52-59.39	22.70	19.52
	Çok Yüksek Duyarlılık	59.39-100	59.42	22.36

Çizelge 7.9. (Devam ediyor).

Jenks (1967) sınıflaması	Çok Düşük Duyarlılık	1.20-27.06	0.67	16.44
	Düşük Duyarlılık	27.06-39.91	4.82	22.98
	Orta Duyarlılık	39.91-52.34	17.63	24.36
	Yüksek Duyarlılık	52.34-65.37	34.59	23.64
	Çok Yüksek Duyarlılık	65.37-100	42.27	12.57

* Hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi, “0” ve “100” değerleri arasında normalleştirilmiştir.

Jenks (1967) sınıflaması kullanılarak, “çok düşük” ve “çok yüksek” heyelan duyarlılığı arasında 5 grupta sınıflandırılan heyelan duyarlılık haritasına göre; inceleme alanının, yaklaşık % 13’ü çok yüksek, % 24’ü yüksek, % 24’ü orta, % 23’ü düşük ve % 16’sı çok düşük heyelan duyarlılığına sahiptir (Şekil 7.7). Üretilen haritanın performansının belirlenmesi amacıyla mevcut heyelanlar, sonuç haritası ile karşılaştırılmıştır. Mevcut heyelanların, yaklaşık % 42’si çok yüksek, % 35’i yüksek, % 18’i orta ve % 5’i düşük heyelan duyarlılığı sınıfında yer almaktadır.



Şekil 7.7. Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.

8. ÇOK DEĞİŞKENLİ İSTATİSTİKSEL ANALİZ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ OLUŞTURULMASI

İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi kullanılarak yapılan heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde, heyelan oluşumunda etkin olan her bir parametre sınıflandırılarak, heyelan yoğunluğuna göre ağırlık değerleri atanmaktadır. Ancak, parametre sınıflarının ve heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin ağırlık değerlerinin belirlenmesi, araştırmacının tecrübesine dayanmaktadır. Bu nedenle, iki değişkenli istatistiksel analizler, tecrübeye dayalı nitel yöntemler ile veri yönetimli nicel yöntemlerin bileşimi şeklinde kabul edilmektedir (Van Westen et al., 1997; Aleotti and Chowdhury, 1999). Carrara et al. (1978), iki değişkenli istatistiksel analizlerin söz konusu sınırlamalarının aşılması amacıyla heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde, çok değişkenli istatistiksel analizlerin kullanılmasını önermiştir. İlk uygulamalar Carrara (1983, 1988) ve Carrara et al. (1990, 1991) tarafından yapılmış ve günümüze kadar yaygın olarak kullanılmıştır. Çok değişkenli istatistiksel analizler ile heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi, heyelanların meydana gelmesinde etkin olan parametrelerin belirlenmesi ve bu parametreler ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkilerin kurulması temeline dayanmaktadır. Heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin ağırlıkları, heyelan oluşumunda etkin olma derecesine göre her bir parametrenin, heyelan oluşumuna katkısını göstermektedir (Van Westen et al., 1997; Guzzetti et al., 1999; Süzen and Doyuran, 2004b).

Heyelan duyarlılık analizlerinde yaygın olarak kullanılan çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri, ayırma (diskriminant) analizi ve lojistik regresyon analizidir (Carrara, 1983; Van Westen, 1993; Carrara and Guzzetti, 1995; Atkinson and Massari, 1997; Guzzetti et al., 1999; Baeza and Corominas, 2001; Lee and Min, 2001; Dai and Lee, 2002; Süzen and Doyuran, 2004b; Ayalew and Yamagishi, 2005; Yeşilnacar and Topal, 2005). Bu çalışmada, inceleme alanının heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde, çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden; faktör analizi, ayırma analizi ve lojistik regreyon analizi yöntemleri kullanılmış ve inceleme alanının heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. İstatistiksel analizlerin gerçekleştirilmesinde; ArcGIS 9, SYSTAT 7.0, SPSS 9.0 paket programları kullanılmıştır.

8.1. Faktör Analizi

8.1.1. Faktör analizine ilişkin genel bilgiler

Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden biri olan faktör analizi, birbiriyle ilişkili çok sayıdaki değişkeni, daha az sayıda, anlamlı ve birbirinden bağımsız yeni veri yapılarına dönüştürmek ve değişkenleri sınıflandırarak ortak faktörleri oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır (Kleimbaum et al., 1988). Faktör analizi, p değişkenli bir olayda birbiri ile ilişkili değişkenleri bir araya getirerek, az sayıda yeni ilişkisiz değişken bulmayı amaçlayan boyut indirgeme ve bağımlılık yapısını yok etme yöntemidir (Tatlıdil, 2002).

Faktör analizi, uygulanış amacına göre sınıflara ayrılmaktadır. Bunlar arasında en yaygın olanları, R-tipi ve Q-tipi faktör analizleridir. R-tipi faktör analizi, değişkenlerin korelasyon matrisinden yararlanılarak yapılan bir faktör analizi uygulamasıdır. Q-tipi ise örnekler arasındaki benzerlikleri inceleyerek örnekler arasında daha az sayıda homojen gruplar oluşturmaktadır. Faktör analizleri, varyans-kovaryans veya korelasyon matrisleri kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kullanılacak matrisin türü, değişkenlerin ölçü birimine göre seçilmektedir. Ham veri matrisinin kullanılması durumunda varyans-kovaryans matrisi, standartlaştırılmış veri matrisinin kullanılması durumunda ise korelasyon matrisinden yararlanılmaktadır. Eğer değişkenlerin ölçü birimleri ve varyansları birbirlerine yakın ise kovaryans matrisi, değil ise korelasyon matrisi kullanılmakla birlikte genelde korelasyon matrisinin kullanılması önerilmektedir. Korelasyon matrisinin faktörleştirilmesi temeline dayanan bu analizin faktörleştirme aşamasında, merkezsel (centroid) yöntem, çoklu gruplandırma (multiple grouping) yöntemi, ana faktör (main factor) yöntemi, temel bileşenler analizi (principal component analysis) yöntemi ve en büyük olabilirlik (maximum likelihood) yöntemi gibi bir çok yöntem kullanılmaktadır (Harman, 1976; Rummel, 1970; Kendall, 1975). Bu yöntemler arasında yaygın olarak kullanılan yöntem ise temel bileşenler analizidir. Bu analiz, değişkenler arasındaki en yüksek varyansı açıklayan birinci faktörün hesaplanması ve kalan maksimum miktardaki varyansı açıklamak için ikinci ve diğer faktörlerin hesaplanması temeline dayanmaktadır. Elde edilen faktörler arasında korelasyon olmaması gerekmektedir (Tatlıdil, 2002; Tüysüz ve Yaylalı, 2005).

Faktör analizi modeli, z_j değişkenleri ile $f_1, f_2, \dots, f_m$ ortak faktörleri arasındaki ilişkiyi gösteren doğrusal bir modeldir ve genel olarak aşağıdaki biçimde ifade edilmektedir;

$$z_j = a_{j1}.f_1 + a_{j2}.f_2 + \dots + a_{jm}.f_m + b_j.u_j \quad ; j = 1, 2, \dots, p \quad (\text{Eş. 8.1})$$

Bu eşitlikte;

z_j = hipotetik çıkarım ya da hipotetik değişken

a = j'inci değişkenin m'inci faktör üzerindeki yükü veya ağırlığı

u_j = özel ya da artık faktörü

b_j = u_j değişkenine ilişkin katsayıyı temsil etmektedir (Tatlıldil, 2002).

8.1.2. Faktör analizi yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması

İnceleme alanının faktör analizi yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında, 25*25 m'lik grid ağı sisteminde 951340 adet pikselden oluşan veri tabanı kullanılmıştır. Bu veri tabanı, yükseklik (topoğrafik yükseklik ve göreceli yükseklik), yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yamaç şekli, topoğrafik nemlilik indeksi, faylara yakınlık, drenaj ağına yakınlık, sırtlara yakınlık, yollara yakınlık, bitki yoğunluğu indeksi, bitki türü ve zemin grubu olmak üzere toplam 12 parametreye ait değerler ile heyelanlı ve heyelan olmayan alanları temsil eden, “1” ve “0” değerlerinden oluşan bağımlı değişkeni içermektedir. Faktör analizinin gerçekleştirilmesi amacıyla, veri tabanında “1” değeri atanmış olan heyelanlı pikseller seçilmiş ve 17824 adet heyelanlı piksel ile 12 adet değişkenden oluşan veri setine faktör analizi uygulanmıştır.

Faktör analizi, genel olarak dört temel aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar;

1. Veri setinin faktör analizi için uygunluğunun değerlendirilmesi,
2. Faktörlerin elde edilmesi,
3. Faktörlerin rotasyonu,
4. Faktör puanlarının elde edilmesidir.

Faktör analizinin ilk aşamasında, veri setinin faktör analizi için uygun olup olmadığı değerlendirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, genel olarak kullanılan yöntemler, korelasyon matrisinin oluşturulması, Barlett testi ve Kaiser-Meyer-Olkin testleridir. Değişkenler arasındaki korelasyonların yüksek olması, değişkenlerin ortak faktörleri oluşturma olasılıklarını artırmakta, korelasyonların düşük olması ise değişkenlerin ortak faktörler oluşturmayaacağını göstermektedir (Albayrak vd., 2005). Heyelan oluşumunda etkin olan 12 adet değişkene ait korelasyon matrisi, Çizelge 8.1’de sunulmaktadır. Korelasyon matrisinde negatif yönlü (-) korelasyonlar, ya değişkenlerin birbirine benzemediğini ya da benzerliğin ters yönlü olduğunu göstermektedir. Çizelge 8.1 incelendiğinde, en yüksek korelasyonun topoğrafik yükseklik ve drenaja yakınlık parametreleri arasında olduğu görülmektedir. Yamaç eğim yönü ile topoğrafik nemlilik indeksi, sırtlara yakınlık ve yollara yakınlık arasında; yamaç şekli ile faylara yakınlık, yollara yakınlık, bitki yoğunluğu indeksi ve bitki türü arasında; topoğrafik nemlilik indeksi ile faylara yakınlık ve bitki yoğunluğu indeksi arasında; drenaj ile bitki türü arasında ve sırtlara yakınlık ile yollara yakınlık arasında benzerlik bulunmamaktadır. Diğer değişkenler arasında pozitif veya negatif yönlü korelasyonlar bulunmakla birlikte korelasyon katsayıları düşüktür. Bu nedenle, veri setinin faktör analizi için uygun olup olmadığının araştırılması amacıyla Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) testi yapılmıştır. Kaiser-Meyer-Olkin örnekleme yeterliliği ölçütü, gözlenen korelasyon katsayıları büyüklüğü ile kısmi korelasyon katsayılarının büyüklüğünü karşılaştıran bir indekstir. Faktör analizinin uygulanması için KMO oranının 0.5’in üzerinde olması gerekmektedir (Sharma, 1996). Bu çalışmada, veri setinin KMO oranı, 0.6 olarak hesaplanmış ve faktör analizi için “orta derecede” uygun olduğu belirlenmiştir.

Veri setinin faktör analizine uygunluğu belirlendikten sonra ikinci aşamada, değişkenler arasındaki ilişkiyi yüksek derecede temsil eden faktörler elde edilmiştir. Faktör sayısının belirlenmesinde, literatürde kullanılan faktör sayısı belirleme ölçütleri temel alınmıştır. Bu ölçütler;

1. Özdeğeri 1’den büyük olan faktörlerin dikkate alınması,
2. Her bir faktörle ilişkili toplam varyansı gösteren eğim testi yapılması ve kırılma noktasına kadar olan faktörlerin dikkate alınması,

Çizelge 8.1. Değişkenlere ait korelasyon matrisi.

	Topoğrafik Yükseklik	Yamaç Eğimi	Yamaç yöneli	Yamaç şekli	Nemlilik indeksi	Faylara yakınlık	Drenaja yakınlık	Sırtlara yakınlık	Yollara yakınlık	NDVI	Bitki türü	Toprak derinliği
Topoğrafik Yükseklik (T.Y.)	1.000											
Yamaç Eğimi (Y.E.)	0.052**	1.000										
Yamaç eğim yönü (Y.E.Y)	-0.084**	0.143**	1.000									
Yamaç şekli (Y.Ş.)	0.048**	0.029**	-0.046**	1.000								
Nemlilik indeksi (N.I.)	-0.019*	-0.382**	0.000	-0.299**	1.000							
Faylara yakınlık (F.Y.)	-0.056**	-0.054**	0.039**	-0.001	-0.002	1.000						
Drenaja yakınlık (D.Y.)	0.639**	0.076**	-0.095**	0.036**	-0.067**	-0.094**	1.000					
Sırtlara yakınlık (S.Y.)	-0.345**	-0.077**	0.007	-0.038**	0.101**	0.063**	-0.332**	1.000				
Yollara yakınlık(Y.Y.)	-0.059**	0.089**	0.005	-0.004	-0.024**	-0.052**	-0.089**	-0.013	1.000			
NDVI	0.108**	0.069**	-0.035**	-0.015	-0.005	-0.163**	0.114**	-0.139**	0.174**	1.000		
Bitki türü (B.T.)	-0.066**	0.227**	0.114**	-0.006	-0.056**	-0.043**	-0.011	-0.078**	0.085**	0.179**	1.000	
Toprak derinliği (T.D.)	0.124**	-0.059**	-0.067**	-0.023**	0.099**	-0.078**	-0.037**	0.124**	0.162**	0.116**	0.034**	1.000

** % 1 önem seviyesinde değişkenler arasında korelasyon

* % 5 önem seviyesinde değişkenler arasında korelasyon

3. Varyansın % 90'ını açıklayan faktör sayısının kabul edilmesi,
4. Her bir faktörün, toplam varyansı açıklamasına katkısı, % 5'in altına düştüğündeki faktör sayısının dikkate alınması,
5. Özdeğeri, 0.7'nin altında olan bütün faktörlerin modelden çıkartılması ya da
6. Faktör sayısının, araştırmacı tarafından belirlenmesidir (Dunteman, 1989; Tüysüz ve Yaylalı, 2005).

Temel bileşenler analizi sonuçlarına göre, yüksek özdeğerlerle temsil edilen 0.8'den büyük özdeğere sahip ve toplam varyansın yaklaşık % 68'ini açıklayan ilk altı faktör seçilmiştir (Çizelge 8.2).

Faktör sayısı belirlendikten sonra üçüncü aşamada, elde edilen faktörlerin daha iyi yorumlanabilmesi için yeni faktörlerin oluşturulduğu faktör döndürmesi yapılmıştır. Daha iyi bir faktör analizi sonucunun elde edilmesi için yapılan bir çok faktör döndürme yöntemi kullanılmakla birlikte, yaygın olarak kullanılan yöntem, varimaks döndürmesidir. Varimaks yönteminde, her bir faktörün bazı yük değerleri 1'e yaklaştırılırken, geriye kalan çok sayıdaki yük değeri 0'a yaklaştırılmakta ve faktör varyanslarını, en yüksek şekilde açıklayacak şekilde döndürme yapılmaktadır (Tatlıdil, 2002). Çizelge 8.3'de, varimaks döndürmesi yapılarak gerçekleştirilen faktör analizi sonuçlarına göre bir değişkenin, diğer değişkenlerle paylaştığı varyans miktarını temsil eden ortak varyanslar sunulmaktadır. Ortak varyansı, 0.50 değerinden düşük olan değişkenlerin analizden çıkartılması ve faktör analizinin yeniden yapılması gerekmektedir (Hair et al., 1998). On iki adet değişkene ait ortak varyanslar incelendiğinde, bitki türünün 0.5'den düşük ortak varyansa sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, bitki türü parametresi analizden çıkartılmış ve yüksek ortak varyans değerine sahip 11 adet değişken kullanılarak faktör analizi yeniden yapılmıştır.

Varimaks döndürmesi yapılarak yeniden tekrarlanan faktör analizi sonuçlarına göre, değişkenlerin ortak varyansları 0.5 değerinden büyüktür (Çizelge 8.4). Özdeğer istatistiği ve varyans açıklama oranları incelendiğinde, varimaks döndürmesi sonucunda özdeğerlerin, 1'den büyük olduğu ve altı adet faktörün, toplam varyansın % 72'sini açıkladığı görülmektedir (Çizelge 8.5).

Çizelge 8.2. Temel bileşenler analizi sonuçları.

DEĞİŞKENLER	ÖZDEĞERLER	VARYANS (%)	KÜMÜLATİF (%)
Topoğrafik yükseklik	2.04	17.00	17.00
Yamaç eğimi	1.59	13.28	30.29
Yamaç eğim yönü	1.44	12.01	42.29
Yamaç şekli	1.17	9.77	52.06
Topoğrafik nemlilik indeksi	0.96	7.99	60.06
Faylara yakınlık	0.91	7.58	67.64
Drenaja yakınlık	0.86	7.13	74.76
Sırtlara yakınlık	0.85	7.06	81.82
Yollara yakınlık	0.72	6.01	87.83
Bitki yoğunluğu indeksi	0.64	5.30	93.13
Bitki türü	0.50	4.14	97.26
Zemin grubu	0.33	2.74	100.00

Çizelge 8.3. On iki adet değişkenin ortak varyans değerleri.

DEĞİŞKENLER	ORTAK VARYANS
Topoğrafik yükseklik	0.819
Yamaç eğimi	0.658
Yamaç eğim yönü	0.587
Yamaç şekli	0.589
Topoğrafik nemlilik indeksi	0.716
Faylara yakınlık	0.907
Drenaja yakınlık	0.746
Sırtlara yakınlık	0.616
Yollara yakınlık	0.594
Bitki yoğunluğu indeksi	0.583
Bitki türü	0.477
Zemin grubu	0.825

Çizelge 8.4. On bir adet değişkenin ortak varyans değerleri.

DEĞİŞKENLER	ORTAK VARYANS
Topoğrafik yükseklik	0.815
Yamaç eğimi	0.681
Yamaç eğim yönü	0.645

Çizelge 8.4. (Devam ediyor).

Yamaç şekli	0.628
Topoğrafik nemlilik indeksi	0.719
Faylara yakınlık	0.904
Drenaja yakınlık	0.748
Sırtlara yakınlık	0.629
Yollara yakınlık	0.713
Bitki yoğunluğu indeksi	0.575
Zemin grubu	0.850

Çizelge 8.5. Özdeğer istatistiğine bağlı faktör sayısı ve açıklanan varyans yüzdesi.

Değişkenler	BAŞLANGIÇ ÖZDEĞERLERİ			FAKTÖRLERE AİT ÖZDEĞERLER			DÖNDÜRME SONUCUNDA FAKTÖRLERE AİT ÖZDEĞERLER		
	Toplam	Varyans (%)	Kümülatif (%)	Toplam	Varyans (%)	Kümülatif (%)	Toplam	Varyans (%)	Kümülatif (%)
Topoğrafik yükseklik	2.033	18.483	18.483	2.033	18.483	18.483	1.919	17.443	17.443
Yamaç eğimi	1.515	13.776	32.260	1.515	13.776	32.260	1.421	12.914	30.357
Yamaç eğim yönü	1.368	12.437	44.696	1.368	12.437	44.696	1.228	11.167	41.524
Yamaç şekli	1.122	10.202	54.899	1.122	10.202	54.899	1.188	10.804	52.328
Nemlilik indeksi	0.959	8.719	63.617	0.959	8.719	63.617	1.103	10.031	62.358
Faylara yakınlık	0.908	8.255	71.873	0.908	8.255	71.873	1.047	9.515	71.873
Drenaja yakınlık	0.848	7.708	79.581						
Sırtlara yakınlık	0.761	6.915	86.496						
Yollara yakınlık	0.643	5.844	92.341						
Bitki yoğunluğu indeksi	0.510	4.632	96.973						
Zemin grubu	0.333	3.027	100.000						

Çizelge 8.6'da, her bir değişkenin faktörler üzerindeki ağırlıklarını temsil eden döndürülmüş faktör matrisi sunulmaktadır. Faktör matrisinde bir değişken, hangi faktör altında mutlak değer olarak büyük ağırlığa sahipse, söz konusu faktör ile yakın ilişki içerisinde. Bir değişkenin, elde edilen bir faktörle ilişkili olduğunun söylenebilmesi için faktör ağırlığının 0.3 ve üzerinde olması gerekmektedir. Faktör ağırlığının 0.5 ve üzerinde olması ise oldukça iyi olarak kabul edilmektedir (Hair et al., 1998). Buna göre, topoğrafik yükseklik, drenaja yakınlık ve sırtlara yakınlık, 1. faktör; topoğrafik nemlilik indeksi ve yamaç şekli, 2. faktör; yollara yakınlık ve bitki yoğunluğu indeksi, 3. faktör; yamaç eğimi ve yamaç eğim yönü, 4. faktör; zemin grubu, 5. faktör ve faylara yakınlık, 6. faktör altında en yüksek ağırlıklara sahiptir.

Faktör analizinin 4. aşamasında, faktör puanlarının hesaplanması amacıyla faktör puanı katsayısı matrisi oluşturulmuştur (Çizelge 8.7). Bu matris kullanılarak, inceleme alanındaki heyelanlı alanları temsil eden 17824 adet piksel için elde edilen 6 adet faktöre ait faktör fonksiyonları belirlenmiştir. Söz konusu fonksiyonlar ile faktör puanlarının hesaplanması amacıyla, inceleme alanının tamamını temsil eden 951340 adet pikseldeki 11 adet değişkene ait değerler normalleştirilmiştir. Normalleştirilen değerler ile Eş. 8.2; Eş. 8.3, Eş. 8.4; Eş. 8.5; Eş. 8.6 ve Eş. 8.7'de verilen eşitlikler kullanılarak faktör puanları hesaplanmış ve faktör puanlarının toplanması ile inceleme alanının heyelan duyarlılığını temsil eden, sonuç faktör puanları elde edilmiştir.

Çizelge 8.6. Döndürülmüş faktör matrisi.

DEĞİŞKENLER	FAKTÖRLER					
	1	2	3	4	5	6
Topoğrafik yükseklik	0.887	0.015	-0.023	-0.019	0.165	0.007
Drenaja yakınlık	0.857	0.043	-0.057	-0.015	-0.033	-0.080
Sırtlara yakınlık	-0.574	-0.028	-0.282	-0.004	0.467	-0.014
Nemlilik indeksi	-0.041	-0.800	-0.038	-0.254	0.106	0.017
Yamaç şekli	0.011	0.744	-0.056	-0.261	0.032	0.040
Yollara yakınlık	-0.138	0.049	0.796	0.057	0.183	0.148
Bitki yoğunluğu indeksi	0.152	-0.057	0.670	-0.048	-0.049	-0.309
Yamaç eğim yönü	-0.087	-0.190	-0.073	0.766	-0.036	0.087
Yamaç eğimi	0.092	0.423	0.134	0.679	-0.017	-0.122
Zemin grubu	0.083	-0.057	0.175	-0.049	0.897	-0.042
Faylara yakınlık	-0.033	0.003	-0.060	0.006	-0.047	0.947

Çizelge 8.7. Faktör puanı katsayısı matrisi.

DEĞİŞKENLER	FAKTÖRLER					
	1	2	3	4	5	6
Topoğrafik yükseklik (T.Y)	0.489	-0.020	-0.079	0.029	0.212	0.083
Yamaç eğimi (Y.E)	0.034	0.235	0.046	0.544	0.057	-0.096
Yamaç eğim yönü (Y.E.Y)	-0.002	-0.203	-0.080	0.678	0.026	0.065
Yamaç şekli (Y.Ş)	-0.032	0.567	-0.054	-0.287	0.063	0.041
Nemlilik indeksi (N.I)	0.018	-0.547	-0.003	-0.137	0.029	0.007
Faylara yakınlık (F.Y)	0.062	0.009	0.075	0.000	-0.010	0.927
Drenaja yakınlık (D.Y)	0.454	-0.011	-0.097	0.013	0.026	-0.015
Sırtlara yakınlık (S.Y)	-0.268	0.046	-0.266	0.036	0.434	-0.084
Yollara yakınlık (Y.Y)	-0.089	0.027	0.679	0.011	0.088	0.241
Bitki yoğunluğu indeksi (NDVI)	0.022	-0.069	0.535	-0.072	-0.129	-0.211
Zemin grubu (Z.G)	0.088	0.011	0.044	0.034	0.822	0.014

$$f_{1HD}=(0.489*T.Y)+(0.034*Y.E)-(0.002*Y.E.Y)-(0.032*Y.Ş)+(0.018*N.I)+(0.062*F.Y) \\ +(0.454*D.Y)-(0.268*S.Y)-(0.089*Y.Y)+(0.022*NDVI)+(0.088*Z.G) \quad (Eş. 8.2)$$

$$f_{2HD}=(-0.020*T.Y)+(0.235*Y.E)-(0.203*Y.E.Y)+(0.567*Y.Ş)-(-0.547*N.I)+(0.009*F.Y) \\ -(0.011*D.Y)+(0.046*S.Y)+(0.027*Y.Y)-(0.069*NDVI)+(0.011*Z.G) \quad (Eş. 8.3)$$

$$f_{3HD}=(-0.079*T.Y)+(0.046*Y.E)-(0.080*Y.E.Y)-(0.054*Y.Ş)-(-0.003*N.I)+(0.075*F.Y) \\ -(0.097*D.Y)-(0.266*S.Y)+(0.679*Y.Y)+(0.535*NDVI)+(0.044*Z.G) \quad (Eş. 8.4)$$

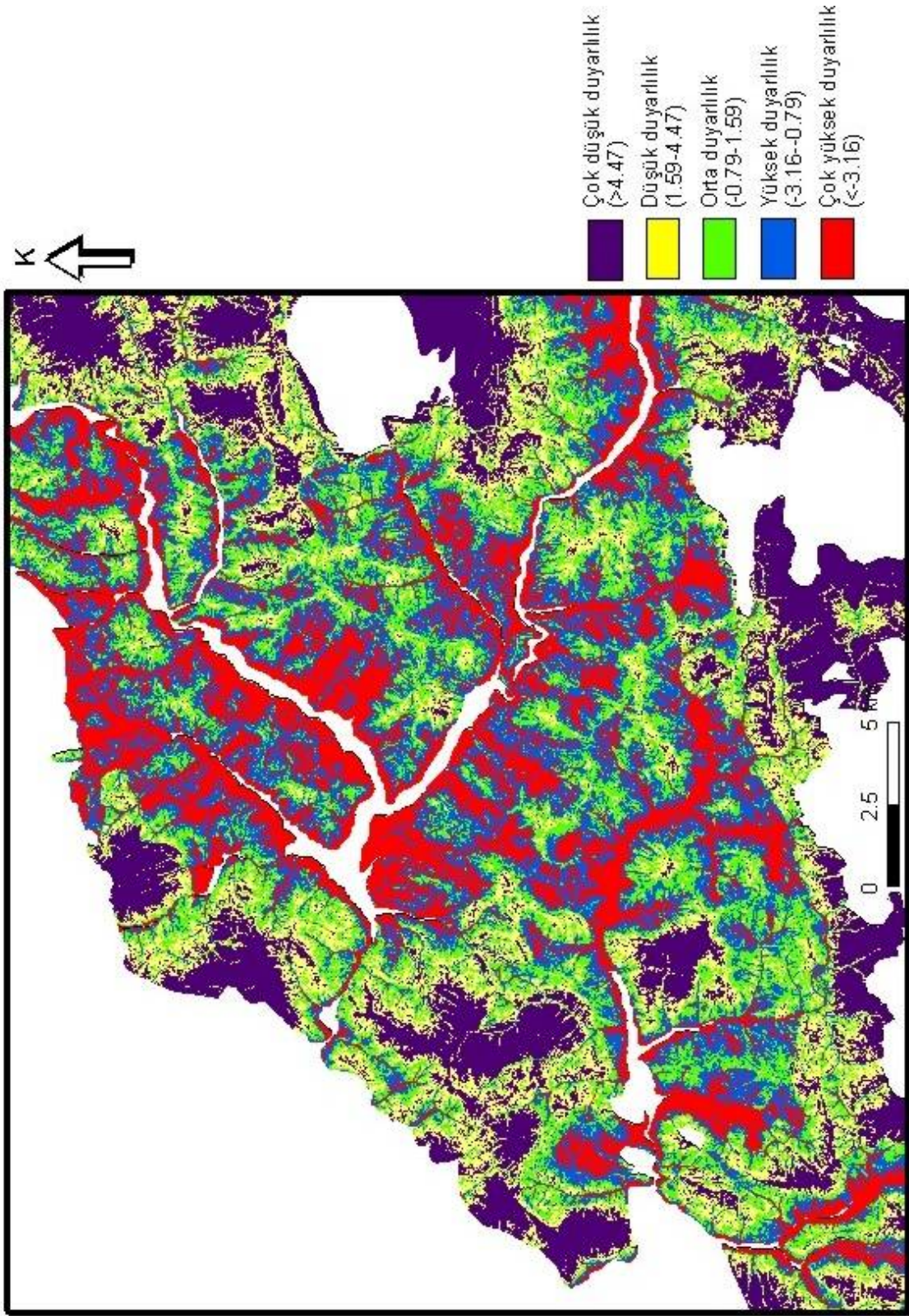
$$F_{4HD}=(0.029*T.Y)+(0.544*Y.E)+(0.678*Y.E.Y)-(0.287*Y.Ş)-(-0.137*N.I)+(0.000*F.Y) \\ +(0.013*D.Y)+(0.036*S.Y)+(0.011*Y.Y)-(0.072*NDVI)+(0.034*Z.G) \quad (Eş. 8.5)$$

$$F_{5HD}=(0.212*T.Y)+(0.057*Y.E)+(0.026*Y.E.Y)+(0.063*Y.Ş)+(0.029*N.I)-(-0.010* \\ F.Y)+(0.026*D.Y)+(0.434*S.Y)+(0.088*Y.Y)-(-0.129*NDVI)+(0.822*Z.G) \\ (Eş. 8.6)$$

$$F_{6HD}=(0.083*T.Y)-(-0.096*Y.E)+(0.065*Y.E.Y)+(0.041*Y.Ş)+(0.007*N.I)+(0.927* \\ F.Y)-(-0.015*D.Y)-(0.084*S.Y)+(0.241*Y.Y)-(0.211*NDVI)+(0.014*Z.G) \\ (Eş. 8.7)$$

Faktör analizi yöntemi kullanılarak oluşturulan ve Jenks (1967) sınıflaması temel alınarak, “çok düşük”, “düşük”, “orta”, “yüksek” ve “çok yüksek” olmak üzere 5 grupta sınıflandırılan heyelan duyarlılık haritası, Şekil 8.1’de sunulmaktadır. Oluşturulan haritaya göre inceleme alanının, yaklaşık % 20’si çok düşük, % 17’si düşük, % 19’u orta, % 24’ü yüksek ve % 20’si çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir. Faktör analizi yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının performansının değerlendirilmesi amacıyla mevcut heyelanlar, söz konusu harita ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, mevcut heyelanların yaklaşık, % 44’ü çok yüksek, % 36’sı yüksek, % 14’ü orta, % 5’i düşük ve % 1’i çok düşük heyelan duyarlılığı sınıfında yer almaktadır.

Topoğrafik yükseklik parametresi yerine göreceli yükseklik parametresi kullanılarak gerçekleştirilen faktör analizi sonuçlarına göre göreceli yükseklik parametresinin ağırlık değeri, 0.394 olup topoğrafik yükseklik parametresine göre düşüktür. Topoğrafik yükseklik parametresi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritasında, mevcut heyelanların % 80’i yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer almaktadır. Göreceli yükseklik parametresi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritasında ise mevcut heyelanların, % 75’inin yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer aldığı saptanmıştır. Bu nedenle, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında, topoğrafik yükseklik parametresi dikkate alınmıştır.



Şekil 8.1. Faktör analizi yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.

8.2. Ayırma (Diskriminant) Analizi

8.2.1. Ayırma analizine ilişkin genel bilgiler

Ayırma analizi, kategorik bağımlı değişkenler ve sayısal bağımsız değişkenler arasındaki ilişkileri tahmin etmeyi amaçlayan çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden biridir. Ayırma analizi, örnek gruplarını en iyi şekilde ayırt edebilen ve değişkenlerin doğrusal bir fonksiyonu olan yeni değişkenler belirler ve bu değişkenler, herhangi bir gruba ait olmayan örneklerin sınıflandırılmasında kullanılır (Cooley and Lohnes, 1971). Ayırma fonksiyonu, örnek üzerinde gerçekleştirilen ölçümleri tek bir ayırma puanına dönüştürür. Ayırma puanı, doğrusal ayırma fonksiyonu ile tanımlanan doğru boyunca örneğin konumunu temsil eder. Eğer birinci ve ikinci fonksiyonlar kullanılırsa, ayırma faktörleri doğrusal olarak bağımsız olduklarından, örnekler iki boyutlu diyagram üzerine işlenir. Grupları birbirinden ayırmayı sağlayan fonksiyonlar yardımıyla yeni gözlenen bir birim, hatası en düşük olacak şekilde gruplardan birine atanır (Tüysüz ve Yaylalı, 2005).

Ayırma analizi;

1. Grup üyeliğini tahmin etmek, bir verinin hangi değişken grubuna gireceğine karar vermek,
2. Ayırma fonksiyon eşitliğini kullanarak verileri gruplara ayırmak,
3. Bağımsız değişkenlerin aritmetik ortalamalarının, gruplar arasında nasıl değiştiğini tespit etmek,
4. Bağımlı değişkenin varyansının ne kadarının bağımsız değişkenler tarafından açıklanabildiğini belirlemek,
5. Grupları ayırmada etkili olan ve olmayan değişkenleri belirlemek,
6. Verilerin tahmin edildiği gibi sınıflandırılıp sınıflandırılmadığını test etmek için kullanılmaktadır.

Ayırma analizinde, yanlış sınıflandırma olasılığını ortadan kaldırmak için değişkenlerin çoklu normal dağılıma sahip olmaları, bütün gruplar için kovaryans matrislerinin eşit olması ve bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı probleminin olmaması gerekmektedir (Albayrak vd., 2005).

Ayırma analizinde amaç, çok değişkenli problemin tek değişkenli biçime dönüştürülmesi ve tüm değişkenlerin, uygun ağırlıklarla katılacağı tek bir değişkenin (fonksiyonun) elde edilmesidir. Ayırma fonksiyonu, aşağıda verilen eşitlikle bulunur.

$$y_i = a_1 x_{i1} + a_2 x_{i2} + \dots + a_p x_{ip} \quad \text{Eş. 8.8}$$

Bu eşitlikte, $x_1, x_2, \dots, x_p$; değişkenleri, $a_1, a_2, \dots, a_p$ ise bu değişkenlere ilişkin ağırlıkları temsil etmektedir. Bu fonksiyonunun belirlenmesi için gruplar arası varyansın, grup içi varyansa oranının en büyük olması gerekmektedir. İki varyansın oranı,

$$\lambda = \frac{a' B a}{a' W a} \Bigg|_{\max} \quad \text{Eş. 8.9}$$

eşitliğiyle hesaplanır. Bu eşitlikte;

B ; $p \times p$ boyutlu, her bir grup ortalama vektörünün genel ortalama vektöründen farklarından elde edilen gruplar arası varyans matrisi,

W ; $p \times p$ boyutlu, her bir gruptaki değişkenlerin kendi ortalama vektörlerinin farklarından elde edilen grup içi varyans matrisi,

λ ; özdeğeri temsil etmektedir.

Ayırıcı fonksiyonlar, elde edilen λ_i özdeğerlerine karşılık gelen özvektörlerdir. Bu amaçla, Eş. 8.9'daki eşitliğin a 'ya göre türevi alınıp gerekli düzenlemeler yapıldığında;

$$\frac{\partial \lambda}{\partial a} = \frac{2[(B a)(a' W a) - (a' B a)(W a)]}{(a' W a)(a' W a)}$$

$$\frac{2 B a}{a' W a} - \frac{2 \lambda W a}{a' W a} = 0$$

$$\frac{2(B a - \lambda W a)}{a' W a} = 0 \quad \text{Eş. 8.10}$$

elde edilir. Eş. 8.10'daki eşitliğin sıfıra eşit olması için;

$$2(Ba - \lambda Wa) = 0$$

$$Ba - \lambda Wa = 0$$

$$(B - \lambda W)a = 0$$

$$(W^{-1}B - \lambda I) = 0$$

Eş. 8.11

olmalıdır. Sonuç olarak, λ_i özdeğerleri $|W^{-1}B - \lambda I| = 0$ determinantının çözümünden bulunur ve $r = \min(k-1, p)$ olmak üzere elde edilen $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_r$ özdeğerlerine karşılık gelen r adet özvektör, ayırıcı fonksiyonlardır. Örneğin ; $a^{(1)}$ birinci özdeğere karşılık gelen özvektör ise birinci ayırıcı fonksiyon,

$$y^{(1)} = a_1^{(1)}x_1 + a_2^{(1)}x_2 + \dots + a_p^{(1)}x_p$$

Eş. 8.12

biçiminde ifade edilir. Ayırıcı fonksiyondaki değişkenlerin ayırmaya etkilerinin ya da fonksiyona katkı miktarının belirlenmesi için bulunan katsayıların,

$$a_i^{*(j)} = (a_i^{(j)} W_{ii})^{1/2} \quad i=1, \dots, p$$

$$j=1, \dots, r \quad \text{için}$$

Eş. 8.13

eşitliği ile standartlaştırılması gerekmektedir (Tatlıdil, 2002).

8.2.2. Ayırma (diskriminant) analizi yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması

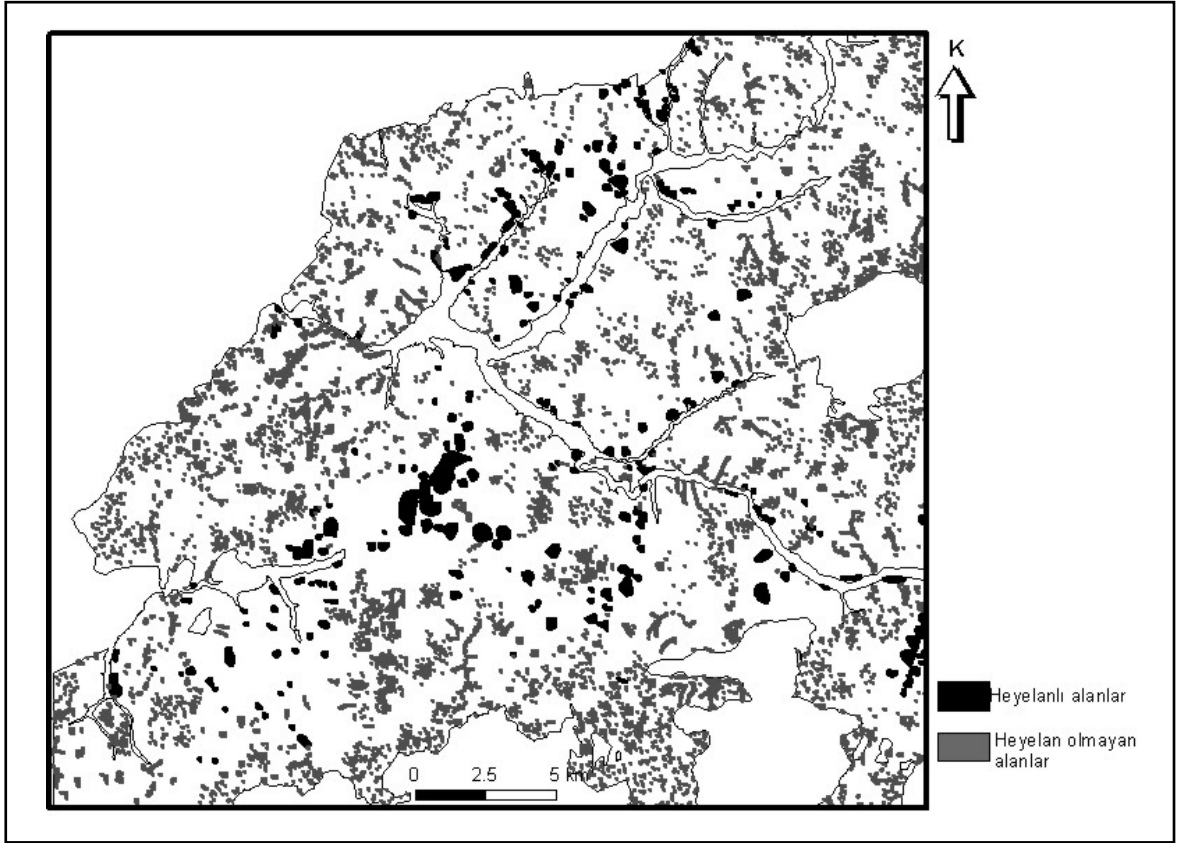
Ayırma analizi yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması amacıyla ilk aşamada, inceleme alanında heyelanlı ve heyelan olmayan alanları temsil eden ve bu alanlardaki heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen 12 adet parametreye ait değerleri içeren veri setleri oluşturulmuştur. Bu veri setlerinde, heyelanlı alanlar, inceleme alanında tespit edilen ve heyelan envanter veri tabanında “1” değeri atanmış olan heyelanlı pikselleri temsil etmektedir. Heyelan envanter veri tabanında “0” değeri atanmış olan ve heyelan olmayan alanları temsil eden piksellerin seçimi ise iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi, inceleme alanındaki heyelanların oluşmasına neden olan parametreler açısından heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanların dikkate alınması

şeklindedir. Söz konusu alanların belirlenebilmesi amacıyla öncelikle, her bir parametre haritasından, heyelanların olduğu alanlardaki parametre değerlerine sahip olan kesimler çıkartılmıştır. Heyelanların gelişmediği ya da heyelan yoğunluğunun çok az olduğu parametre değerlerine sahip haritalar karşılaştırılmış ve bu haritadan gelişigüzel pikseller seçilmiştir (Şekil 8.2). Heyelan olmayan alanları temsil eden piksellerin seçilmesinde izlenen ikinci yol ise heyelan envanter veri tabanında "0" değeri atanan alanlardan gelişigüzel piksellerin seçilmesi şeklindedir (Şekil 8.3).

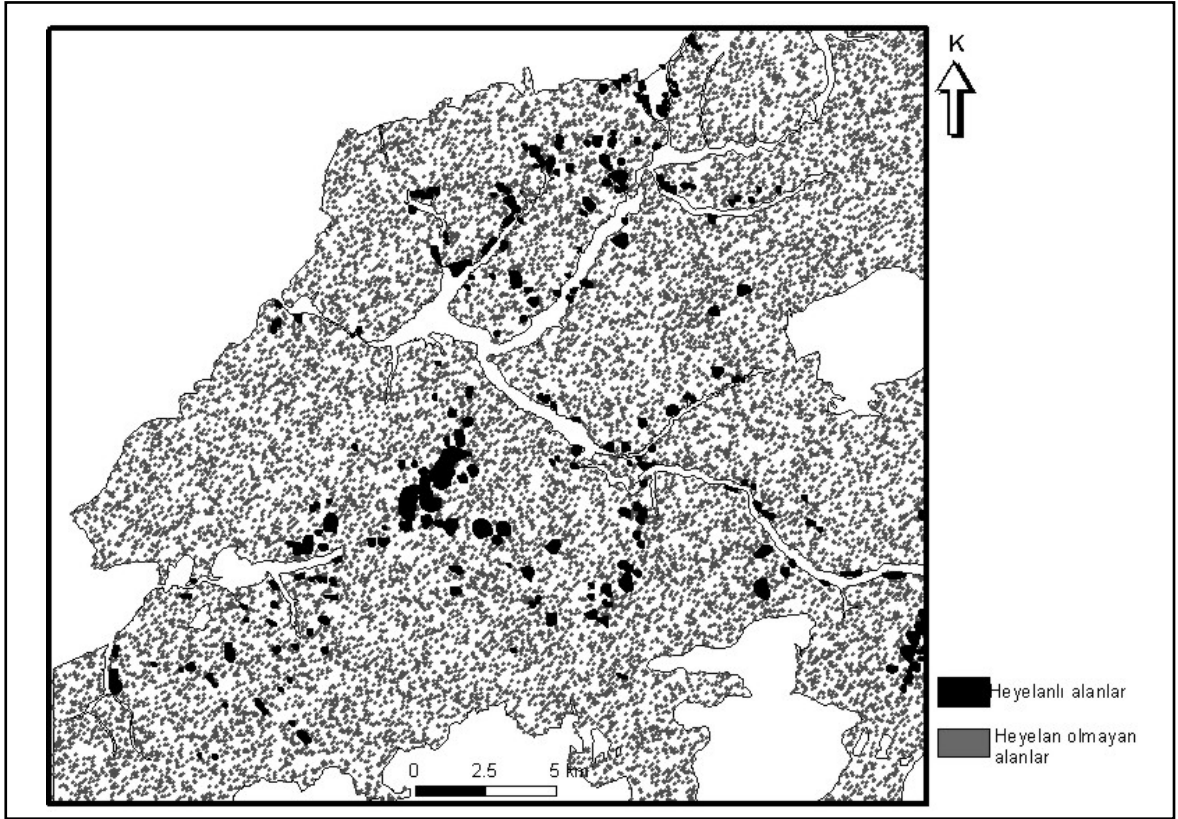
Veri setleri oluşturulduktan sonraki aşamada ise söz konusu veri setleri için ayırma analizinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Ayırma analizinin uygulanabilmesi için veri setinin;

1. Çok değişkenli normal dağılıma sahip olması,
2. Değişkenlerin kovaryans matrislerinin eşit olması,
3. Bağımsız değişkenler arasında çoklu doğrusal bağlantı probleminin bulunmaması,
4. Grupların birbirinden doğru bir şekilde ayrılmasını önleyecek gereğinden fazla değişken içermemesi gerekmektedir (Özdamar, 2004b).

Heyelan oluşumunda etkin olan parametreler açısından heyelan oluşma koşullarını sağlayan ve sağlamayan alanların dikkate alındığı sınır koşullarına bağlı olarak 9 adet veri seti oluşturulmuştur. Heyelanlı alanları temsil eden 17824 adet ve heyelan olmayan alanları temsil eden 17824 adet pikselden oluşan ve 12 adet bağımsız değişkeni içeren bu veri setlerinin, çok değişkenli normal dağılıma sahip olup olmadığının belirlenmesi amacıyla her bir birim için Mahalanobis uzaklıkları hesaplanmıştır. Küçükten büyüğe doğru sıralanan her bir Mahalanobis uzaklık değeri için ters kümülatif khi-kare değerleri hesaplandıktan sonra Mahalanobis uzaklık değerleri ile khi-kare değerleri arasındaki korelasyon katsayısı belirlenmiştir. Bu değerler, normal olasılık grafiği için kritik korelasyon katsayıları ile karşılaştırılmıştır. Her bir veri seti için hesaplanan korelasyon katsayısı (Çizelge 8.8), % 1 anlamlılık düzeyinde kritik korelasyon katsayısından (0.889) büyük olup çok değişkenli normal dağılım koşulunu sağlamaktadır.



Şekil 8.2. Sınır koşulları dikkate alınarak seçilen heyelan olmayan alanlar ve heyelanlı alanlar.



Şekil 8.3. Gelişigüzel seçilen heyelan olmayan alanlar ve heyelanlı alanlar.

Çizelge 8.8. Ters kümülatif khi-kare değerleri ve Mahalanobis uzaklıkları kullanılarak hesaplanan korelasyon katsayıları.

	KORELASYON KATSAYISI
1. VERİ SETİ	0.979
2. VERİ SETİ	0.978
3. VERİ SETİ	0.946
4. VERİ SETİ	0.946
5. VERİ SETİ	0.954
6. VERİ SETİ	0.964
7. VERİ SETİ	0.957
8. VERİ SETİ	0.962
9. VERİ SETİ	0.967

Ayırma analizinin uygulanabilmesi için gerekli olan “grupların varyans-kovaryans matrislerinin eşit olması” hipotezinin sağlanıp sağlanmadığının belirlenmesi amacıyla her bir veri setine, Box-M testi uygulanmıştır. Box-M testi sonuçlarına göre, 9 adet veri setinin eşit kovaryans matrisine sahip olmadığı ve söz konusu varsayımın sağlanmadığı belirlenmiştir. Bu nedenle, doğrusal ayırma analizi yerine grupların kovaryans matrislerinin benzer olduğu varsayımını gerektirmeyen karesel ayırma analizi kullanılmıştır. Verilerin çok değişkenli normal dağılım koşulunu sağladığı ancak, grupların kovaryans matrislerinin farklı olmaları durumunda kullanılan karesel ayırma analizi, ayırma fonksiyonu katsayılarının belirlenmesinde, ortak kovaryans matrisi yerine grupların kovaryans matrislerinin farklarını kullanmaktadır (Tatlídil, 2002).

Ayırma analizinin diğer bir varsayımı, değişkenler arasında çoklu bağlantı probleminin bulunmamasıdır. Bu koşulun sağlanabilmesi için iki değişken arasında 0.7’den büyük korelasyon olmaması gerekmektedir (Albayrak vd., 2005). Söz konusu varsayımın araştırılması amacıyla, 9 adet veri setine ait korelasyon matrisleri oluşturularak değişkenler arasındaki korelasyonlar incelenmiştir. İki bağımsız değişken arasında 0.7’den büyük korelasyon olmadığı saptanmış ve bu nedenle değişkenlerin her biri analize dahil edilmiştir.

Ayırma analizinin uygulanabilmesi için bir veri setinin gereğinden fazla değişken içermemesi gerekmektedir. Ayırma analizinin, grup merkezlerini doğru bir şekilde oluşturabilmesi ve grupların birbirinden etkin bir şekilde ayrılmasını sağlayan

ayırma fonksiyonlarını belirleyebilmesi için gerekli olan değişkenleri içermelidir. Veri setinde, etkisi olmayan ya da çok düşük bir etkide bulunan değişkenlerin ayıklanması amacıyla aşamalı (stepwise) ayırma analizi kullanılmaktadır (Özdamar, 2004b). Bu nedenle, 9 adet veri setine, aşamalı ayırma analizi uygulanmıştır.

Ayırma analizi sonuçlarına göre, ayırma fonksiyonunun önemini belirleyen kanonik korelasyon değerleri ve özdeğerler, Çizelge 8.9'da sunulmaktadır. Kanonik korelasyon, ayırma puanları ile gruplar arasındaki ilişkiyi ve açıklanan toplam varyansı temsil etmektedir. Özdeğerin büyük olması, bağımlı değişkendeki varyansın büyük bir kısmının ayırma fonksiyonu tarafından açıklandığını göstermektedir. Bağımlı değişkendeki varyansın ne kadarının açıklanmasının, ayırma analizi için yeterli olduğu konusunda net bir değer olmamakla birlikte özdeğerin, 0.40'tan büyük olması yeterli kabul edilmektedir (Albayrak vd., 2005).

Bağımlı değişkenin tahmininde, bağımsız değişkenlerin göreceli olarak önemini temsil eden ve her bir değişkenin ayırma fonksiyonu ile olan korelasyonunu gösteren yapı matrisleri, Çizelge 8.10'da verilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, heyelan oluşumunda etkin olan en önemli parametreler; topoğrafik yükseklik (T.Y), bitki türü (B.T), bitki yoğunluğu indeksi (NDVI), zemin grubu (Z.G), yollara yakınlık (Yol.Y) ve drenaj ağına yakınlıktır (D.Y). Yamaç eğimi (Y.E) ve faylara yakınlık (F.Y) parametreleri, heyelanların meydana gelmesinde, topoğrafik nemlilik indeksi (N.I), yamaç eğim yönü (Y.E.Y) ve yamaç şekli (Y.Ş) parametrelerine göre daha etkin bir rol oynamaktadır.

Çizelge 8.9. Özdeğer istatistiği ve kanonik korelasyon değerleri.

	ÖZDEĞER	KANONİK KORELASYON
1. VERİ SETİ	0.530	0.589
2. VERİ SETİ	0.411	0.540
3. VERİ SETİ	0.820	0.671
4. VERİ SETİ	0.716	0.646
5. VERİ SETİ	0.741	0.652
6. VERİ SETİ	0.674	0.635
7. VERİ SETİ	0.995	0.706
8. VERİ SETİ	1.279	0.749
9. VERİ SETİ	1.433	0.767

Çizelge 8.10. Ayırma analizi ile elde edilen yapı matrisi.

PARAMETRELER	VERİ SETLERİ								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Topoğrafik yükseklik	0.684	0.719	0.521	0.551	0.567	0.488	0.557	0.546	0.540
Yamaç eğimi	0.172	0.087	0.226	0.202	0.169	0.122	0.153	0.147	0.130
Yamaç eğim yönü	0.031*	0.029*	0.051	0.064	0.035	0.055	0.035	0.040	0.040
Yamaç şekli	0.055	0.039*	-0.018	-0.003*	0.003*	0.022*	0.002*	0.007*	0.008*
Nemlilik indeksi	-0.116*	-0.121	-0.022	-0.025	-0.037	-0.078	-0.031	-0.038	-0.037
Faylara yakınlık	0.198	0.221	0.221	0.227	0.223	0.278	0.220	0.212	0.220
Drenaja yakınlık	0.412	0.579	0.370	0.399	0.404	0.330*	0.363	0.327	0.353
Sırtlara yakınlık	-0.196	-0.226	-0.132*	-0.158	-0.129	-0.133	-0.109	-0.090	-0.117
Yollara yakınlık	0.479	0.550	0.440	0.439	0.415	0.354	0.390	0.394	0.405
NDVI	0.572	0.568	0.628	0.631	0.627	0.410	0.579	0.529	0.513
Bitki türü	0.745	0.647	0.625	0.628	0.642	0.395	0.606	0.597	0.581
Toprak derinliği	0.548	0.672	0.464	0.499	0.500	0.626	0.532	0.548	0.543

* Analizde kullanılmayan değişken

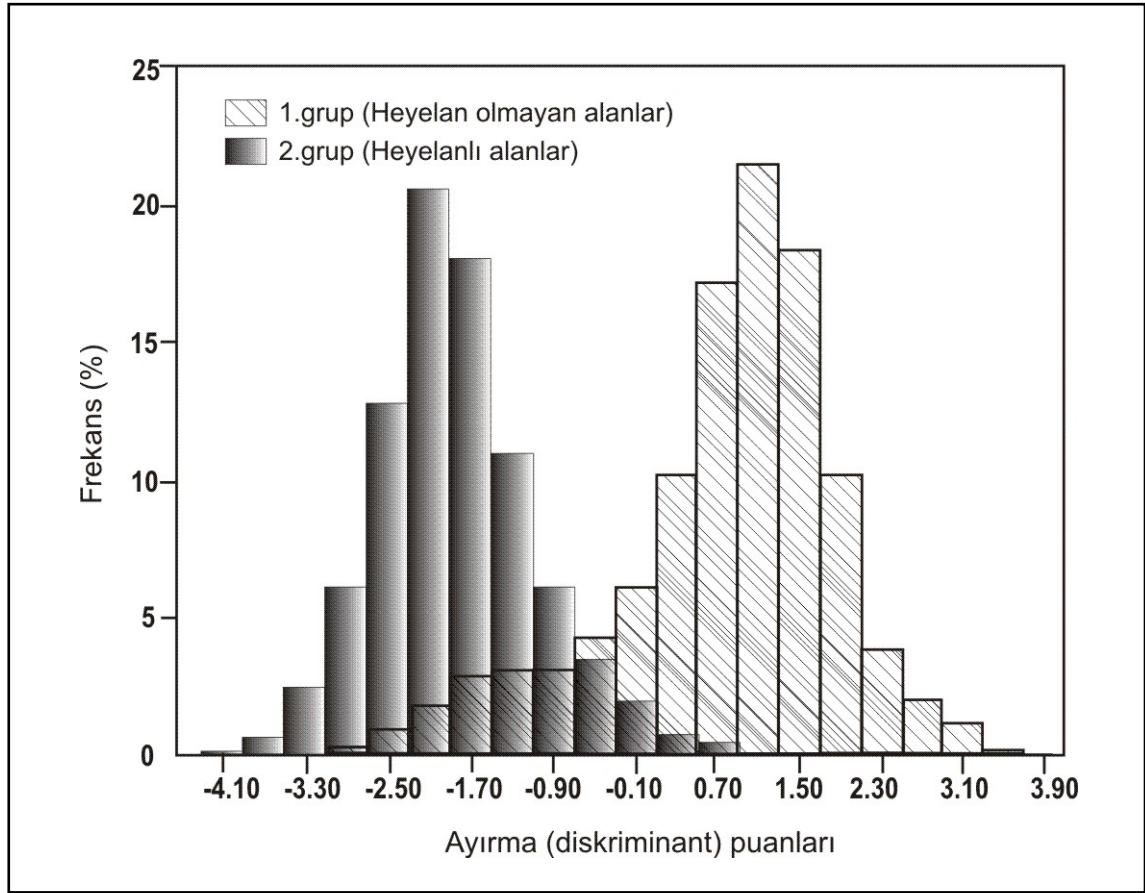
Ayırma analizi uygulanan 9 adet veri seti için doğru sınıflandırma yüzdeleri incelendiğinde, 9. veri setinin en yüksek doğru sınıflandırma yüzdesine (% 90.7) sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 8.11). Dokuzuncu veri setinde, heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar; topoğrafik yükseklik haritasında, 700 m'den yüksek; yamaç eğimi haritasında, 40⁰'den büyük; yamaç şekli haritasında, -3'den küçük veya 3'den büyük; topoğrafik nemlilik indeksi haritasında, 14'den büyük; sırt eksenlerine yakınlık haritasında, 600 m'den büyük; drenaj ağına yakınlık haritasında, 1000 m'den büyük; faylara yakınlık haritasında, 5000 m'den büyük; yollara yakınlık haritasında, 1500 m'den büyük; bitki yoğunluğu indeksi haritasında -0.2'den küçük veya 0.5'den büyük; toprak ve kaya zeminlerin yayılımı ve toprak derinliği haritasında, kaya zeminler; bitki türü haritasında, sarıçam, göknar, kızıl ve çınar ağaçlarıyla kaplı alanların seçilerek karşılaştırılması ve bu haritadan, gelişigüzel piksellerin seçilmesi ile elde edilmiştir. İnceleme alanındaki heyelanların, her yamaç eğim yönü değerinde meydana gelmesi nedeniyle, bu parametre için heyelanların meydana gelmediği alanlar belirlenememiştir. Ancak, heyelan yoğunluğunun azaldığı; 90⁰'den küçük, 150⁰-210⁰ arasında ve 300⁰'den büyük yamaç eğim yönü değerine sahip alanlar seçilmiştir.

Ayırma analizi sonuçlarına göre, 9. veri setinin kanonik korelasyon katsayısı, 0.767 olup bağımlı değişkendeki varyansın, yaklaşık % 60'ını açıklamaktadır. Heyelanlı ve heyelan olmayan alanlar için hesaplanan ayırma (diskriminant) puanlarının dağılımı incelendiğinde, iki grup arasındaki ayrımın oldukça belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 8.4).

Heyelan duyarlılık sınıflarının belirlenmesinde kullanılacak olan ve bağımsız değişkenlerin birleşimini temsil eden ayırma fonksiyonunun performansının belirlenmesi amacıyla veri seti iki gruba ayrılmıştır. Bu gruplardan birincisi, ayırma fonksiyonunun elde edilmesinde (analiz veri seti), diğeri ise elde edilen fonksiyonun performansının değerlendirilmesinde (deneme veri seti) kullanılmıştır. Veri setinin % 65' i kullanılarak elde edilen ayırma fonksiyonu, deneme veri setine uygulanmış ve doğru sınıflandırma oranının yüksek (% 93.2) olduğu saptanmıştır (Çizelge 8.12).

Çizelge 8.11. Ayırma analizi doğru sınıflandırma sonuçları.

		KESTİRİLEN GRUP ÜYELİĞİ	
		1 (%)	2 (%)
1. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	75.05	24.95
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	13.57	86.43
	Doğru sınıflandırma oranı: % 80.7		
		1 (%)	2 (%)
2. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	70.82	29.18
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	9.97	90.03
	Doğru sınıflandırma oranı: % 80.4		
		1 (%)	2 (%)
3. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	80.45	19.55
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	13.36	86.64
	Doğru sınıflandırma oranı: % 83.6		
		1 (%)	2 (%)
4. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	80.31	19.69
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	13.04	86.96
	Doğru sınıflandırma oranı: % 83.6		
		1 (%)	2 (%)
5. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	82.52	17.48
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	11.69	88.31
	Doğru sınıflandırma oranı: % 85.4		
		1 (%)	2 (%)
6. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	85.80	14.20
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	8.17	91.83
	Doğru sınıflandırma oranı: % 88.8		
		1 (%)	2 (%)
7. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	86.21	13.79
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	8.98	91.02
	Doğru sınıflandırma oranı: % 88.6		
		1 (%)	2 (%)
8. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	88.36	11.64
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	7.97	92.03
	Doğru sınıflandırma oranı: % 90.2		
		1 (%)	2 (%)
9. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	88.66	11.34
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	7.29	92.71
	Doğru sınıflandırma oranı: % 90.7		



Şekil 8.4. Heyelanlı ve heyelan olmayan alanlar için ayırma puanları frekans dağılımı.

Çizelge 8.12. Ayırma fonksiyonunun performansının denenmesi amacıyla iki gruba ayrılan veri setine ait doğru sınıflandırma sonuçları.

		KESTİRİLEN GRUP ÜYELİĞİ	
		1 (%)	2 (%)
ANALİZ VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	89.05	10.95
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	12.91	87.09
Doğru sınıflandırma oranı: % 88.1			
		1 (%)	2 (%)
TEST VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	93.88	6.12
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	7.50	92.50
Doğru sınıflandırma oranı: % 93.2			

İnceleme alanının tamamını temsil eden 951340 adet piksel için kanonik diskriminant fonksiyonu katsayıları kullanılarak Eş. 8.14’de verilen fonksiyon ile ayırma puanları (Z_{HD}) hesaplanmıştır.

$$Z_{HD} = -0.084 + (0.475 \cdot T.Y) + (0.171 \cdot Y.E) + (0.108 \cdot Y.E.Y) + (0.172 \cdot N.I) + (0.270 \cdot F.Y) + (0.068 \cdot D.Y) - (0.090 \cdot S.Y) + (0.188 \cdot Y.Y) + (0.296 \cdot NDVI) + (0.401 \cdot B.T) + (0.567 \cdot Z.G) \quad (Eş. 8.14)$$

İnceleme alanının heyelan duyarlılık sınıflarının belirlenmesi amacıyla heyelan duyarlılığını temsil eden ayırma puanları dikkate alınarak her bir pikselin, heyelanlı ve heyelan olmayan alanları temsil eden gruplara ait olma olasılıkları hesaplanmıştır (Eş. 8.15; Eş. 8.16; Eş. 8.17).

$$P_1 = \frac{h_1}{h_1 + h_2} \quad P_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2} \quad (Eş. 8.15)$$

$$h_1 = \frac{1}{\sqrt{2\pi \text{var}(y)}} e^{-(y-\bar{y}_1)/2 \text{var}(y)} \quad (Eş. 8.16)$$

$$h_2 = \frac{1}{\sqrt{2\pi \text{var}(y)}} e^{-(y-\bar{y}_2)/2 \text{var}(y)} \quad (Eş. 8.17)$$

Bu eşitliklerde;

P_1 : 1. gruba ait olma olasılığı,

P_2 : 2. gruba ait olma olasılığı,

h_1 : 1. gruba ait normal dağılım eğrisine uzaklık,

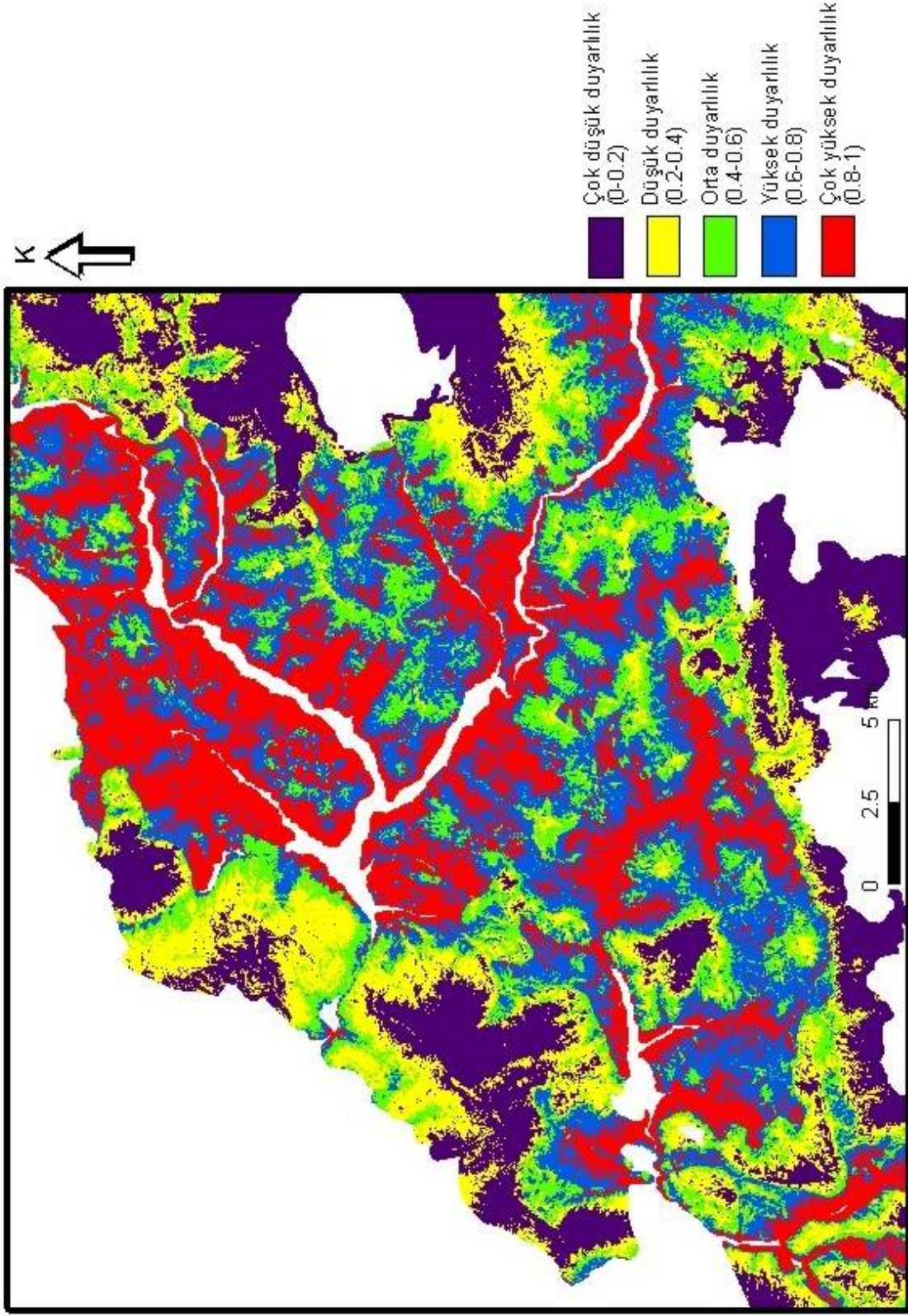
h_2 : 2. gruba ait normal dağılım eğrisine uzaklık,

$\text{var}(y)$: Ayırma fonksiyonunun varyansı,

$\bar{y}_1$: 1. grubun ortalaması,

$\bar{y}_2$: 2. grubun ortalamasını temsil etmektedir (Tatlídil, 2002).

Sıfır ve bir değerleri arasında değişen, ikinci gruba (heyelanlı alanlar) ait olma olasılıkları kullanılarak inceleme alanı, “çok düşük” (0-0.2), “düşük” (0.2-0.4), “orta” (0.4-0.6), “yüksek” (0.6-0.8) ve “çok yüksek” (0.8-1) olmak üzere beş duyarlılık grubunda sınıflandırılmıştır (Şekil 8.5). Ayırma analizi yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritasına göre inceleme alanının, yaklaşık % 19’u çok düşük, % 17’si düşük, % 15’i orta, % 27’si yüksek ve % 22’si çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer almaktadır. Mevcut heyelanlar ile oluşturulan harita ile karşılaştırıldığında heyelanların, yaklaşık % 3’ünün düşük, % 11’inin orta, % 44’ünün yüksek ve % 42’sinin çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer aldığı saptanmıştır.



Şekil 8.5. Ayırma analizi yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.

Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak yapılan heyelan duyarlılık değerlendirme çalışmalarında, çalışılan alandaki heyelanlı ve heyelan olmayan alanları temsil eden kesimlerin seçimi, oluşturulan haritaların performansını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, hem sınır koşulları dikkate alınarak hem de inceleme alanında heyelan tespit edilmemiş alanlardan gelişigüzel seçilen kesimlere göre oluşturulan veri setlerinin kullanılmasının, üretilen haritalar üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, heyelan tespit edilmemiş alanlardan gelişigüzel seçilen 17824 adet piksel ve heyelanlı alanları temsil eden 17824 adet piksel kullanılarak oluşturulan 5 adet veri setine, ayırma analizi uygulanmıştır. Aşamalı ayırma analizi sonucunda belirlenen doğru sınıflandırma yüzdeleri, Çizelge 8.13’de verilmektedir. Buna göre, en yüksek doğru sınıflandırma oranı, 70.9 olup sınır koşulları dikkate alınarak oluşturulan veri setlerine ait doğru sınıflandırma oranlarından küçüktür. Beş adet veri seti için özdeğerler, yaklaşık 0.26 olup 0.40 değerinden küçüktür ve ayırma fonksiyonu tarafından açıklanan bağımlı değişkendeki varyansı, yeterli ölçüde açıklayamamaktadır. Ancak, gelişigüzel seçilen değerlere sahip veri setlerinin ayırma fonksiyonunun kullanılması durumunda oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının performansının belirlenmesi amacıyla en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip olan 5. veri setine ait kanonik diskriminant fonksiyonu katsayıları kullanılarak heyelan duyarlılığını temsil eden ayırma puanları hesaplanmıştır. Bu puanlar temel alınarak heyelanlı ve heyelan olmayan alanları temsil eden gruplara ait olma olasılıkları hesaplanmıştır. Sıfır ve bir değerleri arasında değişen, ikinci gruba (heyelanlı alanlar) ait olma olasılıkları kullanılarak inceleme alanı “çok düşük” ve “çok yüksek” arasında beş duyarlılık grubunda sınıflandırılmıştır. Oluşturulan haritaya göre, inceleme alanının yaklaşık % 30’u çok düşük, % 23’ü düşük, % 28’i orta, % 17’si yüksek ve % 2’si çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer almaktadır. Oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının performansının değerlendirilmesi amacıyla mevcut heyelanlar, söz konusu harita ile karşılaştırılmıştır. Heyelanların yaklaşık % 1’inin çok düşük, % 12 ’sinin düşük, % 35’inin orta, % 46’sının yüksek ve % 6’sının çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer aldığı saptanmıştır.

Çizelge 8.13. Gelişigüzel seçilen değerler kullanılarak oluşturulan veri setleri için ayırma analizi doğru sınıflandırma sonuçları.

		KESTİRİLEN GRUP ÜYELİĞİ	
		1 (%)	2 (%)
1. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan tespit edilmemiş alanlar)	52.41	47.59
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	11.87	88.13
Doğru sınıflandırma oranı: 70.3			

Çizelge 8.13. (Devam ediyor)

		1 (%)	2 (%)
2. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan tespit edilmemiş alanlar)	52.77	47.23
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	11.91	88.09
Doğru sınıflandırma oranı: 70.4			
		1 (%)	2 (%)
3. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan tespit edilmemiş alanlar)	52.92	47.08
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	11.87	88.13
Doğru sınıflandırma oranı: 70.5			
		1 (%)	2 (%)
4. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan tespit edilmemiş alanlar)	53.40	46.60
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	11.89	88.11
Doğru sınıflandırma oranı: 70.8			
		1 (%)	2 (%)
5. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan tespit edilmemiş alanlar)	53.78	46.22
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	11.99	88.01
Doğru sınıflandırma oranı: 70.9			

8.3. Lojistik Regresyon Analizi

8.3.1. Lojistik regresyon analizine ilişkin genel bilgiler

Lojistik regresyon analizi, bağımlı değişkenin kategorik olarak; ikili, üçlü ve çoklu kategorilerde gözlemlendiği durumlarda, bağımsız değişkenlerle neden sonuç ilişkisini belirlemede yararlanılan bir yöntemdir. Açıklayıcı değişkenlere göre bağımlı değişkenin beklenen değerlerinin, olasılık olarak elde edildiği sınıflama ve atama işlemi yapmaya yardımcı olan bir regresyon yöntemidir. Lojistik regresyon analizi yönteminde, bağımlı değişken üzerinde açıklayıcı değişkenlerin etkileri, olasılık

olarak hesaplanarak risk faktörlerinin olasılık olarak belirlenmesi sağlanmaktadır (Özdamar, 2004a).

Verilerin sınıflandırılması ve belirli olasılıklara göre sınıflara atanmasını sağlayan bir yöntem olan ayırma analizi, çok değişkenli normal dağılım varsayımını kabul etmektedir. Lojistik regresyon analizi ise herhangi bir varsayım ileri sürmeksizin bağımlı değişkenin tahmini değerlerini olasılık olarak hesaplayarak, olasılık kurallarına uygun sınıflama yapma imkanı sağlayan istatistiksel bir yöntemdir (Özdamar, 2004a).

Genel doğrusal regresyon modelinde;

$$E(y_i / x_{i1}, \dots, x_{ip}) = \sum_{k=0}^p \beta_k x_{ik}; i = 1, \dots, n \text{ için} \quad (\text{Eş. 8.18})$$

açıklayıcı değişkenler üzerinde sınırlama olmamakla birlikte, y bağımlı değişkeninin sürekli olması koşulu vardır. Herhangi bir i'inci gözlem için,

$$y_i = \sum_{k=0}^p \beta_k x_{ik} + u_i \quad (\text{Eş. 8.19})$$

biçiminde ifade edilen modelde açıklayıcı değişkenler üzerinde bir sınırlama olmaması nedeniyle y_i sonuç değeri, $-\infty$ ile $+\infty$ arasında tüm değerleri alabilmektedir. Bağımlı değişkenin “0” ve “1” gibi değerler aldığı durumda, bu kural bozulmakta ve $P(y_i = 1)$, i'inci gözlemin 1 değerini alma olasılığı olmak üzere, beklenen değer;

$$E(y_i) = 1 \times P(y_i = 1) + 0 \times P(y_i = 0) = P(y_i = 1) \quad (\text{Eş. 8.20})$$

olmaktadır. Bu sonuç, regresyon denklemi olarak yazıldığında;

$$E(y_i) = P(y_i = 1) = y_i = \sum_{k=0}^p \beta_k x_{ik} \quad (\text{Eş. 8.21})$$

doğrusal olasılık modeli elde edilir. Sonuç değişkenin ikili olduğu Eş. 8.19'daki denklemlerle ifade edilen modelin hata terimi, $y_i = 0$ ve $y_i = 1$ durumları için sırasıyla;

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^p \beta_k x_{ik} + u_i &= 0 \Rightarrow u_i = - \sum_{k=0}^p \beta_k x_{ik} \\ \sum_{k=0}^p \beta_k x_{ik} + u_i &= 1 \Rightarrow u_i = 1 - \sum_{k=0}^p \beta_k x_{ik} \end{aligned} \quad (\text{Eş. 8.22})$$

değerlerini almaktadır. Eşitlik 8.21'de verilen doğrusal olasılık modeline göre eşitliğin sol tarafı, "0" ve "1" arasında sınırlı olasılık değerleri almakta ve bu değerler, sonsuz değerler alabilen açıklayıcı değişkenlerle ilişkilendirilmektedir. Açıklayıcı değişkenlerin sınırsız değerler alması nedeniyle söz konusu eşitlik, her zaman sağlanamamaktadır. Bu nedenle, sonuç değeri olarak ifade edilen olasılık değeri, çeşitli dönüşümlerle $-\infty$ ile $+\infty$ arasında tanımlı hale getirilmektedir. Bu amaç doğrultusunda geliştirilen dönüşümlerden en yaygın olarak kullanılanları, lojit (logit) ve probit (probability unit) dönüşümlerdir. Birbirine yakın sonuçlar veren bu dönüşümlerden lojit dönüşümünde ilk olarak doğrusal olasılık modelinde, olasılık değerleri üzerinde $P/(1-P)$ dönüşümü yapılarak sonuç değişkenin sınırları, "0", $+\infty$ yapılmakta, daha sonra ise bu oran değerinin doğal logaritması alınarak sonuç değişkenin sınırları, $-\infty$ ile $+\infty$ yapılmaktadır. Bu dönüşümlerden sonra elde edilen yeni fonksiyon,

$$E(y_i) = L_i = \log(P_i / (1 - P_i)) = \sum_{k=0}^p \beta_k x_{ik} \quad (\text{Eş. 8.23})$$

olup lojistik model olarak bilinen bu modelde P_i olasılık değeri,

$$P_i = \exp\left(\sum_{k=0}^p \beta_k x_{ik}\right) / (1 + \exp\left(\sum_{k=0}^p \beta_k x_{ik}\right)) \quad (\text{Eş. 8.24})$$

biçiminde tanımlanmakta ve lojistik fonksiyon adını almaktadır (Tatlıdil, 2002).

8.3.2. Lojistik regresyon analizi yöntemi kullanılarak inceleme alanının heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması

Ayırma analizinde, bağımlı değişkeni iki veya daha çok gruptan oluşan bir ayırma modeli, grupları birbirinden en iyi ayıracak şekilde kurulmaktadır. Ancak, doğrusal ayırma analizinin grupları en iyi şekilde ayırabilmesi için bağımsız değişkenlerin kovaryanslarının her grup düzeyinde eşit olması gerekmektedir. Bu nedenle, ayırma analizinde bağımsız değişkenler arasında nominal veya ordinal ölçekli değişken/değişkenlerin kullanılması durumunda bu varsayım sağlanamamaktadır. Lojistik regresyon modelinde ise bağımsız değişkenlerin normal dağılıma uyması ve bağımsız değişkenlerin kovaryanslarının her grup düzeyinde eşit olması varsayımı gerekmemektedir. Kategorik değişken kullanılmasına yönelik olarak sınırlama içermemesi ve kategorik değişkenlerin nasıl kullanılacağına tanıtılabilmesi, yöntemin en önemli üstünlüklerinden biridir. Kategorik değişkenlerin tanıtılmaması durumunda ise kategorik değişkenler, ayırma analizinde olduğu gibi metrik ölçekli değişkenler olarak kabul edilmektedir (Özdamar, 2004a; Albayrak vd., 2005).

Lojistik regresyon analizi yöntemi kullanılarak inceleme alanının heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi amacıyla, ayırma analizinde kullanılan ve inceleme alanında heyelanlı ve heyelan olmayan alanları temsil eden ve bu alanlardaki heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen 12 adet parametreye ait değerleri içeren veri setleri kullanılmıştır. Bitki türü ve zemin grubu kategorik değişkenleri için karşılaştırmada kullanılacak yöntem olarak karşılaştırma sınıf üyeliğinin var olup olmadığını gösteren, karşılaştırma matrisinde referans sınıfını sıfır alan indikatör yöntemi kullanılmıştır. Heyelan olmayan alanları temsil eden piksellerin, inceleme alanındaki heyelanların oluşmasına neden olan parametreler açısından heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlardan seçildiği 9 adet veri setine, lojistik regresyon analizi uygulanmıştır. Lojistik regresyon analizi doğru sınıflandırma sonuçları, Çizelge 8.14'de sunulmaktadır. Buna göre, 6. veri seti, en yüksek doğru sınıflandırma yüzdesine (% 92) sahip olup bunu 9. veri seti (% 91.6) takip etmektedir. Ancak, 9. veri setinde, 1. ve 2. gruba ait doğru sınıflandırma yüzdelерinin (94.04-89.09) birbirine daha yakın olması nedeniyle 9. veri seti kullanılmıştır.

Çizelge 8.14. Lojistik regresyon analizi doğru sınıflandırma sonuçları.

		KESTİRİLEN GRUP ÜYELİĞİ	
		1 (%)	2 (%)
1. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	87.66	12.34
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	30.58	69.42
	Doğru sınıflandırma oranı: % 78.5		
		1 (%)	2 (%)
2. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	87.57	12.43
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	36.24	63.76
	Doğru sınıflandırma oranı: % 75.7		
		1 (%)	2 (%)
3. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	90.91	9.09
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	21.87	78.13
	Doğru sınıflandırma oranı: % 84.5		
		1 (%)	2 (%)
4. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	92.47	7.53
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	25.58	74.42
	Doğru sınıflandırma oranı: % 83.5		
		1 (%)	2 (%)
5. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	93.96	6.04
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	25.89	74.11
	Doğru sınıflandırma oranı: % 84.0		
		1 (%)	2 (%)
6. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	98.78	1.22
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	14.71	85.29
	Doğru sınıflandırma oranı: % 92.0		
		1 (%)	2 (%)
7. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	93.83	6.17
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	18.60	81.40
	Doğru sınıflandırma oranı: % 87.7		
		1 (%)	2 (%)
8. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	93.88	6.12
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	12.81	87.19
	Doğru sınıflandırma oranı: % 90.5		
		1 (%)	2 (%)
9. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	94.04	5.96
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	10.91	89.09
	Doğru sınıflandırma oranı: % 91.6		

Veri setinde, etkisi olmayan ya da çok düşük bir etkide bulunan değişkenlerin ayıklanması amacıyla aşamalı (stepwise) lojistik regresyon analizi kullanılmıştır. Aşamalı lojistik regresyon analizinin ilk aşamasında, modele sabit terim ilave edilmiş ve üçüncü iterasyonda, bağımlı değişkendeki açıklanmayan varyansın anlamlılığını gösteren -2LogL istatistiği, 0.01 değerinin altında bir azalış gösterdiğinden iterasyona son verilmiştir. Üçüncü iterasyonun sonunda sabit terim değeri, -0.860 ve -2LogL istatistiği, 36486.691'dir. Sadece sabit terimin yer aldığı ilk aşamada, heyelan olmayan alanları temsil eden 1. gruba ait örnekler doğru olarak sınıflandırılmış olup doğru sınıflandırma yüzdesi % 100'dür. Heyelanlı alanları temsil eden 2. gruptaki örneklerin doğru sınıflandırma yüzdesi ise sıfırdır. Elde edilen sonuçlara göre sabit terimin standart hatası, 0.0089; Wald istatistiği, 9270.428; Wald istatistiğinin anlamlılık düzeyi, 1 ve değişkenlerin üstünlük oranını temsil eden Exp (B) istatistiği, 0.4230'dur.

Aşamalı lojistik regresyon analizinin 1. adımında, heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen 12 adet parametreden anlamlılık düzeyi en yüksek olan zemin grubu; 2. adımında, topoğrafik yükseklik; 3. adımında, yollara yakınlık; 4. adımında, bitki türü; 5. adımında, topoğrafik nemlilik indeksi; 6. adımında, faylara yakınlık; 7. adımında, yamaç eğim yönü; 8. adımında, bitki yoğunluğu indeksi; 9. adımında yamaç eğimi ve 10. adımında sırtlara yakınlık parametresi modele eklenmiştir (Çizelge 8.15).

Her aşamanın sonunda, modele dahil edilmeyen değişkenlerin katsayılarının sıfır olduğunu gösteren varsayımın test edildiği kalıntı ki-kare değeri, 10. adımın sonunda, 1.568 ($p = \% 45.65$) olarak belirlenmiş ve söz konusu varsayım kabul edilerek değişken seçimine son verilmiştir. Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi açıklayan Cox ve Snell – R^2 ve Cox ve Snell – R^2 istatistiğinin sıfır ve bir arasında değerler almasını sağlamak amacıyla geliştirilen Nagelkerke – R^2 istatistiği, Çizelge 8.16'da verilmektedir. Nagelkerke – R^2 istatistiğine göre, zemin grubu, topoğrafik yükseklik, yollara yakınlık, bitki türü, topoğrafik nemlilik indeksi, faylara yakınlık, yamaç eğim yönü, bitki yoğunluğu indeksi, yamaç eğimi ve sırtlara yakınlık parametreleri ile heyelan oluşumu arasında % 81'lik bir ilişki mevcuttur.

Çizelge 8.15. Aşamalı lojistik regresyon analizi iterasyon tarihçesi.

	i.S	Log L	Katsayı	Z.G.1	Z.G.2	Z.G.3	T.Y	Y.Y	B.T.1	B.T.2	B.T.3	B.T.4	N.I	F.Y	Y.E.Y	NDVI	Y.E	S.Y
ADIM 1	1	-24926.887	-1.9886	3.2530	2.1495	0.2410												
	2	-23135.412	-3.0986	4.5745	3.2599	0.6761												
	3	-22725.525	-4.0748	5.5648	4.2360	1.4066												
	4	-22616.825	-4.9185	6.4086	5.0798	2.2208												
	5	-22592.885	-5.5307	7.0208	5.6919	2.8326												
	6	-22590.356	-5.8106	7.3007	5.9719	3.1125												
	7	-22590.306	-5.8575	7.3476	6.0188	3.1594												
ADIM 2	1	-19918.133	0.0299	2.5351	1.6473	-0.1144	-0.0027											
	2	-16089.374	0.2247	3.6499	2.5202	0.0093	-0.0048											
	3	-14908.104	0.2553	4.6632	3.3525	0.4497	-0.0066											
	4	-14648.501	-0.1101	5.6181	4.1903	1.1290	-0.0077											
	5	-14608.065	-0.6921	6.3297	4.8758	1.7822	-0.0079											
	6	-14603.209	-1.0509	6.6948	5.2398	2.1447	-0.0079											
	7	-14603.050	-1.1327	6.7768	5.3217	2.2266	-0.0079											
ADIM 3	1	-19553.997	0.2013	2.3723	1.5165	-0.1188	-0.0025	-0.0005										
	2	-15241.027	0.6732	3.2764	2.1951	0.0827	-0.0044	-0.0012										
	3	-13481.533	1.1645	4.0719	2.7858	0.6331	-0.0061	-0.0023										
	4	-12913.620	1.2198	5.0134	3.5601	1.4047	-0.0073	-0.0035										
	5	-12817.088	0.8191	5.8434	4.3268	2.1356	-0.0078	-0.0040										
	6	-12807.893	0.4190	6.3083	4.7832	2.5833	-0.0079	-0.0041										
	7	-12807.491	0.2931	6.4362	4.9109	2.7108	-0.0079	-0.0041										
ADIM 4	1	-18934.104	0.1424	2.0130	1.3636	-0.0422	-0.0023	-0.0004	0.4044	-0.2553	-0.7066	-0.2593						
	2	-14621.105	0.7638	2.9230	2.0738	0.1620	-0.0042	-0.0011	0.3017	-0.4958	-1.1509	-0.4120						
	3	-12824.286	1.1376	3.6950	2.6685	0.7691	-0.0059	-0.0023	0.4630	-0.4088	-1.1764	-0.3693						
	4	-12193.772	0.7240	4.5944	3.4116	1.6428	-0.0071	-0.0034	1.0079	0.0878	-0.7705	-0.0155						
	5	-12071.716	-0.1256	5.4253	4.1716	2.4448	-0.0077	-0.0039	1.5203	0.5826	-0.3327	0.3923						
	6	-12060.457	-0.6689	5.9056	4.6407	2.9187	-0.0078	-0.0040	1.6779	0.7374	-0.1907	0.5293						
	7	-12059.997	-0.8096	6.0415	4.7763	3.0546	-0.0078	-0.0040	1.6867	0.7460	-0.1826	0.5371						

Çizelge 8.15. (Devam ediyor).

ADIM 5	1	-18794.933	0.7736	2.0380	1.3640	-0.0599	-0.0023	-0.0004	0.4109	-0.2749	-0.7113	-0.2662	-0.0667				
	2	-14360.784	2.0138	2.9648	2.0697	0.1178	-0.0042	-0.0012	0.3183	-0.5353	-1.1525	-0.4332	-0.1297				
	3	-12455.062	3.0404	3.7641	2.6668	0.6859	-0.0061	-0.0023	0.4991	-0.4642	-1.1714	-0.4013	-0.1930				
	4	-11753.225	3.1517	4.7152	3.4266	1.5409	-0.0075	-0.0034	1.0803	0.0391	-0.7465	-0.0418	-0.2422				
	5	-11607.432	2.5740	5.6103	4.2207	2.3586	-0.0082	-0.0041	1.6400	0.5674	-0.2757	0.3925	-0.2691				
	6	-11593.955	2.0746	6.1272	4.7172	2.8547	-0.0084	-0.0042	1.8204	0.7421	-0.1163	0.5454	-0.2753				
	7	-11593.408	1.9256	6.2754	4.8646	3.0021	-0.0084	-0.0042	1.8315	0.7528	-0.1063	0.5549	-0.2757				
ADIM 6	1	-18344.537	0.7462	2.1808	1.4953	-0.0034	-0.0019	-0.0641	-0.0002	-0.0004	0.4414	-0.2048	-0.6756	-0.2169			
	2	-13942.240	2.0538	3.2856	2.2429	0.1726	-0.0036	-0.1318	-0.0002	-0.0011	0.3204	-0.5228	-1.1944	-0.4197			
	3	-12137.073	3.2196	4.1839	2.8208	0.6857	-0.0053	-0.2012	-0.0003	-0.0022	0.3996	-0.5772	-1.3115	-0.4746			
	4	-11476.560	3.4383	5.1255	3.5294	1.4897	-0.0067	-0.2516	-0.0003	-0.0033	0.8999	-0.1524	-0.9494	-0.1801			
	5	-11336.400	2.8847	5.9917	4.2901	2.2848	-0.0074	-0.2785	-0.0003	-0.0039	1.4615	0.3827	-0.4718	0.2631			
	6	-11323.156	2.3750	6.4962	4.7746	2.7712	-0.0076	-0.2848	-0.0003	-0.0040	1.6656	0.5832	-0.2886	0.4423			
	7	-11322.639	2.2276	6.6402	4.9177	2.9143	-0.0076	-0.2851	-0.0003	-0.0040	1.6799	0.5975	-0.2754	0.4553			
ADIM 7	1	-18300.519	0.8402	2.1673	1.4980	-0.0026	-0.0019	-0.0004	0.4408	-0.2017	-0.6626	-0.2119	-0.0620	-0.0002	-0.0006		
	2	-13862.713	2.2627	3.2618	2.2449	0.1635	-0.0036	-0.0011	0.3106	-0.5329	-1.1802	-0.4136	-0.1277	-0.0002	-0.0012		
	3	-12048.342	3.5230	4.1636	2.8312	0.6565	-0.0054	-0.0022	0.3844	-0.6020	-1.2985	-0.4584	-0.1950	-0.0003	-0.0018		
	4	-11387.082	3.7813	5.1110	3.5407	1.4472	-0.0068	-0.0032	0.8952	-0.1736	-0.9240	-0.1461	-0.2450	-0.0003	-0.0020		
	5	-11245.573	3.2478	5.9850	4.3032	2.2442	-0.0075	-0.0039	1.4644	0.3654	-0.4382	0.3045	-0.2720	-0.0003	-0.0021		
	6	-11232.301	2.7543	6.4931	4.7898	2.7325	-0.0077	-0.0040	1.6588	0.5550	-0.2649	0.4731	-0.2784	-0.0003	-0.0022		
	7	-11231.783	2.6089	6.6375	4.9331	2.8758	-0.0077	-0.0040	1.6713	0.5673	-0.2536	0.4842	-0.2787	-0.0003	-0.0022		
ADIM8	1	-18049.407	1.2673	2.0294	1.3879	0.0033	-0.0018	-0.0003	0.3754	-0.1878	-0.6719	-0.1404	-0.0607	-0.0002	-0.0008	-1.6233	
	2	-13705.199	2.7339	3.1270	2.1359	0.1865	-0.0034	-0.0010	0.2509	-0.5118	-1.1786	-0.3330	-0.1283	-0.0002	-0.0014	-1.9737	
	3	-11943.788	3.9684	4.0518	2.7418	0.6884	-0.0051	-0.0021	0.3043	-0.6086	-1.3234	-0.4108	-0.1974	-0.0003	-0.0020	-1.8594	
	4	-11299.178	4.2172	5.0040	3.4532	1.4773	-0.0065	-0.0031	0.7923	-0.2068	-0.9725	-0.1311	-0.2479	-0.0003	-0.0022	-1.7282	
	5	-11160.854	3.6736	5.8708	4.2085	2.2670	-0.0072	-0.0037	1.3649	0.3332	-0.4820	0.3197	-0.2749	-0.0003	-0.0023	-1.6879	
	6	-11147.867	3.1766	6.3716	4.6881	2.7487	-0.0074	-0.0039	1.5672	0.5297	-0.3002	0.4964	-0.2812	-0.0003	-0.0023	-1.6868	
	7	-11147.370	3.0333	6.5127	4.8284	2.8889	-0.0074	-0.0039	1.5805	0.5427	-0.2881	0.5085	-0.2816	-0.0003	-0.0023	-1.6872	

Çizelge 8.15. (Devam ediyor).

ADIM9	1	-18002.655	1.6125	1.9997	1.3701	0.0258	-0.0018	-0.0003	0.3667	-0.1815	-0.6540	-0.1230	-0.0752	-0.0002	-0.0008	-1.6184	-0.0092	
	2	-13635.917	3.4499	3.0774	2.1026	0.2330	-0.0035	-0.0010	0.2186	-0.5244	-1.1686	-0.3128	-0.1574	-0.0002	-0.0013	-1.9648	-0.0182	
	3	-11878.944	4.9891	3.9957	2.6969	0.7586	-0.0052	-0.0021	0.2334	-0.6665	-1.3505	-0.4124	-0.2372	-0.0003	-0.0019	-1.8544	-0.0243	
	4	-11248.371	5.3545	4.9490	3.4062	1.5554	-0.0066	-0.0031	0.6713	-0.3206	-1.0529	-0.1786	-0.2903	-0.0003	-0.0021	-1.7243	-0.0256	
	5	-11113.224	4.7805	5.8159	4.1623	2.3442	-0.0074	-0.0037	1.2254	0.1997	-0.5822	0.2504	-0.3152	-0.0003	-0.0022	-1.6789	-0.0246	
	6	-11100.228	4.2599	6.3162	4.6416	2.8253	-0.0075	-0.0038	1.4366	0.4050	-0.3919	0.4346	-0.3208	-0.0003	-0.0023	-1.6759	-0.0243	
	7	-11099.735	4.1155	6.4568	4.7813	2.9651	-0.0076	-0.0038	1.4518	0.4199	-0.3779	0.4484	-0.3212	-0.0003	-0.0023	-1.6762	-0.0243	
ADIM10	1	-17971.946	1.5503	1.9995	1.3862	0.0477	-0.0018	-0.0003	0.3869	-0.1502	-0.6432	-0.0987	-0.0838	-0.0002	-0.0007	-1.5847	-0.0096	0.0004
	2	-13635.240	3.3736	3.0773	2.1226	0.2535	-0.0034	-0.0010	0.2398	-0.4965	-1.1539	-0.2883	-0.1657	-0.0003	-0.0013	-1.9470	-0.0186	0.0004
	3	-11885.438	4.9611	3.9922	2.7047	0.7624	-0.0052	-0.0021	0.2300	-0.6690	-1.3559	-0.4115	-0.2395	-0.0003	-0.0019	-1.8551	-0.0244	0.0002
	4	-11243.539	5.4005	4.9494	3.3937	1.5452	-0.0067	-0.0031	0.6618	-0.3339	-1.0575	-0.1918	-0.2856	-0.0003	-0.0021	-1.7303	-0.0254	-0.0003
	5	-11102.345	4.8817	5.8335	4.1445	2.3362	-0.0075	-0.0037	1.2273	0.1940	-0.5754	0.2368	-0.3076	-0.0003	-0.0022	-1.6861	-0.0242	-0.0005
	6	-11088.726	4.3752	6.3449	4.6289	2.8242	-0.0077	-0.0038	1.4414	0.4012	-0.3834	0.4200	-0.3130	-0.0003	-0.0022	-1.6844	-0.0239	-0.0006
	7	-11088.206	4.2285	6.4895	4.7722	2.9678	-0.0077	-0.0038	1.4568	0.4163	-0.3692	0.4338	-0.3134	-0.0003	-0.0022	-1.6849	-0.0239	-0.0006

I.S: İterasyon sayısı

Zemin grubu referans sınıfı:Kaya zemin

Z.G.1: Orta-derin topraklar

Z.G.2: Sığ topraklar

Z.G.3: Çok sığ topraklar

Bitki türü referans sınıfı:Sarıçam, göknar, kızıl, çınar

B.T.1: Bitki örtüsü olmayan alanlar, tarım alanları

B.T.2: Baltalık orman alanları, meşe

B.T.3: Karaçam, sahil çamı, gürgen

B.T.4: Kayın

T.Y: Topoğrafik yükseklik

Y.Y: Yollara yakınlık

N.I: Nemlilik indeksi

F.Y: Faylara yakınlık

Y.E.Y: Yamaç yönelimi

NDVI: Bitki yoğunluğu indeksi

Y.E: Yamaç eğimi

S.Y: Sırtlara yakınlık

Çizelge 8.16. Aşamalı lojistik regresyon analizi modelinin R² istatistiği.

ADIM NO	-2 Log Likelihood	Cox ve Snell – R ²	Nagelkerke – R ²
1	45180.612	0.371	0.527
2	29206.101	0.518	0.736
3	25614.982	0.546	0.776
4	24119.994	0.557	0.792
5	23186.817	0.564	0.801
6	22645.278	0.568	0.807
7	22463.566	0.569	0.809
8	22294.741	0.571	0.811
9	22199.471	0.571	0.812
10	22176.411	0.571	0.812

Her bir adım sonunda hesaplanan doğru sınıflandırma sonuçları, Çizelge 8.17’de ve modellerde yer alan değişkenlerin katsayıları, bu katsayılara ait standart hatalar (S.H), Wald istatistikleri, değişkenlerin üstünlük oranını temsil eden Exp (B) istatistiği ve Exp (B) istatistikleri için % 95 güven aralıkları, Çizelge 8.18’de sunulmaktadır. Aşamalı lojistik regresyon analizinin 10. adımı sonunda belirlenen modelde, negatif (B) değerleri için gerekli dönüşüm (1/ Exp(B)) yapılarak üstünlük oranları karşılaştırılmıştır. Buna göre, inceleme alanındaki heyelanların meydana gelmesinde en etkin parametre, zemin grubu olup bunu önem sırasına göre bitki türü, bitki yoğunluğu indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, yamaç eğimi, topoğrafik yükseklik, yollara yakınlık, yamaç eğim yönü, sırtlara yakınlık ve faylara yakınlık parametreleri takip etmektedir.

Aşamalı lojistik regresyon analizinin 10. adımı sonunda belirlenen modeldeki, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelere ait katsayılar kullanılarak Eş. 8.25’de verilen eşitlik ile heyelan duyarlılığını temsil eden indeks değerler hesaplanmıştır. Elde edilen heyelan duyarlılık indeksi değerleri kullanılarak Eş. 8.26’da verilen eşitlik ile inceleme alanının tamamını temsil eden 951340 adet piksel için heyelan oluşma olasılığı hesaplanmıştır.

$$Z_{HD} = 4.2285 - (0.0077 \cdot T.Y) - (0.0239 \cdot Y.E) - (0.0022 \cdot Y.Y) - (1.6849 \cdot N.D.V.I) - (0.3134 \cdot N.I) - (0.0003 \cdot F.Y) - (0.0038 \cdot Yol.Y) - (0.0006 \cdot S.Y) + [(1.4568 \cdot BT1) + (0.4163 \cdot BT2) - (0.3692 \cdot BT3) + (0.4338 \cdot B.T4)] + [(6.4895 \cdot ZG1) + (4.7722 \cdot ZG2) + (2.9678 \cdot ZG3)] \quad (Eş. 8.25)$$

$$p = 1 / (1 + e^{-Z_{HD}}) \quad (Eş. 8.26)$$

Çizelge 8.17. Aşamalı lojistik regresyon analizi doğru sınıflandırma sonuçları.

		KESTİRİLEN GRUP ÜYELİĞİ	
		1 (%)	2 (%)
1. ADIM	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	72.58	27.42
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	6.10	93.90
	Doğru sınıflandırma oranı: % 83.2		
2. ADIM	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	91.32	8.68
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	16.04	83.96
	Doğru sınıflandırma oranı: % 87.6		
3. ADIM	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	92.21	7.79
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	12.34	87.66
	Doğru sınıflandırma oranı: % 89.9		
4. ADIM	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	93.11	6.89
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	11.80	88.20
	Doğru sınıflandırma oranı: % 90.7		
5. ADIM	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	93.41	6.59
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	12.12	87.88
	Doğru sınıflandırma oranı: % 90.7		
6. ADIM	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	93.64	6.36
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	11.07	88.93
	Doğru sınıflandırma oranı: % 91.3		
7. ADIM	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	93.93	6.07
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	10.89	89.11
	Doğru sınıflandırma oranı: % 91.5		
8. ADIM	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	93.96	6.04
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	10.82	89.13
	Doğru sınıflandırma oranı: % 91.5		
9. ADIM	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	93.96	6.04
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	11.00	89.00
	Doğru sınıflandırma oranı: % 91.5		
10. ADIM	Grup1 (Heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlar)	94.04	5.96
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	10.96	89.04
	Doğru sınıflandırma oranı: % 91.5		

Çizelge 8.18. Aşamalı lojistik regresyon analizi istatistikleri.

	DEĞİŞKENLER	B	S.H.	Wald	Exp(B)	95% güven aralığı için Exp(B)	
						En Küçük	En Büyük
ADIM 1	Zemin grubu			10421.4200			
	Orta derin topraklar	7.3476	0.1567	2198.1490	1552.5279	1141.9332	2110.7566
	Sığ topraklar	6.0188	0.1532	1543.4330	411.0793	304.4526	555.0493
	Çok sığ topraklar	3.1594	0.1559	410.4857	23.5570	17.3533	31.9783
	Katsayı	-5.8575	0.1526	1472.8140	0.0029		
ADIM 2	T.Yükseklik	-0.0079	0.0001	7199.6990	0.9921	0.9919	0.9923
	Zemin grubu			8985.4740			
	Orta derin topraklar	6.7768	0.1586	1824.7420	877.2311	642.8009	1197.1581
	Sığ topraklar	5.3217	0.1541	1191.8900	204.7243	151.3426	276.9350
	Çok sığ topraklar	2.2266	0.1572	200.5599	9.2684	6.8104	12.6134
	Katsayı	-1.1327	0.1596	50.3644	0.3222		
ADIM 3	T.Yükseklik	-0.0079	0.0001	5963.5520	0.9921	0.9919	0.9923
	Yollara yakınlık	-0.0041	0.0001	2661.2830	0.9959	0.9958	0.9961
	Zemin grubu			4911.6090			
	Orta derin topraklar	6.4362	0.1610	1598.6020	624.0310	455.1916	855.5399
	Sığ topraklar	4.9109	0.1553	1000.3200	135.7615	100.1385	184.0496
	Çok sığ topraklar	2.7108	0.1594	289.2613	15.0413	11.0057	20.5570
	Katsayı	0.2931	0.1630	3.2327	1.3406		
ADIM 4	T.Yükseklik	-0.0078	0.0001	5137.7690	0.9922	0.9920	0.9925
	Yollara yakınlık	-0.0040	0.0001	2522.9420	0.9960	0.9958	0.9961
	Bitki türü			1453.3050			
	BT1	1.6867	0.1338	158.8564	5.4016	4.1556	7.0220
	BT2	0.7460	0.1411	27.9580	2.1085	1.5992	2.7804
	BT3	-0.1826	0.1444	1.5977	0.8331	0.6277	1.1058
	BT4	0.5371	0.1341	16.0379	1.7110	1.3155	2.2255
	Zemin grubu			2692.2060			
	Orta derin topraklar	6.0415	0.1623	1386.4650	420.5233	305.9815	577.9831
	Sığ topraklar	4.7763	0.1559	939.0710	118.6645	87.4240	161.0532
	Çok sığ topraklar	3.0546	0.1617	356.9697	21.2127	15.4518	29.1213
	Katsayı	-0.8096	0.2092	3.2327	0.4450		
ADIM 5	T.Yükseklik	-0.0084	0.0001	5250.2180	0.9916	0.9914	0.9919
	Nemlilik indeksi	-0.2757	0.0091	909.9083	0.7590	0.7456	0.7728
	Yollara yakınlık	-0.0042	0.0001	2568.8800	0.9958	0.9956	0.9959
	Bitki türü			1586.9910			
	BT1	1.8315	0.1340	186.9564	6.2432	4.8019	8.1180
	BT2	0.7528	0.1414	28.3569	2.1229	1.6092	2.8009
	BT3	-0.1063	0.1449	0.5387	0.8992	0.6769	1.1943
	BT4	0.5549	0.1339	17.1867	1.7418	1.3399	2.2644
	Zemin grubu			2914.2310			
	Orta derin topraklar	6.2754	0.1635	1472.6070	531.3389	385.6455	732.1231
	Sığ topraklar	4.8646	0.1566	965.4085	129.6191	95.3684	176.1732
	Çok sığ topraklar	3.0021	0.1624	341.6111	20.1278	14.6394	27.6717
	Katsayı	1.9256	0.2284	71.1015	6.8593		

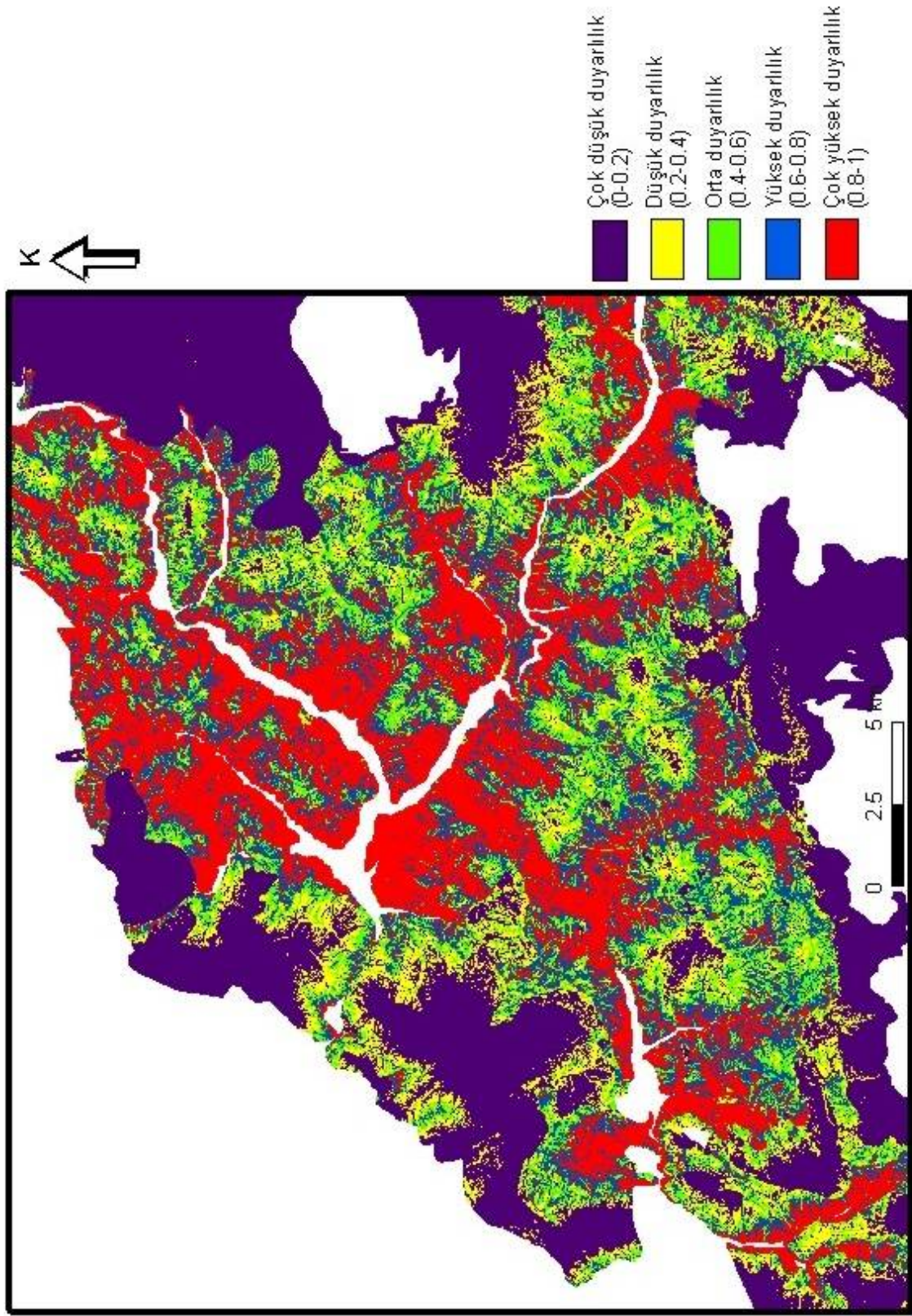
Çizelge 8.18. (Devam ediyor).

ADIM 6	T.Yükseklik	-0.0076	0.0001	3976.5290	0.9924	0.9922	0.9927
	Nemlilik indeksi	-0.2851	0.0093	936.9272	0.7519	0.7383	0.7658
	Faylara yakınlık	-0.0003	0.0000	514.4074	0.9997	0.9997	0.9997
	Yollara yakınlık	-0.0040	0.0001	2284.7080	0.9960	0.9958	0.9962
	Bitki türü			1535.6150			
	BT1	1.6799	0.1395	145.0674	5.3650	4.0818	7.0518
	BT2	0.5975	0.1465	16.6419	1.8176	1.3640	2.4219
	BT3	-0.2754	0.1494	3.3967	0.7593	0.5665	1.0176
	BT4	0.4553	0.1382	10.8528	1.5766	1.2025	2.0672
	Zemin grubu			2987.9550			
	Orta derin topraklar	6.6402	0.1675	1572.2700	765.2480	551.1233	1062.5184
	Sığ topraklar	4.9177	0.1568	983.7515	136.6879	100.5210	185.8556
	Çok sığ topraklar	2.9143	0.1623	322.4496	18.4359	13.4127	25.3400
	Katsayı	2.2276	0.2309	93.1063	9.2776		
ADIM 7	T.Yükseklik	-0.0077	0.0001	4018.0640	0.9923	0.9921	0.9926
	Yamaç eğim yönü	-0.0022	0.0002	179.7870	0.9978	0.9975	0.9981
	Nemlilik indeksi	-0.2787	0.0094	883.8335	0.9978	0.7430	0.7708
	Faylara yakınlık	-0.0003	0.0000	436.5424	0.7568	0.9997	0.9998
	Yollara yakınlık	-0.0040	0.0001	2281.4590	0.9960	0.9958	0.9962
	Bitki türü			1488.1730			
	BT1	1.6713	0.1356	151.8310	5.3191	4.0773	6.9387
	BT2	0.5673	0.1429	15.7681	1.7635	1.3328	2.3332
	BT3	-0.2536	0.1458	3.0266	0.7760	0.5831	1.0326
	BT4	0.4842	0.1343	12.9903	1.6229	1.2472	2.1116
	Zemin grubu			3010.6170			
	Orta derin topraklar	6.6375	0.1678	1565.5500	763.1846	549.3281	1060.2663
	Sığ topraklar	4.9331	0.1569	988.8411	138.8092	102.0704	188.7854
	Çok sığ topraklar	2.8758	0.1623	313.7987	17.7396	12.9055	24.3867
	Katsayı	2.6089	0.2310	127.5599	13.5841		
ADIM 8	T.Yükseklik	-0.0074	0.0001	3614.2060	0.9926	0.9924	0.9928
	Yamaç eğim yönü	-0.0023	0.0002	200.9695	0.9977	0.9974	0.9980
	NDVI	-1.6872	0.1311	165.5804	0.1850	0.1431	0.2393
	Nemlilik indeksi	-0.2816	0.0094	891.5282	0.9977	0.7408	0.7687
	Faylara yakınlık	-0.0003	0.0000	461.0478	0.7546	0.9997	0.9997
	Yollara yakınlık	-0.0039	0.0001	2085.2100	0.9961	0.9960	0.9963
	Bitki türü			1294.9090			
	BT1	1.5805	0.1382	130.7220	4.8574	3.7047	6.3692
	BT2	0.5427	0.1453	13.9572	1.7206	1.2943	2.2875
	BT3	-0.2881	0.1482	3.7765	0.7497	0.5607	1.0025
	BT4	0.5085	0.1368	13.8181	1.6628	1.2717	2.1740
	Zemin grubu			2772.9480			
	Orta derin topraklar	6.5127	0.1675	1511.1290	673.6428	485.1048	935.5181
	Sığ topraklar	4.8284	0.1568	948.1447	125.0108	91.9307	169.9839
	Çok sığ topraklar	2.8889	0.1623	317.0264	17.9735	13.0781	24.7038
	Katsayı	3.0333	0.2354	166.0540	20.7656		

Çizelge 8.18. (Devam ediyor).

ADIM 9	T.Yükseklik	-0.0076	0.0001	3671.5570	0.9924	0.9922	0.9927
	Yamaç eğimi	-0.0243	0.0025	94.8687	0.9760	0.9712	0.9808
	Yamaç eğim yönü	-0.0023	0.0002	191.8062	0.9977	0.9974	0.9981
	NDVI	-1.6762	0.1314	162.8440	0.1871	0.1446	0.2420
	Nemlilik indeksi	-0.3212	0.0104	962.7296	0.9977	0.7107	0.7402
	Faylara yakınlık	-0.0003	0.0000	498.8769	0.7253	0.9997	0.9997
	Yollara yakınlık	-0.0038	0.0001	2061.0650	0.9962	0.9960	0.9963
	Bitki türü			1196.7250			
	BT1	1.4518	0.1415	105.3079	4.2708	3.2365	5.6353
	BT2	0.4199	0.1485	7.9967	1.5218	1.1375	2.0358
	BT3	-0.3779	0.1511	6.2516	0.6853	0.5096	0.9216
	BT4	0.4484	0.1396	10.3105	1.5658	1.1909	2.0588
	Zemin grubu			2557.6890			
	Orta derin topraklar	6.4568	0.1681	1476.1690	637.0193	458.2684	885.5592
	Sığ topraklar	4.7813	0.1570	927.7663	119.2593	87.6778	162.2273
	Çok sığ topraklar	2.9651	0.1626	332.5263	19.3966	14.1033	26.6770
	Katsayı	4.1155	0.2630	244.8635	61.2828		
ADIM 10	T.Yükseklik	-0.0077	0.0001	3532.1660	0.9923	0.9921	0.9926
	Yamaç eğimi	-0.0239	0.0025	91.5199	0.9764	0.9716	0.9812
	Yamaç eğim yönü	-0.0022	0.0002	187.4800	0.9978	0.9974	0.9981
	NDVI	-1.6849	0.1312	164.8428	0.1855	0.1434	0.2399
	Nemlilik indeksi	-0.3134	0.0105	894.1302	0.9978	0.7161	0.7461
	Faylara yakınlık	-0.0003	0.0000	476.4126	0.7310	0.9997	0.9997
	Yollara yakınlık	-0.0038	0.0001	2071.9740	1.0001	0.9960	0.9963
	Sırtlara yakınlık	-0.0006	0.0001	23.0530	0.9994	0.9962	0.9997
	Bitki türü			1204.2690			
	BT1	1.4568	0.1406	107.2965	4.2922	3.2582	5.6548
	BT2	0.4163	0.1476	7.9510	1.5163	1.1354	2.0253
	BT3	-0.3692	0.1504	6.0304	0.6913	0.5148	0.9282
	BT4	0.4338	0.1388	9.7642	1.5431	1.1755	2.0257
	Zemin grubu			2570.4610			
	Orta derin topraklar	6.4895	0.1683	1487.0660	658.1942	473.2694	915.3722
	Sığ topraklar	4.7722	0.1570	923.6803	118.1789	87.8725	160.7663
	Çok sığ topraklar	2.9678	0.1627	332.7804	19.4491	14.1386	26.7525
	Katsayı	4.2285	0.2637	257.1356	68.6142		

Sıfır ve bir değerleri arasında değişen olasılık değerlerine göre inceleme alanı, “çok düşük” (0-0.2), “düşük” (0.2-0.4), “orta” (0.4-0.6), “yüksek” (0.6-0.8) ve “çok yüksek” (0.8-1) olmak üzere beş duyarlılık grubunda sınıflandırılmıştır (Şekil 8.6). Lojistik regresyon analizi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritasında, inceleme alanının yaklaşık % 33’ü çok düşük, % 11’i düşük, % 13’ü orta, % 19’u yüksek ve % 24’ü çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir. Mevcut heyelanların, yaklaşık % 3’ü çok düşük, % 4’ü düşük, % 12’si orta, % 29’u yüksek ve % 52’si çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer almaktadır.



Şekil 8.6. Lojistik regresyon analizi yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.

Şekil 8.6'da sunulan heyelan duyarlılık haritası, sınır koşulları dikkate alınarak oluşturulan veri setlerine uygulanan lojistik regresyon analizi sonuçlarına göre üretilmiştir. Bu veri setlerinde; 2. grup, inceleme alanında tespit edilmiş heyelanlı alanları, 1. grup ise inceleme alanındaki heyelanların oluşmasında etkin olan parametreler açısından heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanları temsil etmektedir. Veri setlerinde, 2. grubun sabit tutularak, 1. grubun, inceleme alanında heyelan tespit edilmemiş alanlardan gelişigüzel seçilmesi ile oluşturulması durumunda, heyelan duyarlılık haritasının performansının belirlenmesi amacıyla 5 adet veri setine lojistik regresyon analizi uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre en yüksek doğru sınıflandırma oranı % 72.5 (Çizelge 8.19) olup sınır koşulları dikkate alınarak oluşturulan veri setlerine ait doğru sınıflandırma oranlarından küçüktür. Ayrıca, sınır koşulları dikkate alınarak oluşturulan veri setinin Nagelkerke – R^2 istatistiğine göre heyelan oluşumunda etkin olan parametreler ile heyelan oluşumu arasında % 81'lik bir ilişki mevcutken en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip olan 4. veri setinde söz konusu ilişki, % 36'ya düşmektedir. Bu veri setine uygulanan lojistik regresyon analizi sonucunda belirlenen üstünlük oranlarına göre inceleme alanındaki heyelanların meydana gelmesinde en etkin parametre, zemin grubu olup bunu önem sırasına göre; bitki türü, bitki yoğunluğu indeksi, yamaç eğimi, topoğrafik nemlilik indeksi, topoğrafik yükseklik, yollara yakınlık, yamaç şekli ve drenaja yakınlık parametreleri takip etmektedir. Faylara yakınlık, yamaç eğim yönü ve sırtlara yakınlık ise heyelanların meydana gelmesinde etkin bir rol oynamamaktadır. Aşamalı lojistik regresyon analizinin 9. adımı sonunda belirlenen modeldeki, katsayılar kullanılarak heyelan duyarlılığını temsil eden indeks değerler ve bu değerler kullanılarak her bir pikselin, ikinci gruba (heyelanlı alanlar) ait olma olasılıkları hesaplanmıştır. İnceleme alanı, bu olasılık değerleri kullanılarak beş duyarlılık grubunda sınıflandırılmış ve yaklaşık % 35'inin çok düşük, % 18'inin düşük, % 19'unun orta, % 20'sinin yüksek ve % 8'inin çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer aldığı belirlenmiştir. Mevcut heyelanların söz konusu harita ile karşılaştırılması sonucunda; heyelanların yaklaşık % 2'sinin çok düşük, % 9'unun düşük, % 22'sinin orta, % 36'sının yüksek ve % 31'inin çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer aldığı saptanmıştır.

Çizelge 8.19. Gelişigüzel seçilen değerler kullanılarak oluşturulan veri setleri için lojistik regresyon analizi sınıflandırma sonuçları.

		KESTİRİLEN GRUP ÜYELİĞİ	
		1 (%)	2 (%)
1. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan tespit edilmemiş alanlar)	63.82	36.18
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	19.80	80.20
	Doğru sınıflandırma oranı: % 72.0		
		1 (%)	2 (%)
2. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan tespit edilmemiş alanlar)	64.24	35.76
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	19.64	80.36
	Doğru sınıflandırma oranı: % 72.3		
		1 (%)	2 (%)
3. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan tespit edilmemiş alanlar)	64.42	35.58
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	19.81	80.19
	Doğru sınıflandırma oranı: % 72.3		
		1 (%)	2 (%)
4. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan tespit edilmemiş alanlar)	64.46	35.74
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	19.17	80.46
	Doğru sınıflandırma oranı: % 72.5		
		1 (%)	2 (%)
5. VERİ SETİ	Grup1 (Heyelan tespit edilmemiş alanlar)	64.05	35.95
	Grup2 (Heyelanlı alanlar)	19.84	80.16
	Doğru sınıflandırma oranı: % 72.1		

9. YAPAY SİNİR AĞI YÖNTEMİ KULLANILARAK HEYELAN DUYARLILIK HARİTASININ OLUŞTURULMASI

Yaygın olarak kullanılan istatistiksel yöntemlerin, kullanılan verinin normal dağılıma sahip olması ve varyanslarının eşit olması gibi veri dağılımına ilişkin bazı varsayımları bulunmaktadır. Ancak, bu varsayımlar her zaman sağlanamamakta ve değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olmadığı koşullarda, geleneksel istatistiksel yöntemler yetersiz kalmaktadır. Bu sınırlamaların aşılabilmesi amacıyla son yıllarda, özellikle karmaşık problemlerin çözümünde, geleneksel yöntemlere göre çok daha etkin olan ve kesin varsayımları gerektirmeyen, yapay sinir ağı yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. Çok sayıda, birbiriyle ilişkili işlem elemanına sahip olan yapay sinir ağlarının, öğrenme özelliği, doğrusal olmayan fonksiyonları kullanması, sistemde meydana gelen bir hataya karşı duyarlılığının az olması, çok karmaşık ve düzensiz ilişkiye sahip problemleri çözebilme yeteneği, sistemin en önemli üstünlükleri arasındadır. Bununla birlikte, kara kutu modeli olarak adlandırılan yapay sinir ağı sistemlerinin en önemli sınırlamaları, ağ topolojisi, öğrenme kuralları ve algoritmanın seçimidir (Lippman, 1987; Hecht-Nielsen, 1990; Benediktsson et al., 1990; Masters, 1993; Paola and Schowengardt, 1997; Kaastra and Boyd, 1996; Foody et al., 1996; Zhou, 1999; Liu et al., 2003).

Heyelan duyarlılık ve tehlike değerlendirmelerinde yapay sinir ağlarının kullanılmasına yönelik ilk çalışmalar, Aleotti et al. (1996), Mayoraz et al. (1996) ve Aleotti et al. (1998) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yeni ve gelişmekte olan bir yaklaşım olan yapay sinir ağı yönteminin heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde kullanılmasına yönelik sınırlı sayıda çalışma bulunmakla birlikte, bu çalışmaların sayısında, son birkaç yılda artış olduğu gözlenmiştir (Aleotti and Chowdhury, 1999; Lee et al., 2001; Lee et al., 2003; Lee et al., 2004; Goméz and Kavzoğlu, 2005; Yeşilnacar and Topal, 2005).

Bu çalışmada, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde, yapay sinir ağı yönteminin performansının değerlendirilmesi ve farklı özelliklere sahip ağların kullanılmasının, sonuç haritaları üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, farklı algoritmalara sahip yapay sinir ağları kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuş ve performansları karşılaştırılmıştır.

Ayrıca, yapay sinir ağı tasarımında kullanılan, tabaka sayısı, düğüm sayısı, öğrenme katsayısı, momentum değeri, başlangıç ağırlık değerleri, dönüşüm fonksiyonları, tekrarlama sayısı gibi sistemin kestirdiği sonuçları doğrudan etkileyen parametrelerin, sonuçlar üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Söz konusu ağ tasarım parametreleri ve algoritmalar dikkate alınarak en iyi sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.

9.1. Veri Setinin Hazırlanması

Yapay sinir ağı yöntemi uygulamalarının ilk aşamasını, ağı eğitilmesi için gerekli olan veri setlerinin hazırlanması içermektedir. Yapay sinir ağı yöntemi ve çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının karşılaştırılması ve performanslarının değerlendirilmesi için oluşturulan haritaların aynı temele dayanması amaçlanmıştır. Bu nedenle, yapay sinir ağı eğitilmesinde, çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri uygulamalarında oluşturulan veri setleri kullanılmıştır. Heyelanlı ve heyelan olmayan alanları temsil eden veri setleri, heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünülen, topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yamaç şekli, topoğrafik nemlilik indeksi, sırtlara yakınlık, drenaja yakınlık, faylara yakınlık, yollara yakınlık ve bitki yoğunluğu indeksi olmak üzere 10 adet sürekli değişken, bitki türü ve zemin grubu olmak üzere 2 adet kategorik değişken içermektedir. Bitki türü parametresinde, 1. grup; bitki örtüsü olmayan ve tarım alanları, 2. grup; baltalık orman alanları ve meşe, 3. grup; karaçam, sahil çamı ve gürgen, 4. grup; kayın ve 5. grup; sarıçam, göknar, kızıl ve çınar ağaçlarıyla kaplı alanları temsil etmektedir. Zemin grubu parametresinde ise 1. grup; orta-derin toprak zemin, 2. grup; sığ toprak zemin, 3. grup; çok sığ toprak zemin ve 4. grup; kaya zemini temsil etmektedir.

Yapay sinir ağı analizleri için veri setinin hazırlanma aşamasında değişkenler, dönüşüm fonksiyonları dikkate alınarak normalleştirilmiştir. Verilerin normalleştirilmesi, yapay sinir ağı analizleri için bu çalışmada kullanılan, Alyuda NeuroIntelligence 2.3. programı ile gerçekleştirilmiştir. Söz konusu program, sürekli değişkenlerin normalleştirilmesinde, Eş. 9.1 ve Eş. 9.2’de verilen eşitlikleri kullanmaktadır.

$$SF = \frac{SR_{\max} - SR_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad \text{Eş. 9.1}$$

$$X_p = SR_{\min} + (X - X_{\min}) * SF \quad \text{Eş. 9.2}$$

Bu eşitliklerde;

X: Normalleştirilecek değer,

$X_{\min}$: Değişkenin en küçük değeri,

$X_{\max}$: Değişkenin en büyük değeri,

$SR_{\min}$: Normalleştirme aralığının en küçük değeri,

$SR_{\max}$: Normalleştirme aralığının en büyük değeri,

SF: Normalleştirme faktörü,

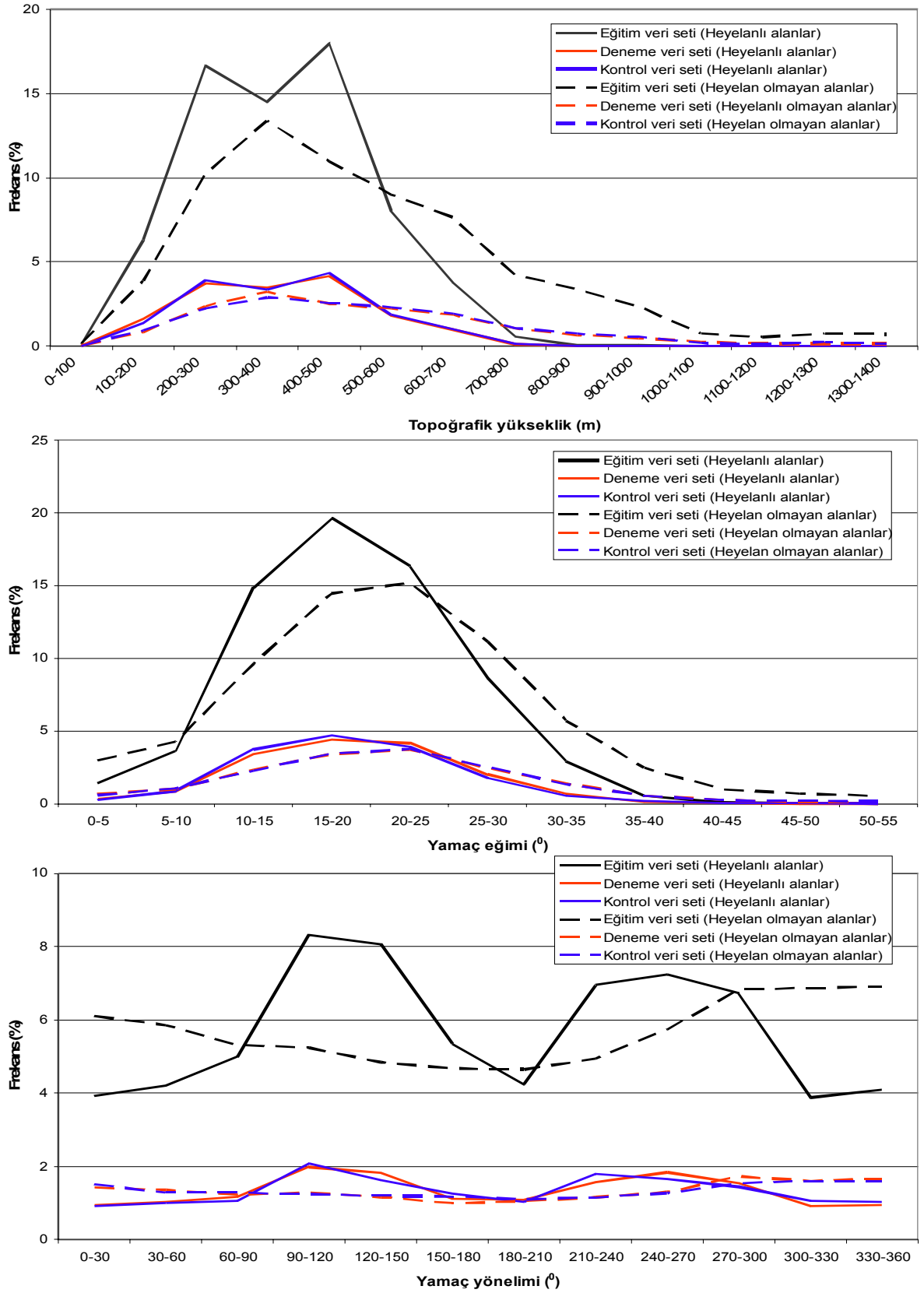
X_p : Normalleştirilen değeri temsil etmektedir.

Heyelan oluşumunda etkin olan 12 adet değişken, “-1” ve “1” değerleri arasında normalleştirilirken, heyelanlı ve heyelan olmayan alanları temsil eden hedef değişkenin normalleştirme aralığı, dönüşüm fonksiyonu temel alınarak belirlenmiştir. Hedef değişken, doğrusal ve hiperbolik tanjansiyel fonksiyon için [-1, 1] ve sigmoidal fonksiyon için [0, 1] değerleri arasında normalleştirilmiştir.

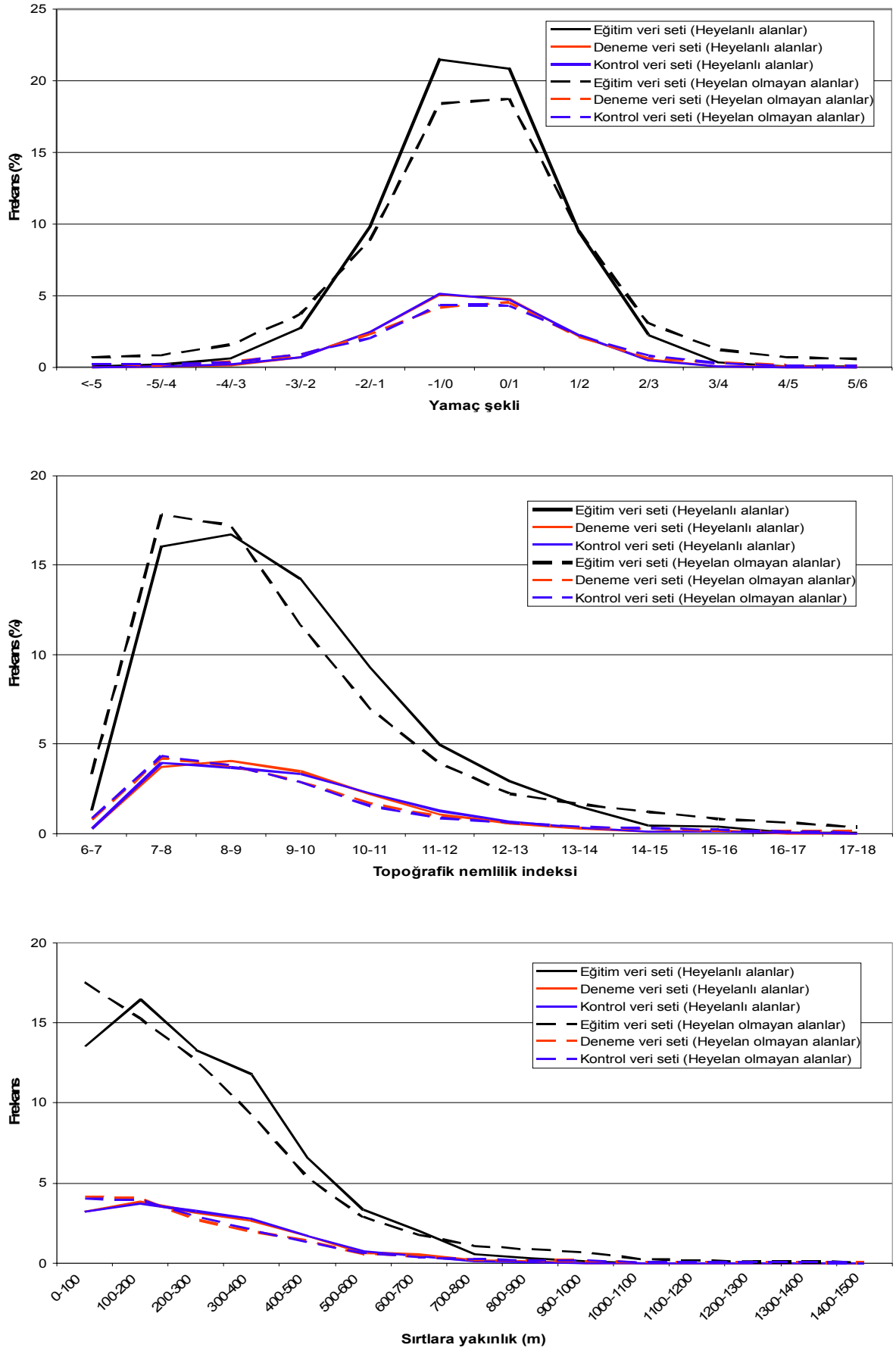
Yapay sinir ağının öğrenme sürecinin doğru bir şekilde tamamlanabilmesi; ağın eğitilmesi, denenmesi ve doğruluğunun kontrol edilmesini gerektirmektedir. Bu koşulun sağlanabilmesi için veri seti; eğitim (training), deneme (test) ve kontrol (validation) veri seti olmak üzere üç bölüme ayrılmaktadır. Yapay sinir ağının eğitim aşaması için kullanılan ve girdi veri setinin büyük bir kısmını oluşturan eğitim veri seti, ağın doğru sonuçları tahmin edebilme yeteneğini en üst seviyeye çıkartabilmek ve kestirim hatasını en küçük değere indirgeyebilmek amacıyla kullanılmaktadır. Deneme veri seti, eğitim veri sayısından daha az sayıda girdi verisinden oluşmakta ve öğrenme sürecinde değerlendirmeye alınmamaktadır. Bu veri seti, öğrenme aşamasından sonra ağın, yeni verilerin sonuçlarının tahminindeki başarısının sınıandığı veri setidir. Kontrol veri seti ise, ağın tahmin

edebilme yeteneği azalmaya başladığı zaman, ağırlık değerleri dışındaki diğer ağ parametrelerinin ayarlanması amacıyla kullanılmaktadır. Her üç veri setinin, toplam girdinin ne kadarını temsil edeceği konusunda kesin bir değer bulunmamakla birlikte deneme ve kontrol veri setinin, eğitim veri setinin % 10'u ile % 30'u arasındaki kesimini kapsaması önerilmektedir. Looney (1996), girdi veri setinin % 65'inin eğitim veri seti, % 10'unun deneme veri seti ve % 25'inin kontrol veri seti olarak kullanılmasını önermiştir (Weigend et al., 1990; Kaastra and Boyd, 1996; Looney, 1996).

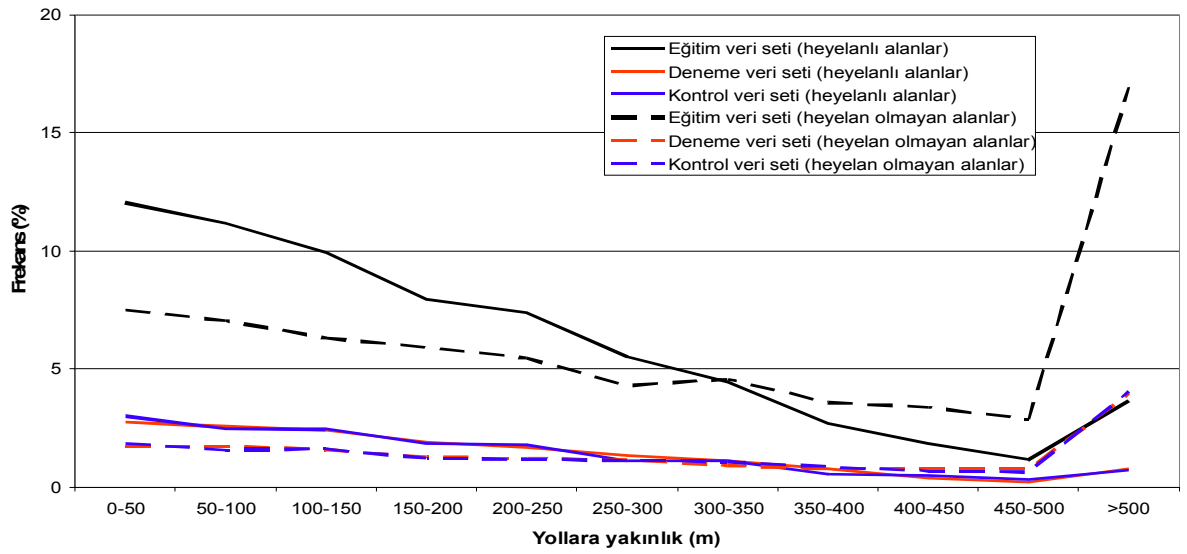
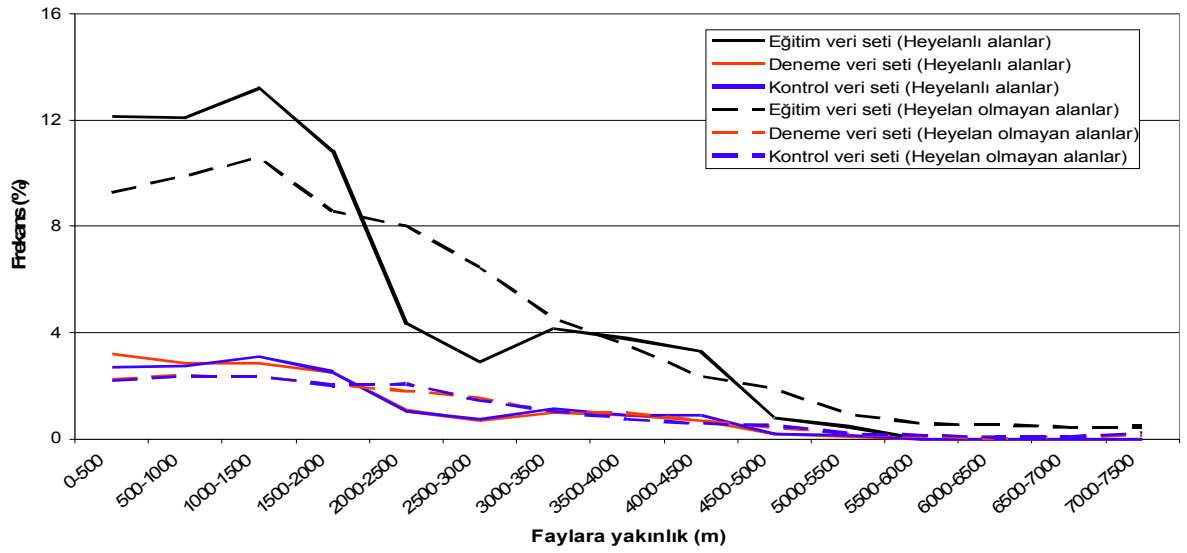
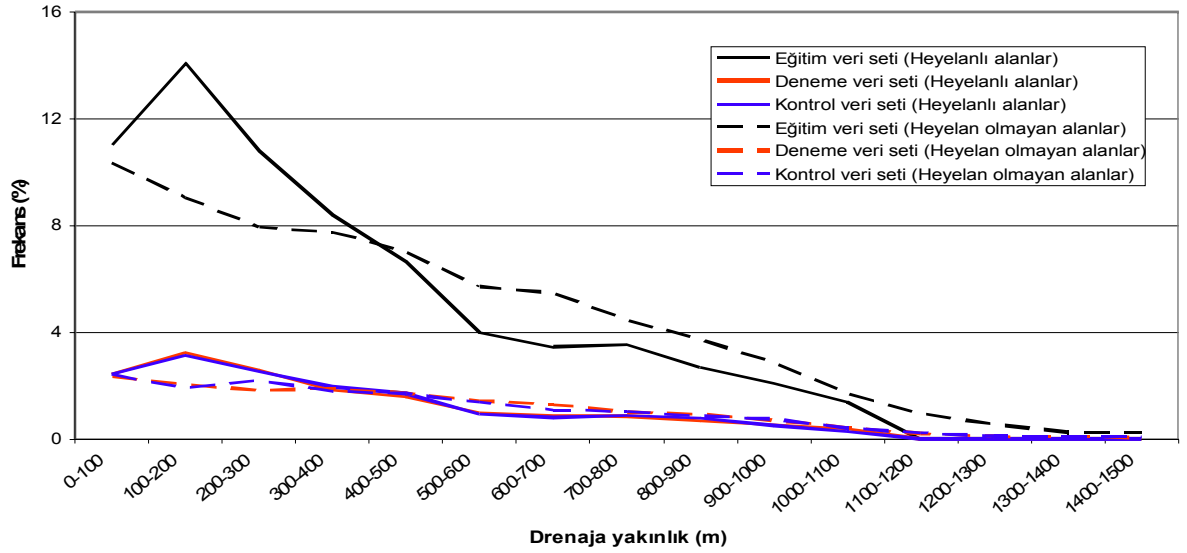
Bu çalışmada, eğitim, deneme ve kontrol veri setleri, ağın eğitilmesinde kullanılan veri setinden gelişigüzel seçilmiş ve veri setinin % 68'i eğitim veri seti, % 16'sı deneme veri seti ve % 16'sı kontrol veri seti olarak kullanılmıştır. şekil 9.1'de, heyelanlı pikseller ve heyelan olmayan alanlardan gelişigüzel seçilen piksellerden oluşan ve şekil 9.2'de, heyelanlı pikseller ve heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanlardan gelişigüzel seçilen pikselleri içeren veri setinde, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin dağılımı verilmektedir.



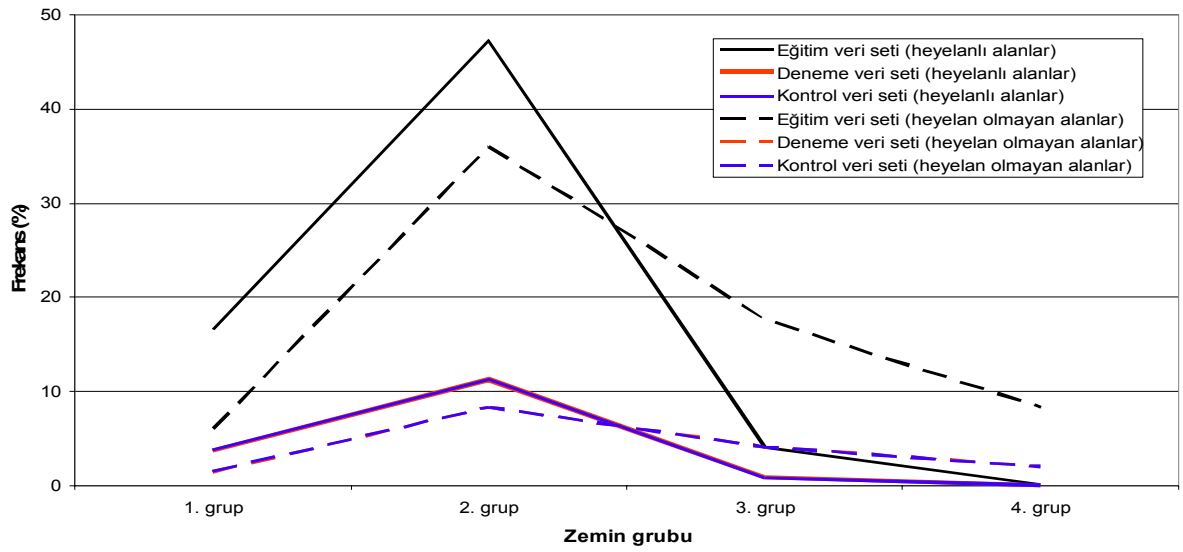
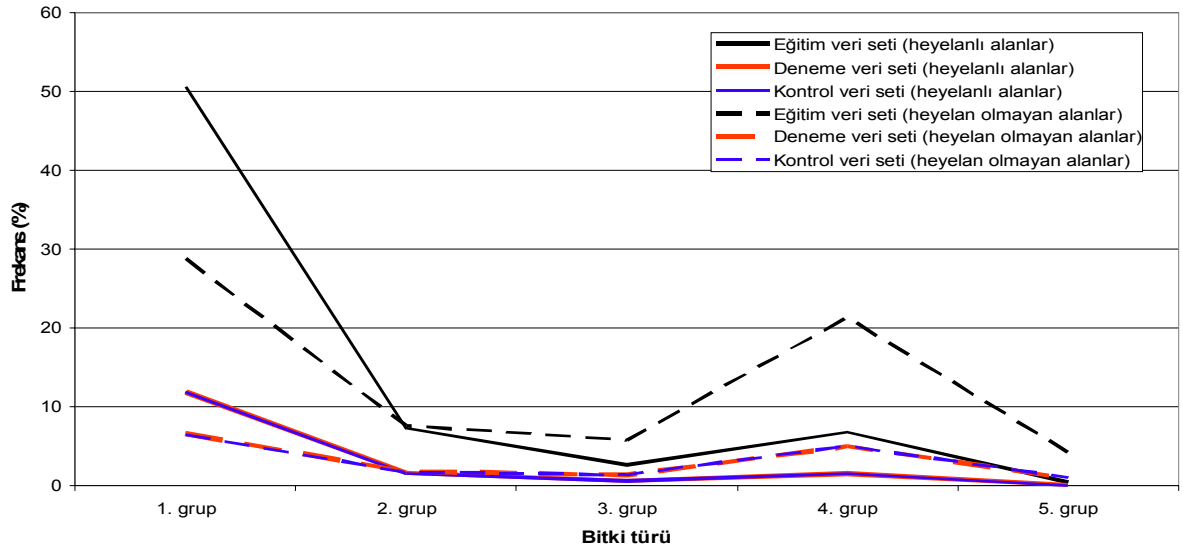
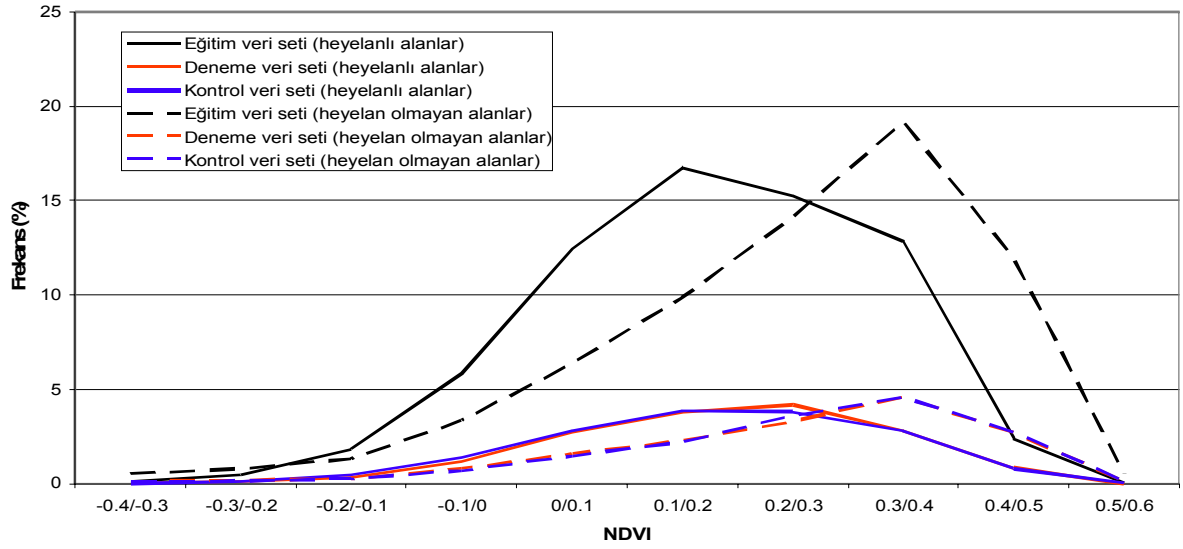
Şekil 9.1. Gelişigüzel seçilen değerler kullanılarak oluşturulan eğitim-deneme-kontrol veri setlerinde heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin dağılımı.



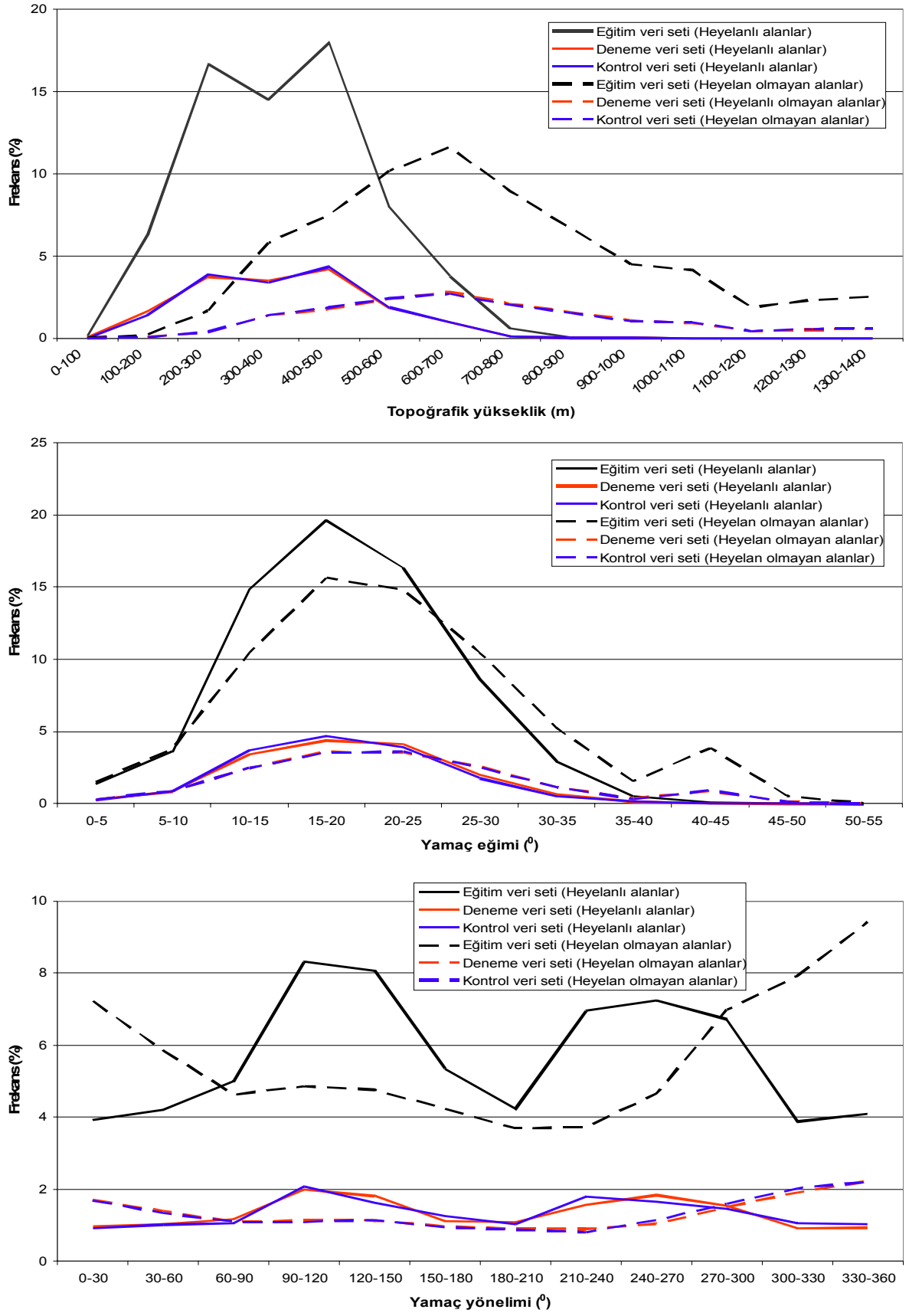
Şekil 9.1. (Devam ediyor).



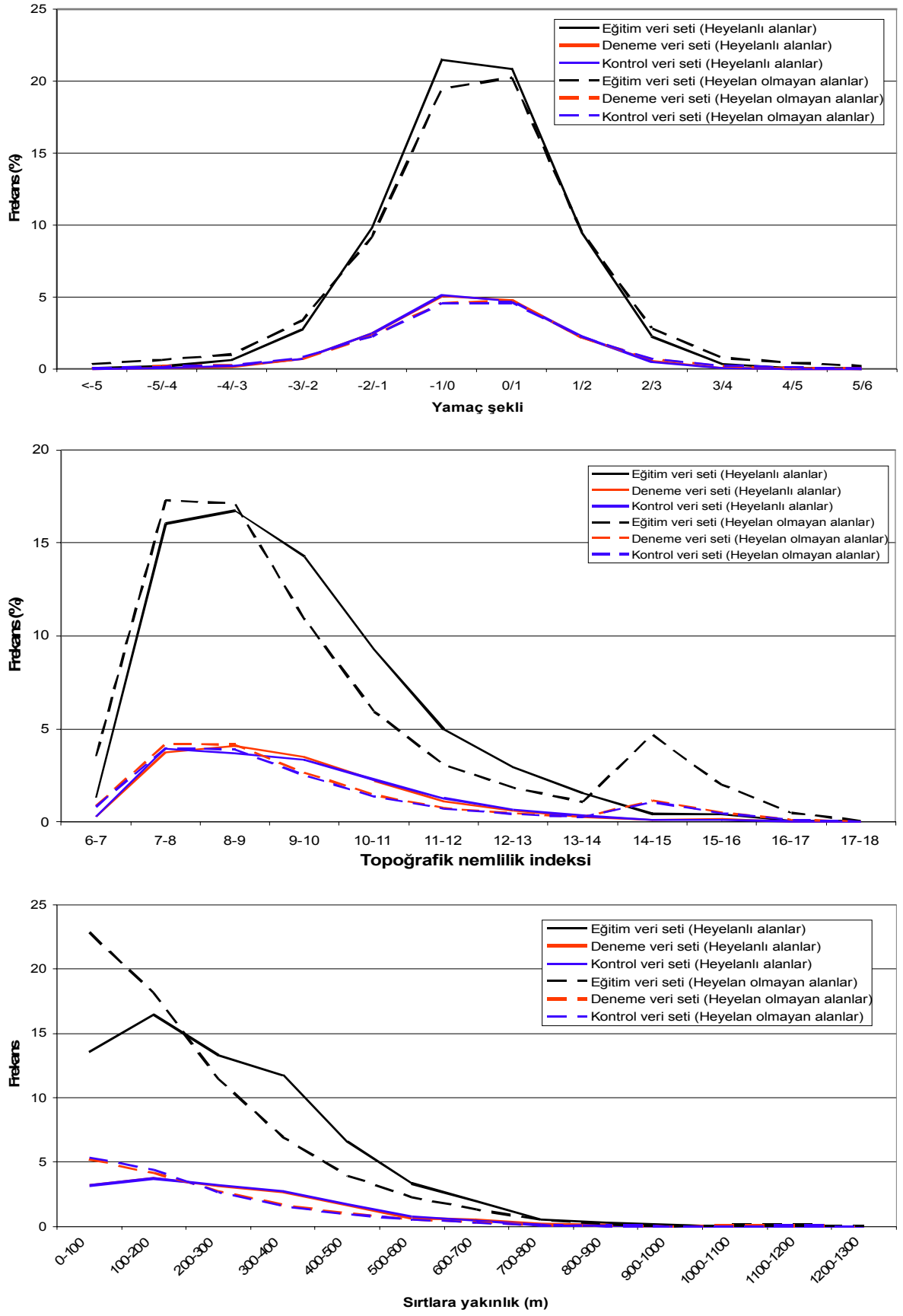
Şekil 9.1. (Devam ediyor).



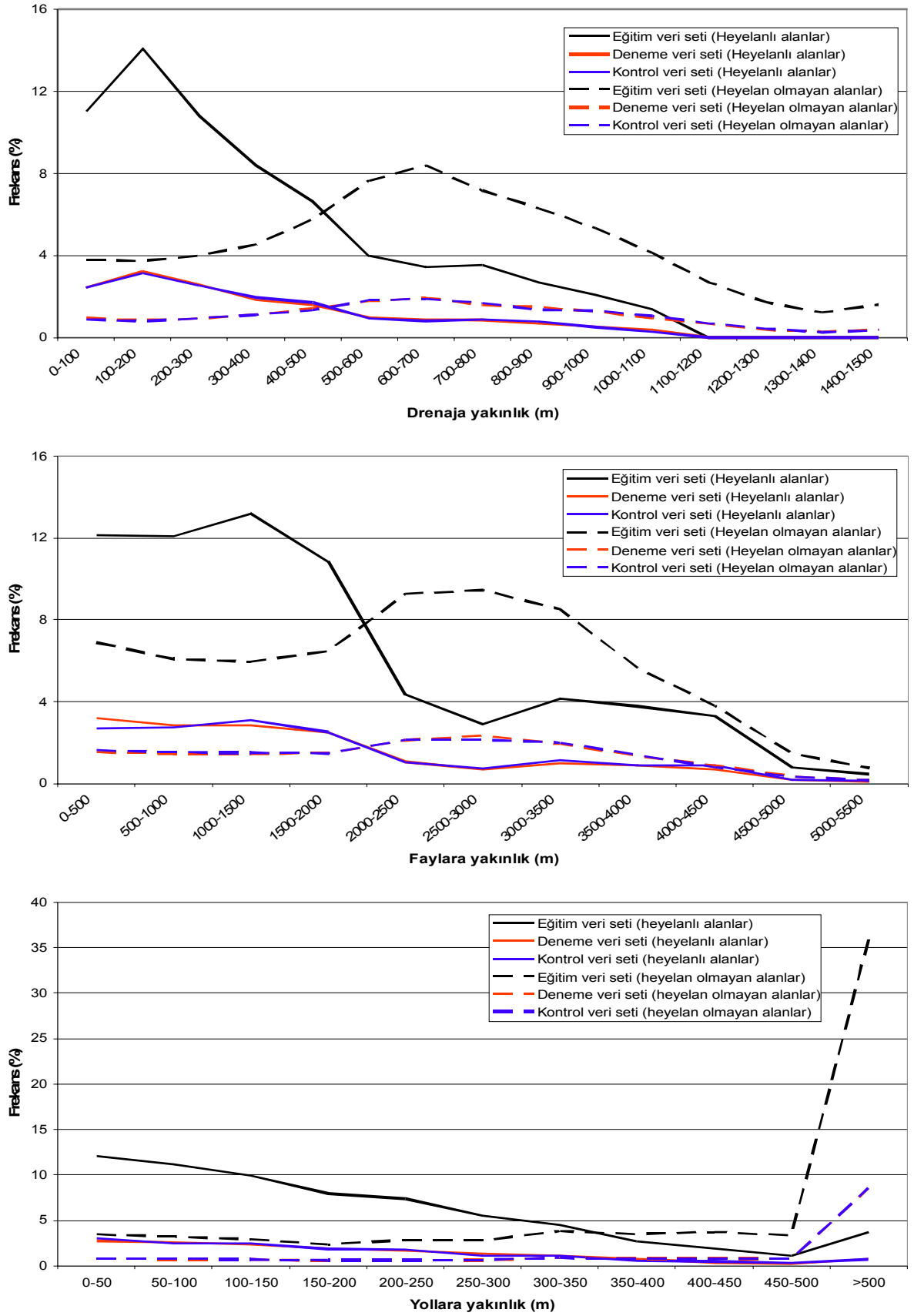
Şekil 9.1. (Devam ediyor).



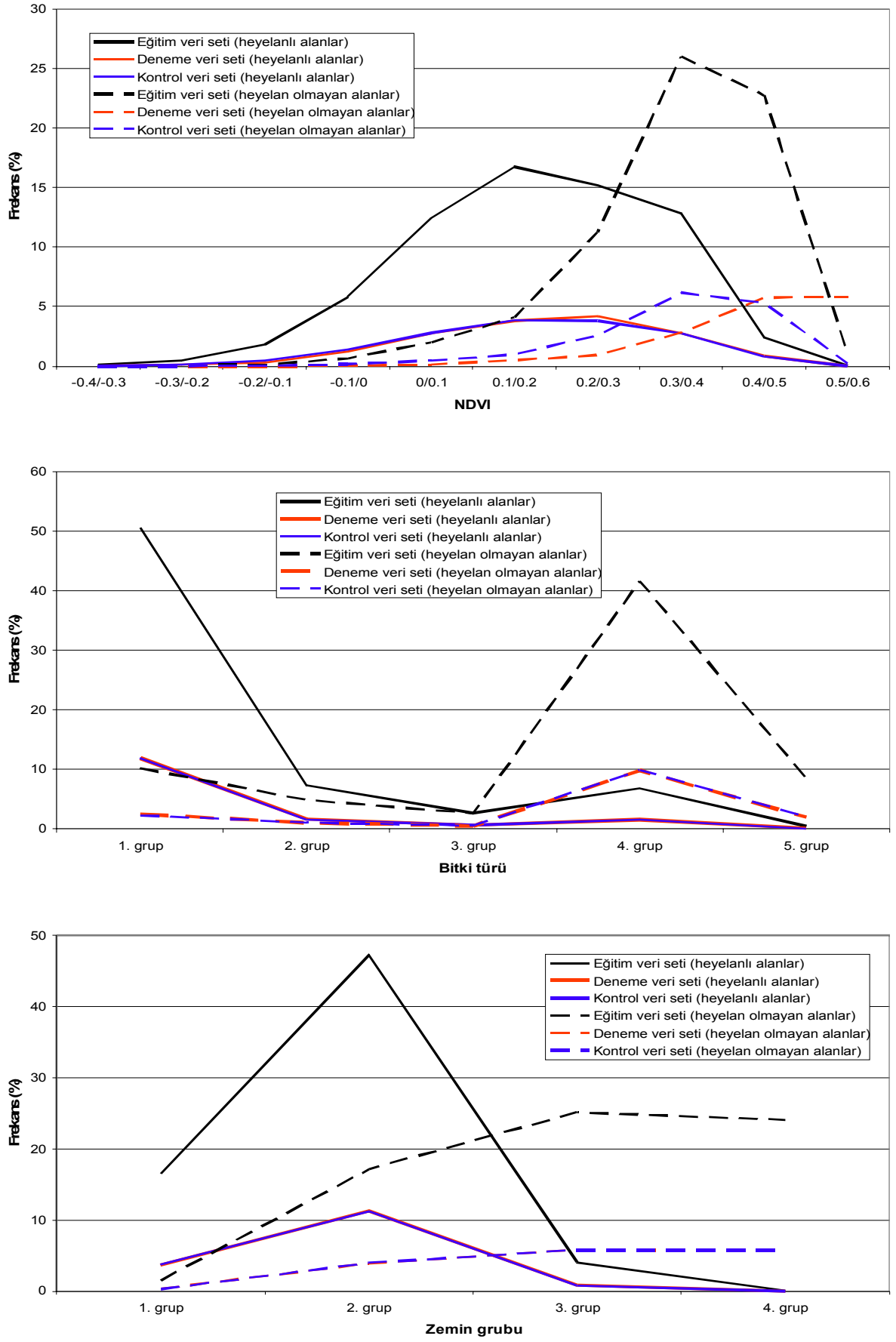
Şekil 9.2. Sınır koşulları dikkate alınarak oluşturulan eğitim-deneme-kontrol veri setlerinde heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin dağılımı.



Şekil 9.2. (Devam ediyor).



Şekil 9.2. (Devam ediyor).



Şekil 9.2. (Devam ediyor).

9.2. Yapay Sinir Ağı'nın Öğrenme Algoritması

Yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak doğru ve güvenilir sonuçlara ulaşılabilmesi için en önemli aşama, öğrenme sürecinin doğru bir şekilde tamamlanmasıdır. Öğrenme terimi, ağırlık değerlerinin ayarlanması sürecini temsil etmektedir. Öğrenme süreci boyunca ağırlık hesapladığı çıktı değerleri ile istenilen değerler karşılaştırılarak hata oranı hesaplanmakta ve hata oranı, kabul edilebilir bir seviyeye gelene kadar ağırlık değerleri ayarlanmaya devam etmektedir. Bölüm 4'te değinildiği üzere, öğrenme aşamasının sağlanması amacıyla bir çok algoritma geliştirilmiştir. Bunların arasında en yaygın olarak kullanılan algoritma, çok tabakalı ileri beslemeli geri yayımlı öğrenme algoritmasıdır. Söz konusu algoritmanın yaygın olarak kullanılmasının nedeni, farklı uygulama alanlarında bir çok problemin çözümünde etkin ve öğrenme parametrelerinin değiştirilebildiği esnek bir algoritma olmasıdır (Lippmann; 1987; Hertz et al., 1991; Sietsma and Dow, 1991; Aldrich et al., 1994; Sarle, 1994; Looney, 1996; Lee et al., 2003; Liu et al., 2003).

Bu çalışmada, yapay sinir ağı analizlerinde kullanılan, Alyuda NeuroIntelligence 2.3. programında mevcut olan öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Söz konusu programda, Levenberg-Marquardt, hızlı yayılım (quick propagation), geri yayılım (back propagation), QN (quasi-Newton) ve CGD (conjugate gradient descent) öğrenme algoritmaları yer almaktadır. Levenberg-Marquardt algoritması, ağırlıkların ayarlanması ve öğrenme aşamasının doğru bir şekilde tamamlanmasında yüksek performansa sahip bir algoritmadır. Ancak, az sayıda veri için uygulanabilir olup bağlantı ağırlığının artması durumunda hafıza problemiyle karşılaşmaktadır (Lourakis, 2005). Bu nedenle, Levenberg-Marquardt algoritması kullanılamamış ve diğer dört algoritma ile YSA'nın öğrenme süreci tamamlanmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

9.2.1. Geri yayılım (back propagation) algoritması

Girdi tabakası, gizli tabaka ve çıktı tabakasından oluşan çok tabakalı ağlarda, gizli tabaka ve çıktı tabakasındaki düğümlerde; ağırlık değerleri atanır, ağırlık değerleri ve girdi değerleri çarpılarak toplanır ve toplam değerler, bir fonksiyondan geçerek

çıktı tabakasına iletilir. Hesaplanan değer ile istenilen değer arasındaki farkı temsil eden hata oranı, en düşük değere indirgenene kadar ağırlıklar ayarlanmaya devam eder. Ağırlık ve çıktı değerleri, Eş. 9.3, Eş. 9.4, Eş. 9.5, Eş. 9.6, Eş. 9.7 ve Eş. 9.8’de verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanır.

$$r_m = x_1 w_{1m} + \dots + x_N w_{Nm}, \quad y_m = h(r_m) \quad (\text{Eş. 9.3})$$

$$s_j = y_1 u_{1j} + \dots + y_M u_{Mj}, \quad z_j = g(s_j) \quad (\text{Eş. 9.4})$$

Sigmoidal fonksiyon (f) kullanıldığı durumda çıktı değeri;

$$f(s_j) = 1 / [1 + \exp(s_j)] \text{ 'dir.} \quad (\text{Eş. 9.5})$$

$$\begin{aligned} E(w, u) &= \sum_{(q=1, Q)} |z^{(q)} - t^{(q)}|^2 = \sum_{(q=1, Q)} \sum_{(j=1, J)} (e_j^{(q)})^2 \\ &= \sum_{(q=1, Q)} \sum_{(j=1, J)} (z_j^{(q)} - t_j^{(q)})^2 \\ &= \sum_{(q=1, Q)} \sum_{(j=1, J)} \left[g\left(\sum_{(m=1, M)} y_m^{(q)} u_{mj}\right) - t_j^{(q)} \right]^2 \\ &= \sum_{(q=1, Q)} \sum_{(j=1, J)} \left[g\left(\sum_{(m=1, M)} \left[h\left(\sum_{(n=1, N)} x_n^{(q)} w_{nm}\right) u_{mj}\right] - t_j^{(q)} \right) \right]^2 \quad (\text{Eş.9.6}) \end{aligned}$$

$N(x^{(q)})$ değeri, $t^{(q)}$ değerine eşit ya da yaklaşık eşit olana kadar yeni ağırlık vektörleri (v'), hesaplanır. $E(w, u)$ değerinin en küçük değere indirgendiği tekrarlama sonundaki ağırlık vektörleri [$v=(w, u)$], kabul edilir.

$$v' = v + \Delta v \quad (\text{Eş.9.7})$$

$$\Delta v = -\eta \frac{\partial E}{\partial v} \quad (\text{Eş.9.8})$$

Bu eşitliklerde;

r_m : gizli tabakadaki doğrusal bileşim değeri,

s_j : çıktı tabakasındaki doğrusal bileşim değeri,

x = girdi tabakasındaki çıktı vektörleri ($x_1, \dots, x_N$),

y = gizli tabakadaki çıktı vektörleri ($y_1, \dots, y_M$),

z = çıktı tabakasındaki çıktı vektörleri ($z_1, \dots, z_J$),

t = istenilen (hedef) çıktı vektörleri ($t_1, \dots, t_J$),

Q : örnek sayısı ($q=1, \dots, Q$),

N = girdi tabakasındaki düğüm sayısı ($n_1, \dots, n_N$),

M : gizli tabakadaki düğüm sayısı ($m_1, \dots, m_M$),

J : çıktı tabakasındaki düğüm sayısı ($j_1, \dots, j_J$),

w : gizli tabakadaki ağırlık vektörleri ($w_{11}, \dots, w_{NM}$),

u : çıktı tabakasındaki ağırlık vektörleri ($u_{11}, \dots, u_{MJ}$),

h : gizli tabakadaki dönüşüm fonksiyonu,

g : çıktı tabakasındaki dönüşüm fonksiyonu,

y_m : gizli tabakada h fonksiyonundan geçen r_m değeri,

z_j : çıktı tabakasındaki g fonksiyonundan geçen s_j değeri,

e : çıktı değeri ile istenilen değer arasındaki fark ($e_1, \dots, e_J$),

E : hata oranı,

Δv : ağırlık vektörlerinde artan değişim,

$-\eta$: öğrenme katsayısını temsil etmektedir (Sietsma and Dow, 1991; Looney, 1996).

9.2.2. Hızlı yayılım (quick propagation) algoritması

Temeli, geri yayılım öğrenme algoritmasına dayanan hızlı yayılım (QP) algoritması, Fahlman (1988) tarafından geliştirilmiştir. Ağırlıklar arasında tam bağımsızlık varsayımını kabul eden bu algoritma, belirli sayıda tekrarlamadan sonra ağda ilerleme sağlanamaması durumunda başlangıç ağırlık değerlerini değiştirerek yeniden tekrarlamaya (iterasyon) başlamaktadır. Ağırlık değerlerindeki artışın büyüklüğü, hızlı yayılım katsayısı olarak tanımlanan parametre ile denetlenmektedir. Ağırlık vektörlerindeki artış (Δv_{ps}^r), Eş. 9.9'da verilen eşitlik ile

hesaplanmaktadır (Looney, 1996). Bu eşitlikte, ağırlık vektörü (v_{ps}), w_{nm} ya da u_{mj} 'yi temsil etmekte olup eşitlikte yer alan diğer sembollerin açıklamaları Bölüm 9.2.1'de verilmiştir.

$$\Delta v_{ps}^r = \left\{ \left[\frac{\partial E(q)(v_{ps}^r)}{\partial v_{ps}} \right] / \left[\frac{\partial E(q)(v_{ps}^{r-1})}{\partial v_{ps}} \right] - \left(\frac{\partial E(q)(v_{ps}^r)}{\partial v_{ps}} \right) \right\} \Delta v_{ps}^{r-1} - \eta \left(\frac{\partial E(q)(v_{ps}^r)}{\partial v_{ps}} \right) \quad (\text{Fahlman, 1988}) \quad (\text{Eş. 9.9})$$

9.2.3. QN (quasi-Newton) algoritması

Quasi-Newton öğrenme algoritması, Broyden (1969), Fletcher (1970), Goldfarb (1970) ve Shanno (1970) tarafından geliştirilmiştir. YSA uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bu algoritmanın en önemli sınırlaması, her bir tekrarlama için Hessian matrisinin hesaplanması nedeniyle işlemlerin uzun zaman alması ve hafıza problemiyle karşılaşılmasıdır. Bu sınırlamanın aşılabilmesi amacıyla hesaplanan Hessian matrisini, hafızada tutmayan ve dolayısıyla işlemlerin daha kısa sürede yapılmasını sağlayan algoritmalar geliştirilmiştir (Schoenberg, 2001). Hata oranı ve ağırlık vektörleri, Eş. 9.10, Eş. 9.11, Eş. 9.12 ve Eş. 9.13'de verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu eşitliklerde; " $\nabla E(v^r)$ ", hata oranındaki değişimin ağırlık değerlerindeki değişime oranını, " H ", Hessian matrisini ve " ε ", hata katsayısını temsil etmektedir ve eşitliklerde yer alan diğer sembollerin açıklamaları, Bölüm 9.2.1'de verilmiştir.

$$E(v^{r+1}) = E(v^r) + (\nabla E(v^r))^t (v^{r+1} - v^r) + 1/2 (v^{r+1} - v^r)^t H(v^r) (v^{r+1} - v^r) + \varepsilon \quad (\text{Eş. 9.10})$$

$$H(v_{ps}^r) = \left[\frac{\partial^2 E(v_{ps}^r)}{\partial v_{ps}^2} \right] \quad (\text{Eş. 9.11})$$

$$\nabla E(v^{r+1}) = 0 = \nabla E(v^r) + H(v^r)(v^{r+1} - v^r) \quad (\text{Eş. 9.12})$$

$$v^{r+1} = 0 = v^r - H^{-1}(v^r) \nabla E(v^r) \quad (\text{Looney, 1996}) \quad (\text{Eş. 9.13})$$

9.2.4. CGD (conjugate gradient descent) algoritması

CGD öğrenme algoritması, Hestenes and Stiefel (1952), Polak and Ribiere (1969), Fletcher and Reeves (1964) ve Shanno (1990) tarafından önerilen yöntemleri temel alarak Johansson et al. (1992) tarafından geliştirilmiştir. Oldukça gelişmiş bir öğrenme algoritması olan CGD algoritması, geri yayılım algoritmasına göre daha hızlıdır. Bununla birlikte, daha doğru ve güvenilir sonuçlar vermektedir. Ağırlık ve çıktı değerleri, Eş. 9.14, Eş. 9.15, Eş. 9.16, Eş. 9.17, Eş. 9.18, Eş. 9.19, Eş. 9.20, Eş. 9.21, Eş. 9.22 ve Eş. 9.23'de verilen eşitliklerle hesaplanmaktadır. Bu eşitliklerde; “F”, karesel fonksiyonu ve “ β ”, çıktı değerini temsil etmekte olup eşitlikte yer alan diğer sembollerin açıklamaları Bölüm 9.2.1'de verilmiştir.

$$\left[u^{(r+1)} \right]^t H u^{(r)} = 0 \quad (\text{Eş. 9.14})$$

$$u^{(0)} = -\nabla F(v^{(0)}), \quad u^{(r+1)} = -\nabla F(v^{(r+1)}) + \beta^{(r)} u^{(r)} \quad (\text{Eş. 9.15})$$

$$\left[-\nabla F(v^{(r+1)}) + \beta^{(r)} u^{(r)} \right]^t H u^{(r)} = 0 \quad (\text{Eş. 9.16})$$

$$\beta^{(r)} = \left[-\nabla F(v^{(r+1)}) \right]^t H u^{(r)} / \left[u^{(r)} \right]^t H u^{(r)} \quad (\text{Eş. 9.17})$$

$$v^{(r+1)} = v^{(r)} + \eta^{(r)} u^{(r)} \quad (\text{Eş. 9.18})$$

$$F(v^{(r)} + \eta^{(r)} u^{(r)}) \quad (\text{Eş. 9.19})$$

$$dF(v^{(r)} + \eta^{(r)} u^{(r)}) / d\eta = 0 = \left(\nabla F(v^{(r)} + \eta^{(r)} u^{(r)}) \right)^t u^{(r)} \quad (\text{Eş. 9.20})$$

$$\nabla F(v^{(r+1)}) - \nabla F(v^{(r)}) = H(v^{(r+1)} - v^{(r)}) = H(v^{(r)} + \eta^{(r)} u^{(r)} - v^{(r)}) = \eta^{(r)} H u^{(r)} \quad (\text{Eş. 9.21})$$

$$\eta^{(r)} H u^{(r)} = \nabla F(v^{(r+1)}) - \nabla F(v^{(r)}) \quad (\text{Eş. 9.22})$$

$$\beta^{(r)} = \left[\nabla F(v^{(r+1)}) \right]^t \left[\nabla F(v^{(r+1)}) - \nabla F(v^{(r+1)}) \right] / \left[\nabla F(v^{(r+1)}) - \nabla F(v^{(r)}) \right] \quad (\text{Eş. 9.23})$$

9.3. Gizli Tabaka ve Düğüm Sayısının Belirlenmesi

Yapay sinir ağı sisteminin, sonuçları tahmin etme başarısının yüksek olması ve doğru bir sınıflandırma yapabilmesi için gerekli olan gizli tabaka sayısı ve gizli tabakadaki düğüm sayısının ne kadar olması gerektiği konusu, belirsizlik içermektedir. Genellikle bir veya iki gizli tabaka kullanılarak tasarlanan yapay sinir ağları, problemlerin çözümünde oldukça iyi performans göstermektedir. Gizli tabaka sayısının artması, modelin yanlış tahminde bulunmasına, hesaplama s resinin artmasına ve ezberleme sürecinin gelişmesine neden olabilmektedir. Ezberleme süreci genellikle, ağın eğitilmesi aşamasında kullanılan veri setinin az sayıda gözlem içermesi durumunda gerçekleşmekte ve YSA, genel modeli öğrenmek yerine her bir gözlemi ezberlemektedir. Değişkenlerle ilgili yetersiz sayıda verinin bulunmasının yanı sıra, gizli tabaka ve gizli tabakadaki düğüm sayısına bağlı olan bağlantı ağırlığı sayısı da ezberleme tehlikesinin gerçekleşmesinde etkin bir rol oynamaktadır. Bağlantı ağırlık sayısının artmasına bağlı olarak YSA'nın genelleştirme özelliğinin kaybolması ve ezberleme sürecinin gelişebilmesi nedeniyle YSA tasarımında, bir veya iki gizli tabakanın kullanılması önerilmektedir. Bununla birlikte, yeterli sayıda düğüm içeren, bir gizli tabakaya sahip olan YSA, problemlerin çözümünde yeterli olmakta ve birden fazla gizli tabaka kullanılması, nadir olarak üstünlük sağlamaktadır. İki gizli tabakanın kullanılması, öğrenme hızını bazen arttırabilirken bazen de azaltabilmektedir (Lippmann, 1987; Rumelhart et al., 1986; Baum and Haussler, 1989; Lek and Guegan, 1999; Sietsma and Dow, 1991; Masters, 1993; Kaastra and Boyd, 1996).

Villiers and Barnard (1992), bir veya iki gizli tabakaya sahip YSA'nın öğrenme yeteneği arasında önemli bir farkın olmadığını ve bununla birlikte, bir gizli tabaka kullanılarak tasarlanan YSA'nın daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Araştırmacılar, iki gizli tabakanın kullanılması durumunda öğrenme aşamasının daha fazla zaman aldığını ve başlangıç ağırlık değerlerinden daha çok etkilendiğini saptamışlardır. Baily and Thompsan (1990), bir gizli tabaka içeren üç tabakalı bir YSA'da, gizli tabakadaki düğüm sayısının, girdi tabakasındaki düğüm sayısının % 75'ine eşit olmasını önermişlerdir. Katz (1992), bir gizli tabaka için düğüm sayısının girdi tabakasındaki düğüm sayısının 1.5-3 katı alınmasını önermiştir. Aldrich et al. (1994) tarafından yapılan çalışmada, YSA tasarımında bir gizli tabaka

kullanılmış ve gizli tabakadaki düğüm sayısı, Eş. 9.3'de verilen eşitlik ile belirlenmiştir.

$$N_h = \frac{n}{k(m+p)}, \quad 2 \leq k > 10 \quad (\text{Technical Publications Group, 1991}) \quad (\text{Eş.9.3})$$

Bu eşitlikte;

N_h : gizli tabakadaki düğüm sayısı,

n : veri sayısı,

m : Girdi tabakasındaki düğüm sayısı,

p : Çıktı tabakasındaki düğüm sayısını temsil etmektedir.

Bir adet gizli tabaka kullanılarak tasarlanan YSA'da gizli tabakadaki düğüm sayısı, Kaastra and Boyd (1996) tarafından girdi tabakasındaki düğüm sayısı ile çıktı tabakasındaki düğüm sayısının çarpımının kareköküne eşit sayıda alınması ve Kanellopoulas and Wilkinson (1997) tarafından girdi tabakasındaki düğüm sayısının iki katı alınması önerilmiştir.

Gizli tabakadaki düğüm sayısı, deneme veri seti için doğru sınıflandırma oranları dikkate alınarak da belirlenmektedir. Gizli tabakadaki düğüm sayısının YSA'nın performansına bağlı olarak belirlendiği çalışmalarda, Liu et al. (2003), 19 adet değişken için 12; Lee et al. (2003), 7 adet değişken için 15; Goméz and Kavzoğlu (2005), 9 adet değişken için 28 ve Yeşilnacar and Topal (2005), 19 adet değişken için 13 adet düğüm kullanılarak tasarlanan ağların en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip olduğunu saptamışlardır.

Bu çalışmada, en iyi performansa sahip YSA'nın tasarlanabilmesi amacıyla doğru sınıflandırma oranları dikkate alınmış ve hızlı yayılım (QP), geri yayılım (BP), QN ve CGD öğrenme algoritmaları için bir adet gizli tabaka kullanılarak doğru sınıflandırma oranı en yüksek olan ağ topolojisi belirlenmiştir. Gizli tabakada, "1" ile "50" arasında değişen düğüm sayıları için sınır koşulları dikkate alınarak oluşturulan veri setine ait doğru sınıflandırma sonuçları, hızlı yayılım öğrenme algoritması için Çizelge 9.1'de, geri yayılım öğrenme algoritması için Çizelge

9.2’de, QN öğrenme algoritması için Çizelge 9.3’de ve CGD öğrenme algoritması için Çizelge 9.4’de sunulmaktadır. Ağ topolojisi dikkate alınarak YSA’nın performansı değerlendirildiğinde, hızlı yayılım öğrenme algoritması için 12-28-1, geri yayılım öğrenme algoritması için 12-20-1, QN öğrenme algoritması için 12-49-1 ve CGD öğrenme algoritması için 12-39-1 olarak tasarlanan ağların en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip olduğu saptanmıştır. Gizli tabakada 50’den fazla düğüm içeren YSA’larında ise doğru sınıflandırma oranlarında artış saptanamamakla birlikte, öğrenme hızında da önemli ölçüde azalma meydana gelmiştir.

Ağ tasarımı, iki adet gizli tabaka kullanılması durumunda, yapay sinir ağının performansının belirlenmesi amacıyla gizli tabakalardaki farklı düğüm sayıları için doğru sınıflandırma oranları saptanmıştır. İki adet gizli tabakanın kullanılmasının ağın performansı üzerindeki etkisinin belirlenmesinde, YSA uygulamalarında çok yaygın olarak kullanılan geri yayılım öğrenme algoritması dikkate alınmıştır. YSA’da iki adet gizli tabakanın kullanılması durumunda, 1. gizli tabakadaki düğüm sayısı 2. gizli tabakadaki düğüm sayısından fazla olmalıdır (Kruschke, 1989). Bu nedenle, ağ tasarımı 2. gizli tabakadaki düğüm sayısı, 1. gizli tabakadaki düğüm sayısından az olacak şekilde, farklı düğüm sayıları kullanılarak YSA tasarlanmış ve doğru sınıflandırma oranları saptanmıştır (Çizelge 9.5). Birinci gizli tabakada, “1” ile “30” arasında değişen düğüm sayısına göre, 1. gizli tabakadaki düğüm sayısının, 29 ve 2. gizli tabakadaki düğüm sayısının, 4 olması durumunda YSA’nın en iyi performansa sahip olduğu belirlenmiştir. En yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip olan 12-29-4-1 şeklinde tasarlanan YSA’yı, 12-19-2-1 ağ topolojisine sahip olan YSA takip etmektedir. Geri yayılım algoritması için bir adet gizli tabaka içeren ağ tasarımı (12-20-1), Şekil 9.3’de ve iki adet gizli tabaka içeren ağ tasarımı (12-29-4-1), Şekil 9.4’de verilmektedir.

Çizelge 9.1. Hızlı yayılım algoritması için üç tabakalı YSA'na ait doğru sınıflandırma sonuçları.

Gizli tabakadaki düğüm sayısı	Bağlantı ağırlığı sayısı	Eğitim veri seti için doğru sınıflandırma oranı	Deneme veri seti için doğru sınıflandırma oranı
1	15	0.8006	0.7929
2	29	0.8133	0.8064
3	43	0.8263	0.8269
4	57	0.8267	0.8290
5	71	0.8574	0.8447
6	85	0.8754	0.8725
7	99	0.8857	0.8800
8	113	0.8949	0.8917
9	127	0.8882	0.8799
10	141	0.9092	0.8989
11	155	0.9062	0.9030
12	169	0.9125	0.9052
13	183	0.9115	0.9072
14	197	0.9176	0.9125
15	211	0.9187	0.9116
16	225	0.9088	0.9043
17	239	0.9154	0.9112
18	253	0.9264	0.9181
19	267	0.9212	0.9147
20	281	0.9231	0.9147
21	295	0.9249	0.9143
22	309	0.9246	0.9166
23	323	0.9211	0.9123
24	337	0.9238	0.9176
25	351	0.9217	0.9155
26	365	0.9221	0.9168
27	379	0.9218	0.9105
28	393	0.9346	0.9265
29	407	0.9171	0.9050
30	421	0.9259	0.9184
31	435	0.9206	0.9127
32	449	0.9330	0.9252
33	463	0.9290	0.9193
34	477	0.9237	0.9189
35	491	0.9294	0.9197
36	505	0.9319	0.9166
37	519	0.9221	0.9150
38	533	0.9218	0.9121
39	547	0.9274	0.9164
40	561	0.9254	0.9170
41	575	0.9245	0.9176
42	589	0.9288	0.9192
43	603	0.9283	0.9212
44	617	0.9291	0.9200
45	631	0.9302	0.9171
46	645	0.9271	0.9185
47	659	0.9273	0.9178
48	673	0.9269	0.9178
49	687	0.9223	0.9132
50	701	0.9208	0.9125

Çizelge 9.2. Geri yayılım algoritması için üç tabakalı YSA'na ait doğru sınıflandırma sonuçları.

Gizli tabakadaki düğüm sayısı	Bağlantı ağırlığı sayısı	Eğitim veri seti için doğru sınıflandırma oranı	Deneme veri seti için doğru sınıflandırma oranı
1	15	0.7709	0.7668
2	29	0.8385	0.8361
3	43	0.8600	0.8563
4	57	0.8068	0.8097
5	71	0.8493	0.8487
6	85	0.8685	0.8643
7	99	0.8361	0.8345
8	113	0.8497	0.8375
9	127	0.8414	0.8364
10	141	0.8575	0.8497
11	155	0.8658	0.8539
12	169	0.8687	0.8587
13	183	0.8761	0.8609
14	197	0.9078	0.8949
15	211	0.8754	0.8663
16	225	0.8778	0.8660
17	239	0.8894	0.8799
18	253	0.8816	0.8704
19	267	0.9100	0.8994
20	281	0.9467	0.9311
21	295	0.8821	0.8686
22	309	0.9155	0.9044
23	323	0.8507	0.8395
24	337	0.8910	0.8765
25	351	0.8958	0.8849
26	365	0.8925	0.8801
27	379	0.8949	0.8862
28	393	0.8805	0.8717
29	407	0.8915	0.8781
30	421	0.8915	0.8796
31	435	0.8943	0.8787
32	449	0.8919	0.8811
33	463	0.8904	0.8783
34	477	0.8989	0.8880
35	491	0.9001	0.8932
36	505	0.9073	0.8949
37	519	0.9347	0.9268
38	533	0.8846	0.8727
39	547	0.9087	0.8984
40	561	0.9099	0.8984
41	575	0.9020	0.8895
42	589	0.9063	0.8902
43	603	0.9232	0.9163
44	617	0.9093	0.8964
45	631	0.9100	0.8998
46	645	0.9257	0.9075
47	659	0.9259	0.9131
48	673	0.9274	0.9119
49	687	0.9220	0.9115
50	701	0.9160	0.9054

Çizelge 9.3. QN algoritması için üç tabakalı YSA'na ait doğru sınıflandırma sonuçları.

Gizli tabakadaki düğüm sayısı	Bağlantı ağırlığı sayısı	Eğitim veri seti için doğru sınıflandırma oranı	Deneme veri seti için doğru sınıflandırma oranı
1	15	0.8013	0.7929
2	29	0.8122	0.8047
3	43	0.8611	0.8572
4	57	0.8432	0.8350
5	71	0.8970	0.8943
6	85	0.9000	0.8944
7	99	0.8967	0.8900
8	113	0.9092	0.8963
9	127	0.9120	0.9038
10	141	0.9214	0.9141
11	155	0.9267	0.9211
12	169	0.9196	0.9147
13	183	0.9247	0.9213
14	197	0.9449	0.9389
15	211	0.9324	0.9291
16	225	0.9449	0.9479
17	239	0.9312	0.9238
18	253	0.9354	0.9300
19	267	0.9453	0.9334
20	281	0.9572	0.9520
21	295	0.9436	0.9354
22	309	0.9531	0.9486
23	323	0.9542	0.9458
24	337	0.9549	0.9456
25	351	0.9560	0.9466
26	365	0.9580	0.9516
27	379	0.9635	0.9632
28	393	0.9547	0.9472
29	407	0.9656	0.9572
30	421	0.9602	0.9534
31	435	0.9672	0.9612
32	449	0.9590	0.9505
33	463	0.9685	0.9601
34	477	0.9698	0.9583
35	491	0.9639	0.9513
36	505	0.9719	0.9641
37	519	0.9744	0.9614
38	533	0.9737	0.9643
39	547	0.9813	0.9706
40	561	0.9718	0.9613
41	575	0.9714	0.9572
42	589	0.9790	0.9675
43	603	0.9779	0.9671
44	617	0.9763	0.9637
45	631	0.9808	0.9699
46	645	0.9828	0.9701
47	659	0.9729	0.9626
48	673	0.9774	0.9658
49	687	0.9832	0.9729
50	701	0.9825	0.9678

Çizelge 9.4. CGD algoritması için üç tabakalı YSA'na ait doğru sınıflandırma sonuçları.

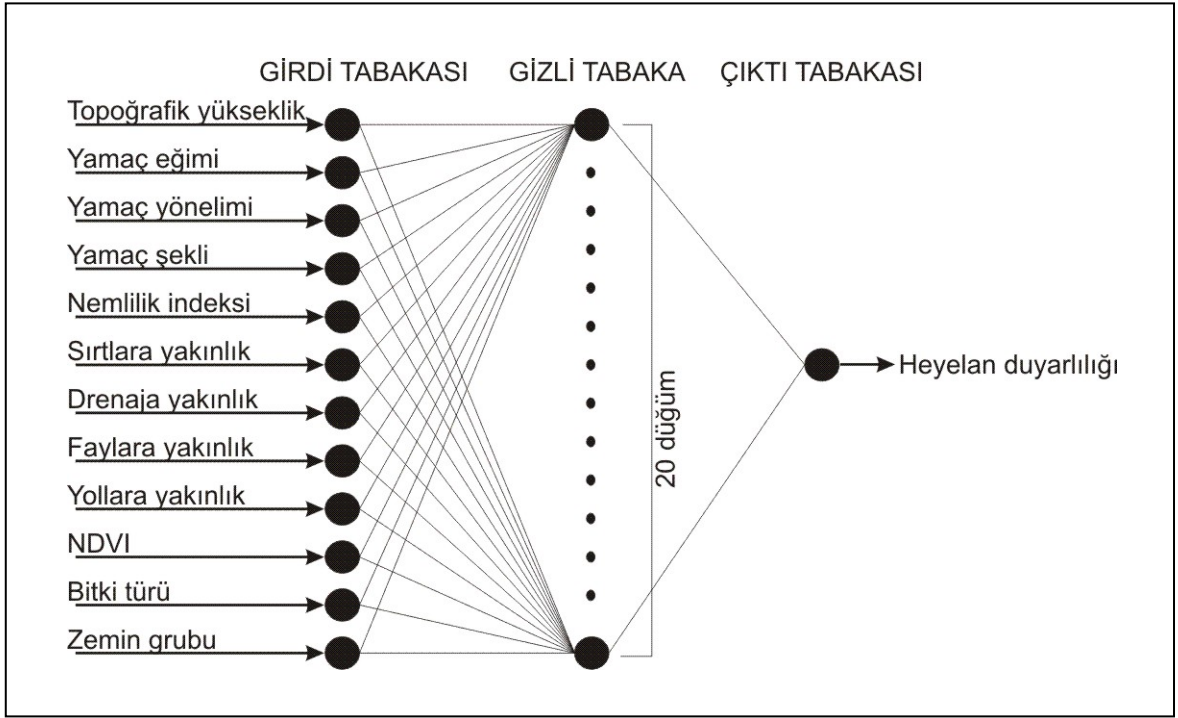
Gizli tabakadaki düğüm sayısı	Bağlantı ağırlığı sayısı	Eğitim veri seti için doğru sınıflandırma oranı	Deneme veri seti için doğru sınıflandırma oranı
1	15	0.8038	0.8027
2	29	0.8172	0.8165
3	43	0.8226	0.8162
4	57	0.8259	0.8277
5	71	0.8604	0.8577
6	85	0.8763	0.8753
7	99	0.8989	0.8963
8	113	0.8985	0.8954
9	127	0.9088	0.9014
10	141	0.9057	0.9004
11	155	0.9075	0.9063
12	169	0.9198	0.9161
13	183	0.9175	0.9087
14	197	0.9257	0.9176
15	211	0.9210	0.9178
16	225	0.9312	0.9204
17	239	0.9308	0.9239
18	253	0.9029	0.9001
19	267	0.9415	0.9331
20	281	0.9355	0.9242
21	295	0.9284	0.9208
22	309	0.9102	0.9025
23	323	0.9370	0.9267
24	337	0.9346	0.9285
25	351	0.9050	0.8988
26	365	0.9410	0.9341
27	379	0.9289	0.9264
28	393	0.9402	0.9284
29	407	0.9450	0.9385
30	421	0.9364	0.9311
31	435	0.9400	0.9305
32	449	0.9523	0.9412
33	463	0.9493	0.9360
34	477	0.9437	0.9349
35	491	0.9418	0.9332
36	505	0.9340	0.9207
37	519	0.9275	0.9195
38	533	0.9458	0.9348
39	547	0.9536	0.9429
40	561	0.9340	0.9291
41	575	0.9316	0.9225
42	589	0.9458	0.9366
43	603	0.9183	0.9095
44	617	0.9390	0.9298
45	631	0.9458	0.9341
46	645	0.9221	0.9150
47	659	0.9434	0.9319
48	673	0.9475	0.9413
49	687	0.9477	0.9385
50	701	0.9519	0.9414

Çizelge 9.5. Geri yayılım algoritması için dört tabakalı YSA'na ait doğru sınıflandırma sonuçları.

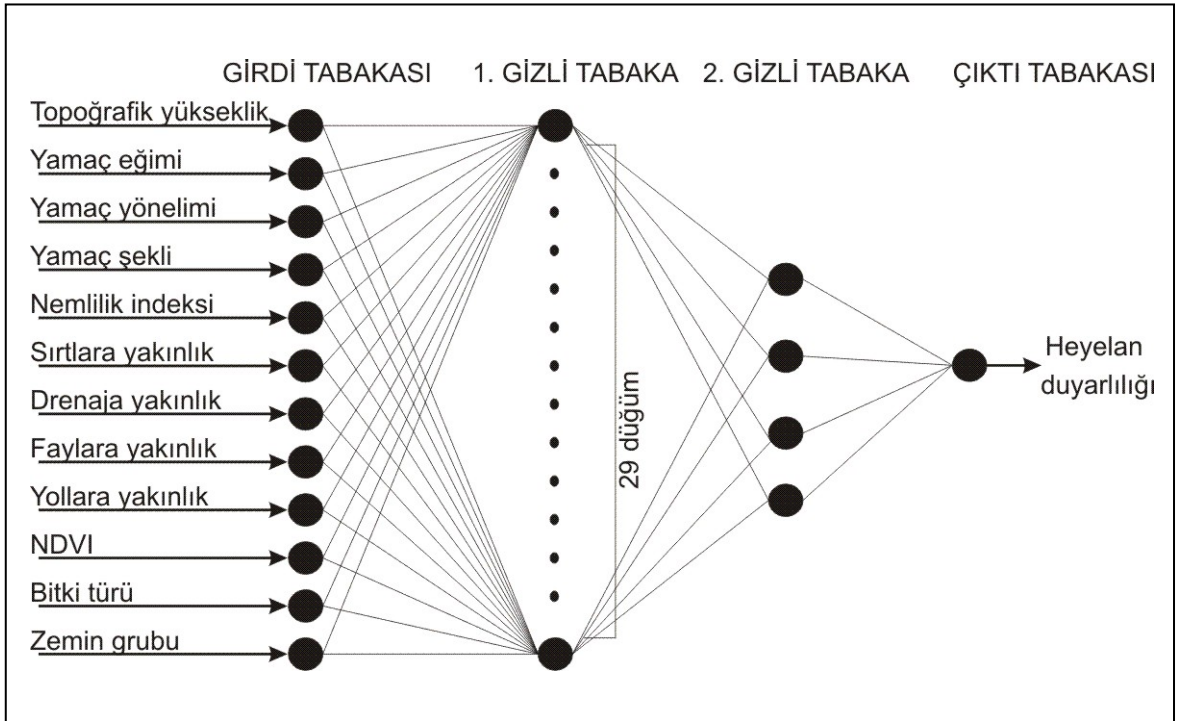
İKİNCİ GİZLİ TABAKADAKİ DÜĞÜM SAYISI															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1															
2	0.7585														
3	0.7580	0.7696													
4	0.7174	0.7467	0.8139												
5	0.7654	0.8127	0.7879	0.7920											
6	0.7589	0.7633	0.7455	0.7774	0.7904										
7	0.8196	0.7747	0.7678	0.8011	0.8135	0.7945									
8	0.7966	0.8006	0.8034	0.7927	0.7626	0.7957	0.7933								
9	0.8210	0.7649	0.7585	0.7783	0.8191	0.7814	0.7853	0.7820							
10	0.8149	0.7995	0.7507	0.8102	0.7703	0.8072	0.7981	0.7738	0.8406						
11	0.7786	0.8167	0.8250	0.7668	0.8010	0.8230	0.7858	0.8145	0.8190	0.8212					
12	0.8529	0.8243	0.7842	0.8440	0.8263	0.8573	0.7791	0.8091	0.8296	0.8220	0.7802				
13	0.8066	0.8301	0.8245	0.8178	0.8149	0.8111	0.8137	0.8131	0.7969	0.8162	0.8022	0.7930			
14	0.8263	0.8055	0.8553	0.8487	0.8310	0.8479	0.8176	0.8222	0.7949	0.8124	0.8319	0.8124	0.8420		
15	0.8371	0.8261	0.8174	0.8116	0.7815	0.8240	0.8576	0.8205	0.8007	0.8058	0.7941	0.7986	0.8294	0.8271	
16	0.8266	0.7638	0.8006	0.8008	0.8397	0.8201	0.8217	0.8214	0.8099	0.8175	0.8191	0.8394	0.8263	0.8044	0.8200
17	0.8604	0.8735	0.7914	0.8448	0.8331	0.7886	0.8113	0.8256	0.8006	0.8241	0.8272	0.8354	0.8042	0.7947	0.8105
18	0.7869	0.8539	0.8198	0.8506	0.8084	0.8198	0.8134	0.7831	0.8401	0.8387	0.8444	0.8321	0.8309	0.8103	0.8199
19	0.8572	0.9026	0.8464	0.8254	0.8184	0.8687	0.8093	0.8213	0.8265	0.8088	0.8345	0.8211	0.8183	0.8093	0.8256
20	0.7740	0.7564	0.8618	0.8165	0.8584	0.8148	0.8121	0.8664	0.8751	0.8156	0.8498	0.8059	0.8053	0.8402	0.8248
21	0.8752	0.8019	0.8209	0.8252	0.8170	0.8413	0.8375	0.7919	0.7977	0.8573	0.8325	0.8547	0.8315	0.8313	0.8234
22	0.7944	0.8658	0.8843	0.8428	0.8346	0.8479	0.8434	0.8205	0.8449	0.8284	0.8311	0.8246	0.8524	0.8287	0.8119
23	0.8714	0.8799	0.8272	0.8366	0.8540	0.8251	0.8246	0.8611	0.7999	0.8611	0.8154	0.8471	0.8465	0.8358	0.8172
24	0.8117	0.8555	0.8978	0.7787	0.8481	0.8277	0.8437	0.8489	0.8179	0.8289	0.8338	0.8276	0.8313	0.8420	0.8394
25	0.8687	0.8873	0.8199	0.8117	0.8551	0.8205	0.8188	0.8507	0.8214	0.8358	0.8506	0.8276	0.8253	0.8480	0.8799
26	0.8579	0.8887	0.8580	0.8255	0.8585	0.8789	0.8468	0.8331	0.8377	0.8329	0.8573	0.8470	0.8432	0.8307	0.8667
27	0.8752	0.8479	0.8521	0.8491	0.8542	0.8411	0.8356	0.8363	0.8581	0.8693	0.8266	0.8453	0.8823	0.8336	0.8642
28	0.8767	0.8044	0.8542	0.8530	0.8394	0.8850	0.8857	0.8421	0.8632	0.8388	0.8669	0.8440	0.8531	0.8542	0.8735
29	0.8606	0.8449	0.8826	0.9167	0.8636	0.8417	0.8177	0.8628	0.8506	0.8234	0.8763	0.8355	0.8515	0.8263	0.8271
30	0.8988	0.8224	0.8510	0.8462	0.8988	0.8782	0.8444	0.8602	0.8351	0.8758	0.8297	0.8498	0.8481	0.8678	0.8400
BİRİNCİ GİZLİ TABAKADAKİ DÜĞÜM SAYISI															

Çizelge 9.5. (Devam ediyor).

İKİNCİ GİZLİ TABAKADAKİ DÜĞÜM SAYISI																BİRİNCİ GİZLİ TABAKADAKİ DÜĞÜM SAYISI													
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29															
17	0.7937																												
18	0.8019	0.8177																											
19	0.8076	0.8288	0.8157																										
20	0.8164	0.8418	0.8310	0.8139																									
21	0.8248	0.8386	0.8180	0.8178	0.8242																								
22	0.8182	0.8393	0.8426	0.8276	0.8395	0.8501																							
23	0.8365	0.8182	0.8290	0.8175	0.8168	0.8184	0.8491																						
24	0.8310	0.8263	0.8487	0.8189	0.8265	0.8756	0.8308	0.8364																					
25	0.8340	0.8370	0.8774	0.8149	0.8272	0.8282	0.8401	0.8408	0.8282																				
26	0.8279	0.8177	0.8470	0.8265	0.8363	0.8310	0.8745	0.8228	0.8325	0.8269																			
27	0.8252	0.8556	0.8365	0.8686	0.8444	0.8227	0.8543	0.8514	0.8446	0.8250	0.8343																		
28	0.8072	0.8510	0.8370	0.8509	0.8354	0.8541	0.8437	0.8455	0.8172	0.8390	0.8281	0.8627																	
29	0.8518	0.8687	0.8651	0.8720	0.8421	0.8266	0.8355	0.8563	0.8279	0.8392	0.8355	0.8553	0.8400																
30	0.8196	0.8525	0.8253	0.8304	0.8560	0.8180	0.8436	0.8603	0.8484	0.8482	0.8545	0.8404	0.8212	0.8772															



Şekil 9.3. Geri yayılım öğrenme algoritması için en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip üç tabakalı ağ tasarımı.



Şekil 9.4. Geri yayılım öğrenme algoritması için en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip dört tabakalı ağ tasarımı.

9.4. Dönüşüm Fonksiyonları

Dönüşüm fonksiyonları, yapay sinir ağındaki işlem elemanlarında, girdi değerinden çıktı değerinin hesaplanmasında kullanılan matematiksel eşitliklerdir. YSA'da, doğrusal, eşik değer, sinüs, hiperbolik tanjansiyel, arc tanjansiyel ve sigmoidal (lojistik) gibi bir çok dönüşüm fonksiyonu kullanılmaktadır. Dönüşüm fonksiyonu, çözülecek probleme göre değişiklik gösterdiğinden hangi dönüşüm fonksiyonunun daha etkin olacağı konusunda kesin bir öneri getirilememektedir. Ancak, son yıllarda, YSA yöntemi kullanılarak yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunda, sigmoidal fonksiyon kullanılmaktadır. Çok tabakalı ağlarda, farklı tabakalar için farklı dönüşüm fonksiyonları kullanılabilirle birlikte, aynı dönüşüm fonksiyonunun kullanılması önerilmektedir (Lee et al., 2003; Liu et al., 2003; Kaastra and Boyd; 1996).

Klimasauskas (1993), öğrenme sürecinin, ağı eğitilmesi aşamasında kullanılan veri setinin genel dağılımı dikkate alınarak gerçekleşmesi istenildiği durumda, sigmoidal dönüşüm fonksiyonunun, ortalamadan sapmaların dikkate alınması istenildiği durumlarda ise hiperbolik tanjansiyel fonksiyonun kullanılmasını önermiştir. Aldrich et al. (1994) tarafından yapılan çalışmada, hiperbolik tanjansiyel ve sigmoidal dönüşüm fonksiyonlarının, doğrusal ve sinüs fonksiyonlarına göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Kaastra and Boyd (1996), doğrusal dönüşüm fonksiyonunun, YSA kullanılarak yapılan haritalama ve sınıflandırmaya yönelik çalışmalar için uygun olmadığını belirtmişlerdir. Sarle (1994) ve Lek and Guegan (1999), veri sayısının ve gizli tabakadaki düğüm sayısının, ağı öğrenme aşamasının tamamlanması için yeterli olduğu durumda herhangi bir dönüşüm fonksiyonu kullanılarak, istenilen doğruluk derecesine ulaşılabildiğine dikkat çekmişlerdir.

Bu çalışmada, doğrusal ($f(x)=x$), sigmoidal ($f(x)=\frac{1}{1+e^{-x}}$) ve hiperbolik

tanjansiyel ($f(x)=\tanh(x)$) dönüşüm fonksiyonları kullanılmış ve söz konusu fonksiyonların, doğru sınıflandırma sonuçları üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Dört adet öğrenme algoritması için dönüşüm fonksiyonlarının etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan analizlerde, en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip ağ

topolojileri dikkate alınmıştır. Hızlı yayılım, geri yayılım, QN ve CGD öğrenme algoritmalarının tamamında, sigmoidal ve hiperbolik tanjansiyel dönüşüm fonksiyonunun, doğrusal dönüşüm fonksiyonuna göre daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, sigmoidal dönüşüm fonksiyonun kullanılması durumunda YSA'nın, en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip olduğu saptanmıştır (Çizelge 9.6). YSA'da; girdi tabakası, gizli tabaka ve çıktı tabakasında, farklı dönüşüm fonksiyonları kullanılabilirle birlikte aynı dönüşüm fonksiyonunun kullanılması önerilmektedir. Ancak, bu çalışmada kullanılan programda, sadece gizli tabakadaki dönüşüm fonksiyonunun değiştirilebilmesi nedeniyle Çizelge 9.6'da verilen sonuçlar, gizli tabakadaki dönüşüm fonksiyonu için doğru sınıflandırma sonuçlarını yansıtmaktadır.

Çizelge 9.6. Farklı dönüşüm fonksiyonları için doğru sınıflandırma sonuçları.

ÖĞRENME ALGORİTMASI	DÖNÜŞÜM FONKSİYONU		
	Doğrusal	Sigmoidal	Hiperbolik tanjansiyel
Hızlı yayılım öğrenme algoritması	0.7713	0.9265	0.9158
Geri yayılım öğrenme algoritması	0.7560	0.9311	0.9094
QN öğrenme algoritması	0.7938	0.9729	0.9722
CGD öğrenme algoritması	0.7750	0.9429	0.9389

9.5. Öğrenme ve Momentum Katsayısı

Öğrenme katsayısı, geri yayımlı yapay sinir ağlarında, ağırlık değerlerindeki değişimi denetleyen bir ağ tasarım parametresidir. Öğrenme katsayısının artması, her bir tekrarlama sonunda ayarlanan ağırlık değerlerindeki değişimin büyük olmasına neden olmakta ve hata oranı, en küçük değere indirgenememektedir. Öğrenme katsayısının çok küçük bir değer seçilmesi durumunda ise en küçük hata değerine ulaşılması, uzun zaman almaktadır. Momentum katsayısı, öğrenme katsayısının arttırılarak, öğrenme sürecinin hızlandırılmasını sağlamaktadır. Ağırlık değerlerindeki değişimi etkileyen ağ tasarım parametrelerinden biri olan momentum katsayısı, her bir tekrarlama için ağırlık değerindeki değişimin, önceki tekrarlama meydana gelen ağırlık değerindeki değişimden hangi ölçüde

etkilendiğini belirlemektedir. Bu katsayının büyük olması, her bir tekrarlama sonunda meydana gelen ağırlık değişiminin, bir önceki tekrarlama meydana gelen ağırlık değişiminden daha fazla etkilenmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte, geri yayımlı YSA'ların genel hata oranını dikkate almasını sağlamakta ve noktasal olarak en küçük hata değerine ulaşıldığında, ağırlık öğrenme aşamasının sona ermesini engellemektedir (Liu et al., 2003; Kaastra and Boyd, 1996; Looney, 1996).

Geri yayımlı yapay sinir ağına performansını etkileyen öğrenme ve momentum katsayısı parametrelerinin seçimi konusunda kesin kurallar bulunmamaktadır. Bununla birlikte, öğrenme katsayısı genellikle, 0.1-0.9 değerleri arasında seçilmektedir (Salchenberger et al., 1992; Yoon and Swales, 1991). Lippmann (1987), öğrenme katsayısının, 0.3 ve momentum katsayısının 0.7 alınmasını önermiştir. Liu et al. (2003) tarafından yapılan çalışmada, öğrenme katsayısı 0.1 ve 0.7 arasında, momentum katsayısı 0.2 ve 0.8 değerleri arasında kullanılarak, bu iki değerin doğru sınıflandırma oranları üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Öğrenme katsayısı, 0.3 ve momentum katsayısı 0.8 değeri seçilerek tasarlanan ağı en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip olduğu saptanmıştır. Gomez and Kavzoğlu (2005) tarafından yapılan çalışmada, öğrenme katsayısı, 0.2 ve momentum katsayısı, 0.6 seçilmiştir. Yeşilnacar and Topal (2005), öğrenme ve momentum katsayısı parametreleri olarak sırasıyla, 0.3-0.8, 0.3-0.85 ve 0.4-0.9 değerlerini kullanmışlardır. Öğrenme katsayısı, 0.3 ve momentum katsayısı, 0.8 alınarak tasarlanan geri yayımlı YSA'nın en iyi performansa sahip olduğunu belirlemişlerdir.

Bu çalışmada, ağ topolojisi, 12-20-1 olarak tasarlanan geri yayımlı çok tabakalı yapay sinir ağı algoritması için 0.1 ve 0.9 değerleri arasında değişen öğrenme katsayısı ve 0.1-0.8 arasında değişen momentum değerleri için doğru sınıflandırma oranları belirlenmiş ve YSA'nın performansı değerlendirilmiştir. Buna göre, en yüksek doğru sınıflandırma oranına; öğrenme katsayısının, 0.1 ve momentum değerinin, 0.6 seçilmesi ile tasarlanan ağı sahip olduğu saptanmıştır. Bunu sırasıyla, öğrenme katsayısı-momentum değeri; 0.1-0.8, 0.3-0.6; 0.2-0.6, 0.1-0.7, 0.3-0.8 ve 0.2-0.8 değerleri kullanılarak tasarlanan YSA'lar takip etmektedir (Çizelge 9.7).

Çizelge 9.7. Geri yayımlı YSA için öğrenme katsayısı ve momentum değerlerine göre doğru sınıflandırma sonuçları.

ÖĞRENME KATSAYISI	MOMENTUM							
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0.1	0.8508	0.8876	0.8724	0.8543	0.8848	0.9311	0.9092	0.9150
0.2	0.8724	0.8840	0.8556	0.8714	0.8655	0.9101	0.8724	0.9023
0.3	0.8684	0.8351	0.8719	0.8610	0.8393	0.9108	0.8904	0.9050
0.4	0.8627	0.8624	0.8769	0.8235	0.8533	0.8446	0.8462	0.8296
0.5	0.7875	0.8737	0.8578	0.8008	0.7711	0.7958	0.7830	0.8152
0.6	0.8063	0.8552	0.8450	0.8056	0.8577	0.7889	0.7877	0.8218
0.7	0.8133	0.7932	0.8153	0.8478	0.8044	0.8200	0.7941	0.8235
0.8	0.8577	0.8488	0.8144	0.7766	0.7865	0.7876	0.7987	0.7721
0.9	0.8145	0.8104	0.7848	0.8285	0.8059	0.8226	0.7798	0.7879

9.6. Başlangıç Ağırlık Değerleri

Yapay sinir ağı sistemindeki işlem elemanları arasındaki bağlantılarla ilişkili olan sayısal değerler, “ağırlık değeri” olarak tanımlanmakta ve bu değerler öğrenme süreci boyunca değiştirilerek ayarlanmaktadır. YSA’nın performansını doğrudan etkileyen ağırlık değerlerinin ayarlanmaya başladığı ilk değer ya da değer aralıkları ise başlangıç ağırlık değeri olarak tanımlanmaktadır. Başlangıç ağırlık değerlerinin belirlenmesinde genel olarak iki yaklaşım kullanılmaktadır. Birinci yaklaşım, söz konusu değerlerin gelişigüzel seçilmesidir. İkinci yaklaşım ise gelişigüzel seçilen değerlere göre öğrenme aşamasının istenilen doğruluk ve güvenilirlik oranında tamamlanamaması durumunda farklı başlangıç değerlerinin kullanılmasıdır (Looney, 1996). Fahlman (1988), başlangıç ağırlık değerlerinin “0.5”, “1” veya “2” değerleri arasında seçilmesinin, sonuçlar üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını saptamıştır. Nguyen and Widrow (1990), Li et al. (1993) ve Schmidt et al. (1993), başlangıç ağırlık değerlerinin, YSA’nın performansında etkin olan en önemli parametrelerden biri olduğunu belirtmişlerdir. Başlangıç ağırlık değerlerinin, Rumelhart et al. (1986), “-0.3/0.3”, Sietsma and Dow (1991) ve Yeşilnacar and Topal (2005), “-0.5/0.5” ve Gomez and Kavzoğlu (2005), “-0.25/0.25” aralığında gelişigüzel seçilmesini önermişlerdir.

Bu çalışmada, en yüksek performansa sahip YSA'nın tasarlanabilmesi ve kullanılan dört öğrenme algoritması için başlangıç ağırlık değerlerinin etkisinin belirlenmesi amacıyla söz konusu değerler; "-0.25/0.25", "-0.3/0.3" ve "-0.5/0.5" aralığında gelişigüzel seçilerek doğru sınıflandırma sonuçları saptanmıştır. Hızlı yayılım, geri yayılım ve QN öğrenme algoritmaları için "-0.5/0.5" ve CGD öğrenme algoritması için "-0.25/0.25" başlangıç ağırlık değerlerine sahip YSA'ların, en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Başlangıç ağırlık değerleri, doğru sınıflandırma oranlarını önemli ölçüde etkilememekle birlikte CGD (conjugate gradient) öğrenme algoritması, başlangıç ağırlık değerlerinden daha fazla etkilenmektedir (Çizelge 9.8).

Çizelge 9.8. Öğrenme algoritması ve başlangıç ağırlık değerlerine göre doğru sınıflandırma sonuçları.

ÖĞRENME ALGORİTMASI	BAŞLANGIŞ AĞIRLIK DEĞERLERİ		
	"-0.25/0.25"	"-0.3/0.3"	"-0.5/0.5"
Hızlı yayılım öğrenme algoritması	0.9253	0.9265	0.9318
Geri yayılım öğrenme algoritması	0.9309	0.9311	0.9444
QN öğrenme algoritması	0.9726	0.9729	0.9733
CGD öğrenme algoritması	0.9783	0.9429	0.9538

9.7. Tekrarlama Sayısı

Yapay sinir ağının öğrenme aşamasının tamamlanma sürecini, tekrarlama sayısı belirlemektedir. Tekrarlama sayısının belirlenmesinde, genel olarak üç yaklaşım bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar, hata oranı en küçük değere indirgendiği zaman öğrenme aşamasının tamamlanması, ağda ilerlemenin meydana gelmediği zamana (converge) kadar tekrarlama yapılması ve önceden belirlenen tekrarlama sayısında öğrenme sürecinin durdurulmasıdır. Tekrarlama sayısının hata oranı dikkate alınarak belirlenmesi durumunda, YSA'nın öğrenme sürecini doğru bir şekilde tamamlayamaması mümkün olabilmektedir. Bunun nedeni, genel hata oranının en küçük değere indirgenmesi yerine, herhangi bir tekrarlama sonunda hata oranının, söz konusu değere ulaşması durumunda öğrenme sürecinin durmasıdır (Kaastra and Boyd, 1996).

Mendelsohn (1993) ve Deboeck (1994), önceden belirlenen tekrarlamaya sayısından sonra öğrenme sürecinin durdurulmasını, deneme veri seti kullanılarak öğrenmenin doğruluk derecesinin değerlendirilmesini ve istenilen doğruluk oranına ulaşıncaya kadar tekrarlamaya devam edilmesini önermişlerdir. Bu yaklaşım, seçilen veri setinin genel modeli temsil etme yeteneğinin denetlenmesi temeline dayanmaktadır. Masters (1993), YSA'da öğrenme sürecinin ağda ilerleme meydana gelmediği zaman durdurulması gerektiğini belirtmiştir. Bu yaklaşımın üstünlüğü, genel modelin en küçük hata değerine ulaşılmasında daha güvenilir olmasıdır. Deboeck (1994) ve Klaussen and Uhrig (1994), en az 85 ve en fazla 5000 arasındaki tekrarlamaya sonunda genellikle, öğrenme sürecinde ve hata değerindeki değişimde ilerleme meydana gelmediğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, YSA'nın öğrenme sürecinin tamamlanmasında, ilk olarak en küçük hata değerine (0.00000001) ulaşıldığı zaman, tekrarlamaya son verilmesi yaklaşımı denenmiştir. Ancak, analizlerin büyük bir kısmında 50 ile 100 arasında değişen tekrarlamaya sonunda, söz konusu değere ulaşılmış ve deneme veri setine ait doğru sınıflandırma sonuçları değerlendirildiğinde, öğrenme sürecinin tamamlanmadığı saptanmıştır. Bu nedenle, hata değerinde ve doğru sınıflandırma oranında değişimin olmadığı tekrarlamaya sayısı, dikkate alınmıştır. İlerlemenin kaydedilmediği tekrarlamaya sayısı, hızlı yayılım öğrenme algoritması için, 7000; geri yayılım öğrenme algoritması için 40000; QN öğrenme algoritması için 3500 ve CGD öğrenme algoritması için 1600 olarak belirlenmiştir. Tekrarlamaya sayıları farklı olmakla birlikte, QP algoritması dışındaki diğer algoritmalarda, ağda ilerlemenin meydana gelmediği tekrarlamaya, yaklaşık eşit sürede ulaşılmaktadır.

9.8. Heyelan Duyarlılık Haritasının Oluşturulması

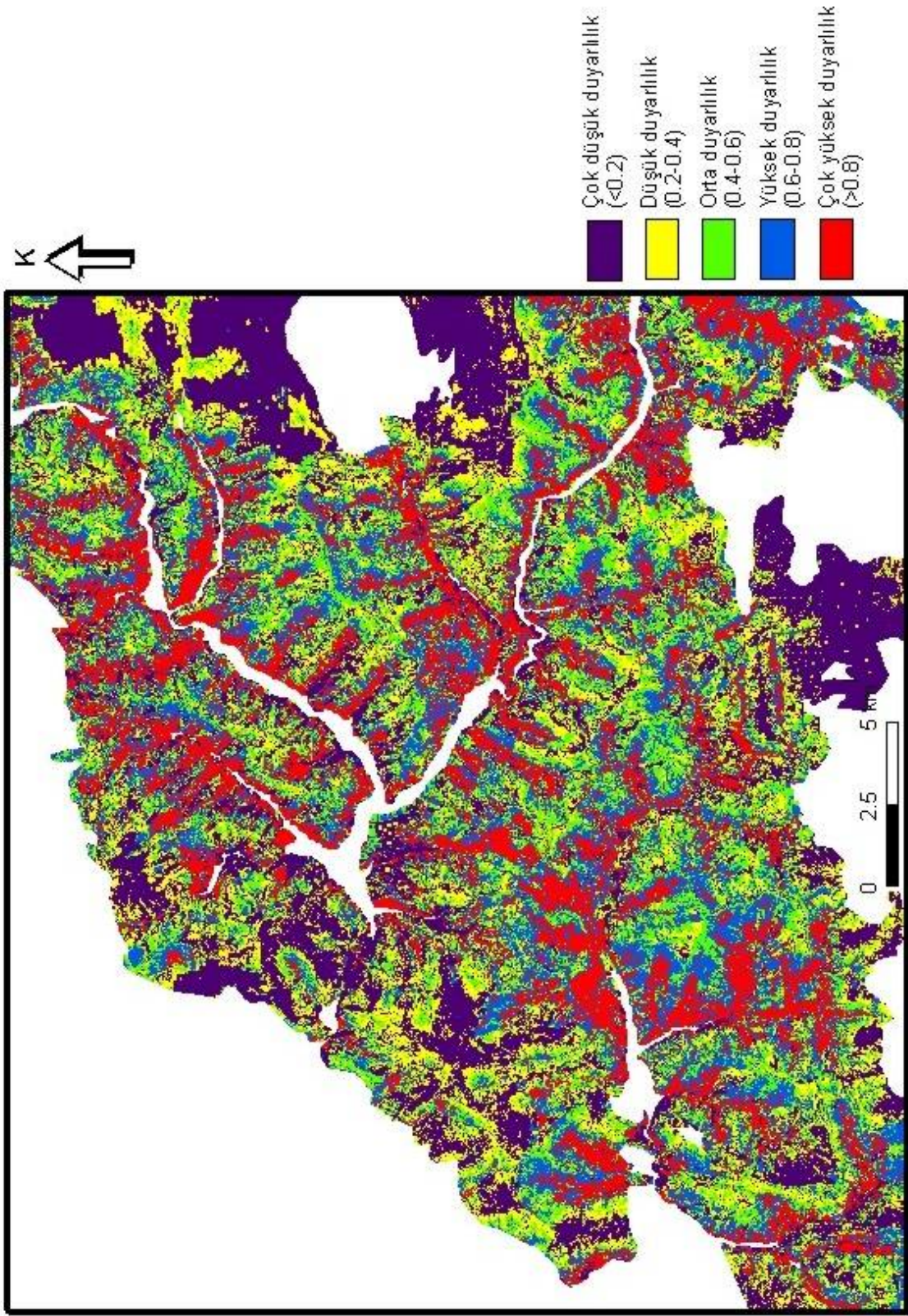
İnceleme alanının heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması amacıyla öğrenme algoritması, gizli tabakadaki düğüm sayısı, başlangıç ağırlık değerleri, dönüşüm fonksiyonları, tekrarlamaya sayısı ve geri yayımlı öğrenme algoritması için öğrenme katsayısı ve momentum değeri gibi tasarım parametreleri dikkate alınarak en iyi performansa sahip ağ tasarımı belirlenmeye çalışılmıştır. Sonraki aşamada, farklı öğrenme algoritmaları için söz konusu tasarım parametreleri kullanılarak doğru sınıflandırma oranları saptanmıştır. Hızlı yayılım öğrenme algoritması için gizli

tabakadaki düğüm sayısı, 28 seçilerek 12-28-1 şeklinde tasarlanan, başlangıç ağırlık değeri, ± 0.5 seçilen ve ağda ilerlemenin meydana gelmediği 7000 tekrarlama sonunda hesaplanan doğru sınıflandırma oranı, % 93.18'dir. Geri yayılım öğrenme algoritması için 12-20-1 olarak tasarlanan, başlangıç ağırlık değeri, ± 0.5 seçilen ve ağda ilerlemenin meydana gelmediği 40000 tekrarlama sonunda hesaplanan doğru sınıflandırma oranı, % 94.44'tür. QN öğrenme algoritması için 12-49-1 olarak tasarlanan, başlangıç ağırlık değeri, ± 0.5 seçilen ve ağda ilerlemenin meydana gelmediği 3500 tekrarlama sonunda hesaplanan doğru sınıflandırma oranı, % 97.33'dür. CGD öğrenme algoritması için 12-39-1 olarak tasarlanan, başlangıç ağırlık değeri, ± 0.25 seçilen ve ağda ilerlemenin meydana gelmediği 1600 tekrarlama sonunda hesaplanan doğru sınıflandırma oranı, % 97.83'dür. Doğru sınıflandırma sonuçları dikkate alındığında, en iyi performansa sahip YSA öğrenme algoritmasının; CGD (conjugate gradient) algoritması olduğu ve bunu sırasıyla; QN (quasi Newton), BP (geri yayılım) ve QP (hızlı yayılım) algoritmalarının takip ettiği belirlenmiştir. Son aşamada, en iyi performansa sahip ağ topolojisi ve tasarım parametreleri kullanılarak dört farklı algoritma ile öğrenme süreci tamamlanmış ve sorgulama aşaması gerçekleştirilmiştir. Aktivasyon fonksiyonu temel alınarak, düşük heyelan duyarlılığını temsil eden "0" ve yüksek heyelan duyarlılığını temsil eden "1" değeri arasında değişen heyelan duyarlılık indeksine göre inceleme alanı; "çok düşük" (0-0.2), "düşük" (0.2-0.4), "orta" (0.4-0.6), "yüksek" (0.6-0.8) ve "çok yüksek" (0.8-1) olmak üzere beş duyarlılık grubunda sınıflandırılmıştır. QP ve BP algoritmalarına göre daha iyi performansa sahip olan QN ve CGD algoritmaları ile YSA'nın öğrenme aşamasının gerçekleştirilmesi durumunda, hesaplanan heyelan duyarlılığını temsil eden değerler; düşük ve yüksek heyelan duyarlılığını temsil eden değerlerde yoğunlaşmıştır. YSA'nın, QN öğrenme algoritması ile eğitilmesi sonucunda oluşturulan heyelan duyarlılık haritasında mevcut heyelanların, % 91'i "çok yüksek heyelan duyarlılığı" sınıfında yer almaktadır. Bu haritaya göre inceleme alanının; % 35'i, "çok yüksek (0.8-1)" ve % 55'i, "çok düşük (0-0.2)" heyelan duyarlılığına sahiptir. YSA'nın, CGD öğrenme algoritması ile eğitilmesi sonucunda oluşturulan heyelan duyarlılık haritasında ise mevcut heyelanların % 80'i, "çok yüksek heyelan duyarlılığı" sınıfında yer almaktadır ve inceleme alanının; % 30'u, "çok yüksek" ve % 58'i, "çok düşük (0-0.2)" heyelan duyarlılığına sahiptir. QN ve CGD öğrenme algoritmaları kullanılarak, öğrenme sürecinin tamamlandığı sistemler, "0" ve "1"

değerleri ile ifade edilen “heyelan yok” ve “heyelan var” şeklinde kesin ve esnek olmayan sonuçlar vermektedir. Çalışma alanının, “heyelana duyarlı” ve “heyelana duyarlı değil” şeklinde sınıflandırılmasında, söz konusu algoritmaların performansı, son derece yüksektir. Ancak, YSA ile üretilen haritaların; istatistiksel analizler ile oluşturulan haritalarla karşılaştırılmasında, aynı temele dayanan sonuç haritaların kullanılması gerektiği düşünülerek, geri yayılım (BP) öğrenme algoritması dikkate alınmıştır. İki adet gizli tabaka kullanılarak, 12-29-4-1 şeklinde tasarlanan dört tabakalı geri yayımlı yapay sinir ağına ait doğru sınıflandırma oranı, üç tabakalı YSA’ya göre daha yüksektir. Ancak, dört tabakalı ve üç tabakalı YSA kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritaları, mevcut heyelanların dağılımı dikkate alınarak karşılaştırıldığında, performansları arasında belirgin bir fark saptanamamıştır.

İleri beslemeli geri yayımlı YSA yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritasına göre inceleme alanının; yaklaşık, % 26’sı çok düşük, % 17’si düşük, % 17’si orta, % 21’i yüksek ve % 19’u çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer almaktadır. Üretilen heyelan duyarlılık haritasının performansının değerlendirilmesi amacıyla mevcut heyelanlar, söz konusu harita ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, heyelanların yaklaşık % 1’inin düşük, % 6’sının orta, % 21’inin yüksek ve % 72’sinin çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer aldığı saptanmıştır (Şekil 9.5).

Heyelanların meydana gelmesinde etkin olan parametrelerin önem derecelerinin belirlenmesi amacıyla her bir parametre sırasıyla, öğrenme aşaması için hazırlanan veri setinden çıkartılmış, bilinen ve kestirilen sonuçlar dikkate alınarak doğru sınıflandırma oranları hesaplanmıştır. Buna göre, heyelan oluşumunda en etkin olan parametre bitki türü olup bunu sırasıyla; topoğrafik yükseklik, zemin grubu, drenaja yakınlık, yamaç eğim yönü, NDVI, yamaç eğimi, topoğrafik nemlilik indeksi, yollara yakınlık, yamaç şekli, faylara yakınlık ve sırtlara yakınlık takip etmektedir. Drenaja yakınlık ve yamaç eğim yönünün, istatistiksel yöntemlerle yapılan analiz sonuçlarına göre daha etkin bulunmasının, YSA yönteminin, veri gruplarındaki ince ayrıntıları tanımlayabilme ve değerlendirebilme yeteneğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 9.5. Yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritası.

Şekil 9.5’de sunulan heyelan duyarlılık haritası; yapay sinir ağının öğrenme sürecinin, sınır koşulları dikkate alınarak oluşturulan veri seti ile gerçekleştirilmesi sonucunda üretilmiştir. Heyelan olmayan alanları temsil eden veri grubunun, inceleme alanında heyelan tespit edilmemiş alanlardan gelişigüzel seçilmesi durumunda oluşturulan haritanın performansının belirlenmesi amacıyla YSA’nın öğrenme aşaması, bu veri seti kullanılarak tamamlanmış ve sorgulama aşaması gerçekleştirilmiştir. Heyelan duyarlılığını temsil eden ve “0” ile “1” değerleri arasında değişen heyelan duyarlılık indeksi dikkate alınarak inceleme alanı; “çok düşük (0-0.2)” ve “çok yüksek (0.8-1)” heyelan duyarlılığı arasında beş duyarlılık grubunda sınıflandırılmıştır. Mevcut heyelanların söz konusu harita ile karşılaştırılması sonucunda; heyelanların yaklaşık % 1 ’inin çok düşük, % 4’ünün düşük, % 9’unun orta, % 37’sinin yüksek ve % 49’unun çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer aldığı saptanmıştır. Oluşturulan haritaya göre inceleme alanının, % 34’ünün çok düşük, % 18’inin düşük, % 18’inin orta, % 19’unun yüksek ve % 11’inin çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

10. HEYELAN DUYARLILIK HARİTALARININ PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Bu bölümde, iki değişkenli istatistiksel analizler (İ.D.İ.A), çok değişkenli istatistiksel analiz (Ç.D.İ.A) yöntemleri olan; faktör analizi (FA), ayırma analizi (AA) ve lojistik regresyon analizi (LRA) ile yapay sinir ağı (YSA) yöntemleri kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının performansları, farklı yaklaşımlar kullanılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca, heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlere ilişkin üstünlükler ile sınırlamalar ve elde edilen sonuçlar, ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

10.1. YSA Yöntemi ve İstatistiksel Analiz Yöntemleri Kullanılarak Oluşturulan Heyelan Duyarlılık Haritalarının Performanslarının Değerlendirilmesi

Heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının değerlendirilmesi için en doğru ve güvenilir yaklaşım; oluşturulan haritaların, gelecekte oluşacak heyelanlar ile karşılaştırılmasıdır. Ancak, bu yaklaşımın uygulanabilir olmaması nedeniyle üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının belirlenmesinde, geçmişte meydana gelen heyelanlar dikkate alınmaktadır. Bu çalışmada da, oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğunun karşılaştırılmasında, arazi çalışmaları sırasında tespit edilen heyelanların, heyelan duyarlılık sınıflarındaki dağılımı temel alınmıştır. Heyelanlı piksellerin, sonuç heyelan duyarlılık haritalarında, “çok yüksek” heyelan duyarlılığı sınıfında gruplandırılması ilkesine dayanarak, haritaların performansı değerlendirilmiştir. Ayrıca, sonuç haritaların karşılaştırılmasında, Süzen and Doyuran (2004b) tarafından önerilen, normalleştirilmiş heyelan dağılım indeksi (N.H.D.İ.) kullanılmıştır. Bu yaklaşımın temeli, duyarlılık sınıflarının kapladığı alanın artmasına paralel olarak heyelan yoğunluğunun da artması nedeniyle, heyelanlı alan yüzdesinin normalleştirilmesi ilkesine dayanmaktadır. Söz konusu indeks değerleri; duyarlılık sınıflarının kapladığı alanın, heyelanlı alana oranı ile hesaplanmaktadır. “Çok yüksek heyelan duyarlılığı” sınıfına ait en küçük N.H.D.İ. değerine sahip olan sonuç haritası, en iyi performansa sahip heyelan duyarlılık haritası olarak kabul edilmektedir. Performans değerlendirmelerinde kullanılan son yaklaşım ise üretilen haritaların piksel bazında karşılaştırılmasıdır.

İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri, faktör analizi, ayırma analizi, lojistik regresyon analizi ve yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarında, duyarlılık sınıflarının kapladığı alanlar, bu alanlar içindeki heyelanların yüzde dağılımı ve N.H.D.İ. değerleri, Çizelge 10.1’de sunulmaktadır. Söz konusu yöntemler kullanılarak oluşturulan haritalarda, heyelanların, % 74’den fazlası, “yüksek” ve “çok yüksek” heyelan duyarlılığı sınıfında yer almaktadır. Bu sonuç, bütün yöntemlerin kabul edilebilir doğruluğa sahip olduğunu göstermektedir. Ancak, Van Westen (1993) tarafından önerilen yaklaşım dışında diğer yöntemler kullanılarak oluşturulan sonuç haritalarına göre, inceleme alanının yaklaşık % 40’ı, “yüksek” ve “çok yüksek” heyelan duyarlılığına sahiptir. Söz konusu yaklaşım kullanılarak oluşturulan haritada ise bu oran, % 60’tır. Bu nedenle, parametre sınıflarının öznel olarak belirlendiği ve Van Westen (1993) tarafından önerilen yaklaşım kullanılarak üretilen harita, değerlendirme dışı bırakılmıştır.

“Çok yüksek heyelan duyarlılığı” sınıfındaki, normalleştirilmiş heyelan dağılım indeksi dikkate alındığında; en yüksek performansa sahip harita, YSA yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritasıdır. Bunu sırasıyla; Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşımı temel alan İ.D.İ.A. yöntemi, lojistik regresyon analizi, faktör analizi, alansal yayılım dikkate alınmayarak sadece heyelan yoğunluğunun temel alındığı, İ.D.İ.A. yöntemi ve ayırma analizi yöntemi kullanılarak oluşturulan haritalar, takip etmektedir. Ancak, N.H.D.İ. değeri dikkate alınarak, üretilen heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının doğru bir şekilde değerlendirilmesi, her zaman mümkün olamamaktadır. Örneğin; veri tabanından gelişigüzel seçilen pikseller kullanılarak, ayırma analizi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasında; inceleme alanının % 2’si, “çok yüksek heyelan duyarlılığı” na sahiptir ve N.H.D.İ. değeri, 0.33’tür. N.H.D.İ. değerinin dikkate alınması, heyelanların sadece % 6’sının, “çok yüksek heyelan duyarlılığı” sınıfında yer aldığı bu haritanın performansının, bir çok yöneme göre daha iyi olduğunu kabul edilmesini gerektirmektedir. Bu nedenle, heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan yöntemlerin performanslarının değerlendirilmesinde, “çok yüksek heyelan duyarlılığı” sınıfındaki heyelan yoğunluğu temel alınmıştır.

Çizelge 10.1. Heyelan duyarlılık haritalarının performanslarının değerlendirilmesi.

Yöntem	Heyelan Duyarlılık Sınıfı	Heyelanlı alan (%)	Alan (%)	N.H.D.İ.
İ.D.İ.A. (Heyelan yoğunluğu)	Çok Düşük Duyarlılık	0.89	11.15	12.5281
	Düşük Duyarlılık	6.16	21.72	3.5260
	Orta Duyarlılık	19.32	25.41	1.3152
	Yüksek Duyarlılık	39.25	25.82	0.6578
	Çok Yüksek Duyarlılık	34.38	15.90	0.4625
İ.D.İ.A. (Van Westen, 1993)	Çok Düşük Duyarlılık	0.00	5.05	-----
	Düşük Duyarlılık	0.38	13.92	36.6316
	Orta Duyarlılık	4.36	22.37	5.1307
	Yüksek Duyarlılık	23.54	29.14	1.2379
	Çok Yüksek Duyarlılık	71.72	29.52	0.4116
İ.D.İ.A (Süzen and Doyuran, 2004a)	Çok Düşük Duyarlılık	0.67	16.44	24.5373
	Düşük Duyarlılık	4.82	22.98	4.7676
	Orta Duyarlılık	17.63	24.36	1.3817
	Yüksek Duyarlılık	34.59	23.64	0.6834
	Çok Yüksek Duyarlılık	42.27	12.57	0.2974
Faktör Analizi	Çok Düşük Duyarlılık	1.33	20.08	15.0977
	Düşük Duyarlılık	5.21	17.26	3.3129
	Orta Duyarlılık	13.45	19.01	1.4134
	Yüksek Duyarlılık	36.06	23.32	0.6467
	Çok Yüksek Duyarlılık	43.95	20.33	0.4626
Ayrırma analizi	Çok düşük duyarlılık	0.50	18.6	37.2000
	Düşük duyarlılık	3.23	17.4	5.3870
	Orta duyarlılık	10.64	14.99	1.4088
	Yüksek duyarlılık	44.01	26.98	0.6130
	Çok yüksek duyarlılık	41.62	22.03	0.5293
Lojistik regresyon analizi	Çok düşük duyarlılık	2.66	33.32	12.5263
	Düşük duyarlılık	4.47	11.44	2.5593
	Orta duyarlılık	11.72	12.79	1.0913
	Yüksek duyarlılık	28.95	18.79	0.6491
	Çok yüksek duyarlılık	52.20	23.66	0.4533
YSA	Çok düşük duyarlılık	0.03	25.90	863.3333
	Düşük duyarlılık	1.16	16.48	14.2069
	Orta duyarlılık	6.26	17.29	2.7620
	Yüksek duyarlılık	21.04	21.43	1.0185
	Çok yüksek duyarlılık	71.51	18.90	0.2643

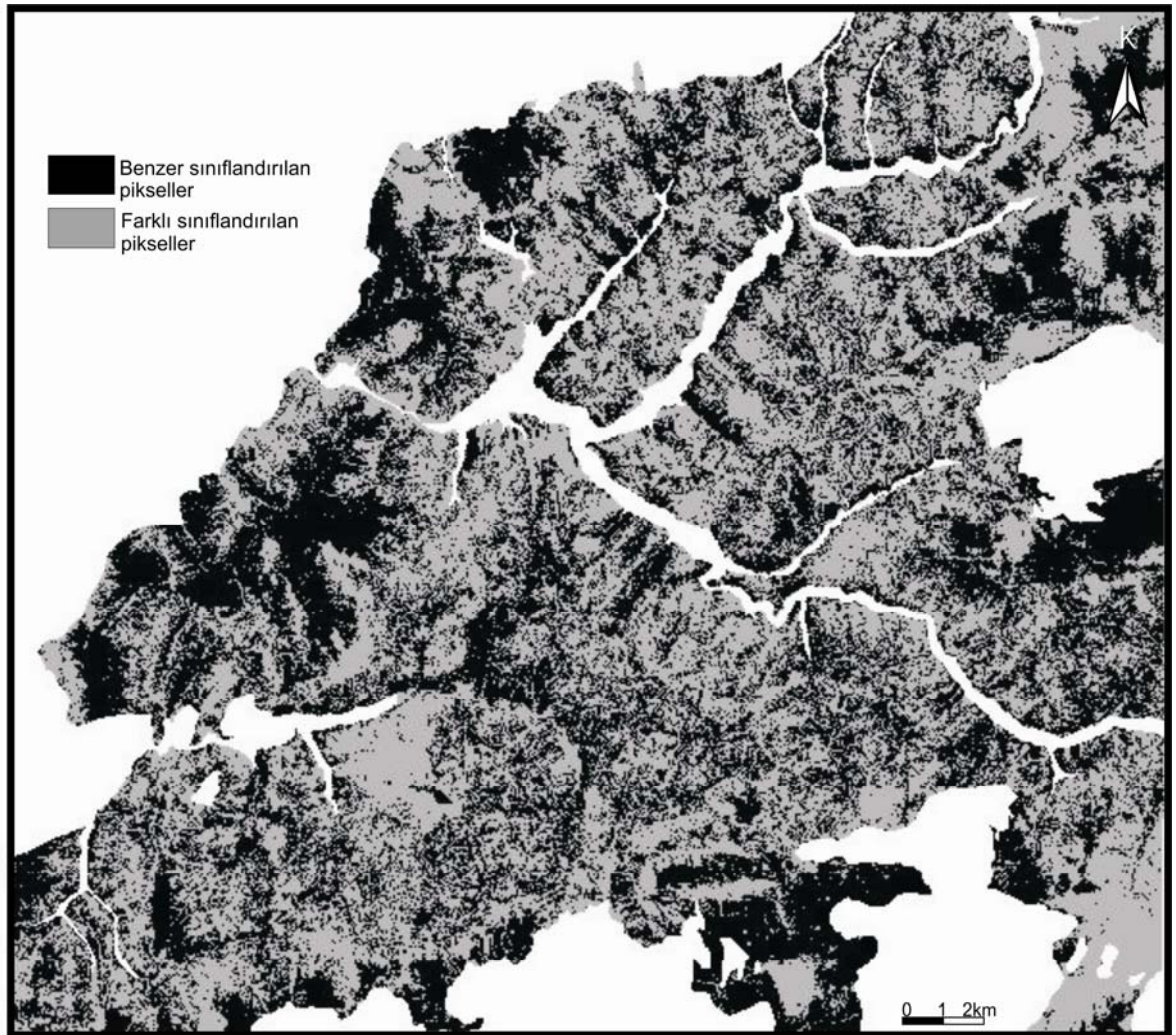
Mevcut heyelanların dağılımı dikkate alındığında, “çok yüksek heyelan duyarlılığı”nı temsil eden alanları en iyi yansıtan harita, yapay sinir ağı yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasıdır. Bunu sırasıyla; lojistik regresyon analizi, faktör analizi, Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşımı temel alan İ.D.İ.A. yöntemi, ayırma analizi ve heyelan yoğunluğunun temel alındığı İ.D.İ.A. yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritaları takip etmektedir.

İ.D.İ.A., Ç.D.İ.A. ve YSA yöntemleri kullanılarak oluşturulan haritaların performanslarının değerlendirilmesi amacıyla söz konusu haritalar karşılaştırılmış ve heyelan duyarlılığı açısından benzerlik veya farklılık gösteren pikseller belirlenmiştir. Üç farklı yaklaşımın kullanıldığı, İ.D.İ.A. yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarından, en iyi performansa sahip olan Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşım ile üretilen harita dikkate alınmıştır. Piksellerin karşılaştırılması için ilk aşamada; duyarlılık sınıfları, çok düşük duyarlılıktan, çok yüksek duyarlılığa kadar “1”, “2”, “3”, “4” ve “5” şeklinde numaralandırılarak yeniden sınıflandırılmıştır. İkinci aşamada; her bir duyarlılık haritası, diğer haritalardan çıkartılmış ve “-1”, “0” ve “1” değerine sahip olan heyelan duyarlılık sınıfları seçilmiştir (Çizelge 10.2). Üretilen heyelan duyarlılık haritalarında, aynı duyarlılık sınıfına (“0”) ya da bir önceki (“-1”) veya bir sonraki (“1”) duyarlılık sınıfına sahip olan pikseller, benzer sınıflandırılan pikseller (BSP) olarak isimlendirilmiştir. İ.D.İ.A., FA, AA, LRA ve YSA yöntemleri ile üretilen haritalarda, benzer heyelan duyarlılığına sahip olan alanlar, inceleme alanının yaklaşık % 50’sini kapsamaktadır (Şekil 10.1). Son aşamada, her bir yöntem için benzer sınıflandırılan pikseller içinde duyarlılık sınıflarının kapladığı alanlar ve bu alanlar içindeki heyelanların yüzde dağılımı hesaplanmıştır (Çizelge 10.3). Benzer sınıflandırılan pikseller içinde, mevcut heyelanların dağılımı dikkate alındığında, “çok yüksek heyelan duyarlılığı”nı temsil eden alanları en iyi yansıtan harita, yapay sinir ağı yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasıdır. Bunu sırasıyla; lojistik regresyon analizi, faktör analizi, Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşımı temel alan İ.D.İ.A. yöntemi ve ayırma analizi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritaları takip etmektedir.

Çizelge 10.2. Benzer sınıflandırılan piksellerin belirlenmesi için kullanılan yaklaşım.

YÖNTEMLER	FA	AA	LRA	YSA
İ.D.İ.A	BSP1 (İ.D.İ.A-FA)	BSP2 BSP1[(İ.D.İ.A-AA)]	BSP3 BSP2[(İ.D.İ.A-LRA)]	BSP4 BSP3[(İ.D.İ.A-YSA)]
FA		BSP5 BSP4[(FA-AA)]	BSP6 BSP5[(FA-LRA)]	BSP7 BSP6[(FA-YSA)]
AA			BSP8 BSP7[(AA-LRA)]	BSP9 BSP8[(AA-YSA)]
LRA				BSP10 BSP9[(LRA-YSA)]

BSP: Benzer sınıflandırılan pikseller.



Şekil 10.1. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarında benzer heyelan duyarlılığına sahip alanlar.

Çizelge 10.3. Benzer sınıflandırılan pikseller içinde duyarlılık sınıflarının kapladığı alanlar ve bu alanlar içindeki heyelanların yüzde dağılımı.

Yöntem	Heyelan duyarlılık sınıfı	Heyelanlı alan (%)	Alan (%)
İ.D.İ.A (Süzen and Doyuran, 2004a)	Çok düşük duyarlılık	0.11	28.37
	Düşük duyarlılık	0.75	20.60
	Orta duyarlılık	5.58	12.35
	Yüksek duyarlılık	37.82	23.35
	Çok yüksek duyarlılık	55.74	15.33
Faktör analizi (FA)	Çok düşük duyarlılık	0.09	30.28
	Düşük duyarlılık	0.71	15.79
	Orta duyarlılık	4.31	12.81
	Yüksek duyarlılık	38.97	21.18
	Çok yüksek duyarlılık	55.93	19.94
Ayırma analizi (AA)	Çok düşük duyarlılık	0.11	30.56
	Düşük duyarlılık	0.47	14.93
	Orta duyarlılık	1.97	8.78
	Yüksek duyarlılık	43.77	23.17
	Çok yüksek duyarlılık	53.69	22.57
Lojistik regresyon analizi (LRA)	Çok düşük duyarlılık	0.11	38.46
	Düşük duyarlılık	0.61	8.67
	Orta duyarlılık	3.10	10.04
	Yüksek duyarlılık	29.13	19.07
	Çok yüksek duyarlılık	67.05	23.77
Yapay sinir ağı (YSA)	Çok düşük duyarlılık	0.00	26.53
	Düşük duyarlılık	0.26	19.57
	Orta duyarlılık	3.30	11.34
	Yüksek duyarlılık	22.16	20.37
	Çok yüksek duyarlılık	74.27	22.19

10.2. TARTIŞMA

Bu çalışmada, iki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde, üç farklı yaklaşım kullanılmıştır. Birinci yaklaşımda; heyelan yoğunluğuna bağlı olarak parametre sınıfları, öznel olarak belirlenmiş ve parametre sınıflarının alansal dağılımı dikkate alınmadan, sadece heyelan yoğunluğu temel alınarak, heyelan duyarlılık indeksi hesaplanmıştır. İkinci yaklaşımda; birinci yaklaşımda öznel olarak belirlenmiş olan parametre sınıfları kullanılmış ve heyelan duyarlılığı indeksi, parametre sınıflarındaki heyelan

yoğunluğu ve alansal dağılımın temel alındığı, Van Westen (1993) tarafından önerilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Üçüncü yaklaşımda; iki değişkenli istatistiksel analizler ile heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde, veri bağımlılığını artırmak ve öznelliği azaltmak amacıyla Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşım kullanılmıştır. Parametre sınıfları, heyelanların kümülatif yüzde dağılımı dikkate alınarak belirlenmiş ve heyelan duyarlılığı indeksi, parametre sınıflarındaki heyelan yoğunluğu ve alansal dağılımın temel alındığı, aynı araştırmacılar tarafından önerilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Heyelan yoğunluğu temel alınarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının, kabul edilebilir doğruluğa sahip olduğu, ancak diğer haritalara göre düşük performans gösterdiği saptanmıştır. Bunun nedeninin, söz konusu yaklaşımın, parametre alt sınıflarının alansal yayılımını dikkate almamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Örneğin; heyelanların % 70'i, sığ toprak zeminlerde ve % 24'ü, orta derin toprak zeminlerde meydana gelmiştir. Heyelan yoğunluğuna bağlı olarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi; sığ toprak zeminlerde, orta derin toprak zeminlere göre oldukça yüksektir. Parametre alt sınıflarının, alansal yayılımının dikkate alındığı diğer iki yaklaşımda ise hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi, orta derin toprak zeminlerde daha yüksektir. Benzer şekilde, çok sığ kök yapısına sahip meşe ağacı ile kaplı alanlarda, alansal dağılımın dikkate alındığı yaklaşımlarla hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi yüksektir. Birinci yaklaşımda ise söz konusu alanların, çalışma alanı içerisindeki yayılımının az olması nedeniyle, heyelan duyarlılık indeksi düşüktür. İ.D.İ.A. yöntemi ile heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde, parametre sınıflarının veri yönetimli olarak belirlendiği, Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşım kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının en yüksek performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Van Westen (1993) tarafından önerilen yaklaşım ile oluşturulan duyarlılık haritasının, diğer yöntemler ile üretilen haritalara göre oldukça farklı olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, öznel olarak belirlenen parametre sınıflarından kaynaklanabileceği düşünülerek söz konusu sınıflar için Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen eşitlik kullanılarak heyelan duyarlılık indeksi yeniden hesaplanmış ve duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Bu haritaya göre, çalışma alanının, % 14'ü çok düşük, % 22'si düşük, % 27'si orta, % 26'sı yüksek ve % 11'i çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir. Mevcut heyelanların, % 42'si çok yüksek, % 38'i yüksek, % 16'sı orta ve % 4'ü çok düşük duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Parametre sınıflarının,

heyelanların kümülatif yüzde dağılımının dikkate alınması veya öznel olarak belirlenmesi ile oluşturulan haritalar, son derece benzerlik göstermektedir. Bu sonuç, 2. yaklaşım ile üretilen duyarlılık haritasının diğer yöntemler kullanılarak oluşturulan haritalardan farklı olmasının, heyelan duyarlılık indeksinin hesaplanmasında kullanılan eşitlikten kaynaklandığını göstermektedir.

İki değişkenli istatistiksel analizler ile heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde; parametre sınıflarının yanı sıra, heyelan duyarlılık sınıflarının belirlenmesi de sonuç haritaların performansını doğrudan etkilemektedir. Hesaplanan duyarlılık indeksinin, kaç grupta ve nasıl sınıflandırılacağına yönelik olarak araştırmacılar arasında bir fikir birliği sağlanamamıştır. Literatürde, heyelan duyarlılık haritaları, ender olarak, “aşırı derecede düşük”, “çok düşük”, “düşük”, “orta”, “yüksek”, “çok yüksek” ve “aşırı derecede yüksek” olmak üzere 7 grupta; “çok düşük”, “düşük”, “yüksek” ve “çok yüksek” olmak üzere 4 grupta ve yaygın bir şekilde, “çok düşük”, “düşük”, “orta”, “yüksek” ve “çok yüksek” olmak üzere 5 grupta sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada, oluşturulan heyelan duyarlılık haritaları, orta heyelan duyarlılığını da temsil eden 5 grupta sınıflandırılmıştır. Bunun nedeni, hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin, çok küçük farklarla düşük ya da yüksek heyelan duyarlılığında sınıflandırılmasını engellemektir. Örneğin; 4 sınıf kullanılması durumunda, heyelan duyarlılık indeksi, 49.99 olan bir birim, “düşük heyelan duyarlılığı” ve 50.01 olan birim ise “yüksek heyelan duyarlılığı” sınıfında yer almaktadır. “Orta duyarlılık” sınıfının kullanılması, bu durumu engellemektedir. İ.D.İ.A. yöntemi ile heyelan duyarlılığının değerlendirilmesindeki en önemli sınırlamalardan biri, heyelan duyarlılığı sınıf aralıklarının belirlenmesidir. Bu çalışmada, sınıf aralıklarının belirlenmesinde, literatürde yaygın olarak kullanılan yaklaşımlar dikkate alınmış ve yeni yaklaşımlar denenmiştir. Heyelan duyarlılık indeksi değerleri; en küçük ve en büyük değer arasında eşit aralıklarda, ortalama ve standart sapma değerleri, frekans dağılım fonksiyonu eğrisinin eşit olasılık değerleri ve Jenks (1967) sınıflamasının temel alındığı, dört farklı yaklaşım kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Heyelan yoğunluğu ve Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşımlar temel alınarak oluşturulan haritalarda, heyelanların çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfındaki dağılımları dikkate alındığında, eşit olasılık değerlerine göre yapılan sınıflamanın, en yüksek performansı gösterdiği belirlenmiştir. Bunu, gösterdikleri performansa göre

sırasıyla, Jenks (1967) sınıflaması, ortalama $\pm$ standart sapma değerleri kullanılarak ve eşit aralıktaki yapılan sınıflamalar takip etmektedir. Van Westen (1993) tarafından önerilen yaklaşım temel alınarak oluşturulan haritada ise en iyi performansı sırasıyla, eşit aralıktaki yapılan sınıflama, Jenks (1967) sınıflaması, eşit olasılık ve ortalama $\pm$ standart sapma değerleri kullanılarak yapılan sınıflama göstermiştir. Eşit aralıktaki yapılan sınıflamaya göre çalışma alanının % 3'ü, düşük ve çok düşük; % 82'si, yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir. Yüksek heyelan duyarlılığı sınıfının çok geniş bir alansal yayılıma sahip olması nedeniyle heyelanların % 99'u, yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfında yer almaktadır. Bu durum, duyarlılık indeksi değerlerinin frekans dağılımının, sağa çarpık olmasından kaynaklanmaktadır. Heyelan yoğunluğu temel alınarak ve Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşım ile üretilen haritalarda, en iyi performansı gösteren, frekans dağılım eğrisinin eşit olasılık değerleri kullanılarak yapılan sınıflamanın en önemli üstünlüğü, sonuç duyarlılık indeksi değerlerine ait istatistiksel dağılımın şekli ile ilgili bir kabullenme yapmamasıdır. Ancak, bu sınıflamanın, duyarlılık sınıflarının kapladığı alanların yaklaşık eşit olması gibi bir sınırlaması bulunmaktadır. Ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak yapılan sınıflamada; istatistiksel dağılımın, normal dağılıma mükemmel derecede uyum gösterdiği kabul edilmektedir. "Ortalama $\pm$ standart sapma değeri" ile yapılan sınıflamanın en önemli sınırlamaları ise, normal dağılım koşulunun her zaman sağlanamaması ve sağlanması durumunda "yüksek" ile "düşük" ve "ok yüksek" ile "ok düşük" heyelan duyarlılığına sahip sınıfların kapladığı alanların eşit olmasıdır. Van Westen (1993) tarafından önerilen yaklaşım kullanılarak hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin frekans dağılımının, normal dağılım koşulunu sağlamaması ve sağa çarpık bir dağılım göstermesi nedeniyle "ortalama $\pm$ standart sapma değeri" ile yapılan sınıflama, en düşük performansı göstermiştir. Normal dağılım koşuluna en fazla uyan, Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşım ile hesaplanan heyelan duyarlılık indeksi değerlerinin sınıflandırılmasında ise "ortalama $\pm$ standart sapma değeri" ile yapılan sınıflama, en iyi performansa sahip Jenks (1967) sınıflaması ile hemen hemen eşit performans göstermiştir. Bu çalışmada, söz konusu sınırlamalar ve oluşturulan haritaların performansı dikkate alınarak heyelan duyarlılık sınıflarının belirlenmesinde, Jenks (1967) sınıflaması temel alınmıştır.

Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri ile heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında; faktör analizi, ayırma analizi ve lojistik regresyon analizi kullanılmıştır. Literatürde, heyelan duyarlılığı değerlendirmelerinde, faktör analizi ve lojistik regresyon analizi, parametrelerin ağırlık değerlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Her bir parametre alt sınıfı için, iki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile heyelan duyarlılık indeksi hesaplandıktan sonra parametre haritaları, faktör veya ayırma analizi ile belirlenen, parametrelerin heyelan oluşumunda etkin olma derecelerini temsil eden ağırlık değerleri ile çarpılarak çakıştırılmaktadır. Söz konusu yöntemlerin bu şekilde kullanılması, parametrelerin ağırlık değerlerinin atanmasında özneliği engellemektedir. Ancak, parametre ve duyarlılık sınıflarının öznel olarak belirlendiği İ.D.İ.A. yöntemleri ile birlikte kullanılması, oluşturulan haritaların öznellik içermesine neden olmaktadır. Bu çalışmada, faktör analizi ve ayırma analizi, özneliği engellemek ve bütünüyle veri yönetimini sağlamak amacıyla, İ.D.İ.A. yöntemlerinden bağımsız olarak kullanılmıştır.

Ç.D.İ.A. ve YSA yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasındaki en önemli aşamalardan biri, analizlerde kullanılacak veri setlerinin oluşturulmasıdır. Çalışılan alandaki heyelanlı ve heyelan olmayan alanları temsil eden kesimlerin seçimi, oluşturulan haritaların performansını doğrudan etkilemektedir. Heyelan olmayan alanların nasıl seçileceği konusu, bu yöntemlerin en önemli sınırlamasıdır. Literatürde, bu alanların seçimi, araştırmacının tecrübesine bağlı olarak ya da veri bağımlılığını azaltmamak amacıyla, gelişigüzel haritalama birimlerinin seçilmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Ancak, araştırmacının tecrübesine bağlı olarak veri seçimi, veri yönetimli Ç.D.İ.A. ile oluşturulan haritaların öznellik içermesine neden olmaktadır. Bu çalışmada, heyelan olmayan alanların seçimi, iki şekilde gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi, inceleme alanındaki heyelanların oluşmasına neden olan parametreler açısından heyelan oluşma koşullarını sağlamayan alanların (sınır koşullarının) dikkate alınmasıdır. Heyelan olmayan alanları temsil eden piksellerin seçilmesinde izlenen ikinci yol ise heyelan envanter veri tabanında “0” değeri atanan alanlardan gelişigüzel piksellerin seçilmesidir. Ç.D.İ.A. ve YSA yöntemleri, her iki şekilde oluşturulan veri setlerine uygulanmış ve sonuç haritaları karşılaştırılmıştır. Gelişigüzel piksellerin seçilmesi ile oluşturulan veri setlerine uygulanan Ç.D.İ.A. sonuçlarına göre, heyelan oluşumu ile heyelan

oluşumunda etkin olan parametreler arasındaki ilişkinin yeterli ölçüde açıklanamadığı belirlenmiştir. Heyelan olmayan alanlardan gelişigüzel seçilen piksellerin, heyelan oluşma koşulunu sağlamayan alanlar olarak tanımlanması durumunda, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin birleşimini temsil eden fonksiyonlar, grup üyeliklerinin belirlenmesinde yetersiz kalmakta ve doğru sınıflandırma oranları azalmaktadır. Bu nedenle, söz konusu yaklaşımla üretilen heyelan duyarlılık haritalarının, sınır koşulları dikkate alınarak belirlenen fonksiyonlar kullanılarak oluşturulan haritalardan daha düşük performans gösterdiği düşünülmektedir. Heyelan olmayan alanları temsil eden grubun, inceleme alanında heyelan tespit edilmemiş alanlardan gelişigüzel seçilmesi durumunda, YSA yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının performansının, Ç.D.İ.A. yöntemleri kullanılarak oluşturulan haritalara göre çok daha yüksek olduğu saptanmıştır. Bunun nedeninin, YSA'nın, hedef değerlere ulaşıncaya kadar ağırlık değerlerini değiştirerek, öğrenebilme yeteneğinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ç.D.İ.A. ve YSA analiz sonuçlarına göre genel bir değerlendirme yapıldığında, zemin grubu, bitki türü, bitki örtüsü yoğunluğu, topoğrafik yükseklik, topoğrafik nemlilik indeksi ve yollara yakınlık, diğer parametrelere göre heyelan oluşumunda daha etkindir. Bu çalışmada, analizlerde kullanılan veri setlerindeki heyelanlı alanlar, heyelan envanter veri tabanında “1” değeri atanmış olan heyelanlı pikselleri temsil etmektedir. Analizlere temel teşkil eden veri setlerindeki heyelanlı pikseller, heyelanların meydana gelmesinden önceki koşulları yansıtmamaktadır. Bu durumun, yamaç şekli ve özellikle yamaç eğimi parametrelerinin, heyelan oluşumundaki etkisinin, diğer parametrelere göre daha düşük çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir.

İ.D.İ.A., Ç.D.İ.A. ve YSA yöntemleri kullanılarak oluşturulan haritalarda, heyelanların, “çok yüksek” heyelan duyarlılığı sınıfında gruplandırılması ilkesine dayanarak haritaların doğruluğu karşılaştırıldığında, YSA yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının, en iyi performansı gösterdiği belirlenmiştir. Bunu sırasıyla; lojistik regresyon analizi, faktör analizi, Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşımı temel alan İ.D.İ.A. yöntemi, ayırma analizi ve heyelan yoğunluğunun temel alındığı İ.D.İ.A. yöntemi kullanılarak oluşturulan

heyelan duyarlılık haritaları, takip etmektedir. Faktör analizi yönteminin, “çok yüksek heyelan duyarlılığı” sınıfındaki heyelan dağılımı dikkate alındığında heyelan duyarlılığını, ayırma analizi yöntemine göre daha iyi yansıttığı belirlenmiştir. Ancak, “yüksek” ve “çok yüksek” heyelan duyarlılığı sınıflarındaki heyelan dağılımı incelendiğinde, faktör analizinin, ayırma analizine göre daha düşük performansa sahip olduğu saptanmıştır. Bunun nedeni; faktör analizinin, kategorik veri kullanımına yönelik sınırlama içermesidir. Diğer yöntemlerde, en etkin parametrelerden biri olarak belirlenen bitki türü, faktör analizinin uygulanması için gerekli olan ortak varyans değerini, kategorik değişken olması nedeniyle sağlayamamıştır. Ayrıca, bu analizde kullanılan veri seti, faktör analizine “orta derecede uygun” olarak belirlenmiştir. Ayırma analizi de, faktör analizi gibi kategorik veri kullanımına ilişkin sınırlama içermektedir. Kategorik veri kullanılması durumunda, ayırma analizi için gerekli olan kovaryans matrislerinin eşit olması varsayımı sağlanamamaktadır. Bu sınırlamanın aşılabilmesi amacıyla, grupların kovaryans matrislerinin farklarını dikkate alan karesel ayırma analizinin kullanılmasının, sonuçları olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir. İki değişkenli istatistiksel analizler, faktör analizi ve ayırma analizi yöntemleri ile oluşturulan haritaların performansının, lojistik regresyon analizi ve YSA yöntemine göre daha düşük olmasının en önemli nedeninin, doğrusal modeli temel almasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İstatistiksel analiz yöntemleri ile karşılaştırıldığında, en yüksek performansa sahip yöntemin, YSA olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeninin, YSA’nın; hedef değerler ile çıktı değerleri arasındaki farkı dikkate alarak ağırlık değerlerinin değiştirildiği öğrenme özelliğine sahip olması, doğrusal olmayan fonksiyonları kullanarak çok karmaşık ilişkilere sahip problemlerin çözümünde bile etkin olması, istatistiksel yöntemlerde kabul edilen varsayımların geçerli olmaması, istatistiksel yöntemlerin ihmal ettiği girdi verisindeki ince ayrıntıları tanımlayabilmesi ve veri türü ile ilgili bir sınırlama içermemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. YSA’nın en önemli sınırlaması ise yeni gelişmekte olan bir yöntem olması nedeniyle, uygulama eksikliğine bağlı olarak ağ tasarımı için kesin kurallar içermemesidir. En iyi performansa sahip YSA’nın tasarlanabilmesi amacıyla yapılan analizler, uzun süren işlemler gerektirmekte ve öğrenme aşamasının tamamlanması, uzun zaman almaktadır.

Oluşturulan haritaların performansları, heyelan türleri dikkate alınarak değeriendirildiğinde, faktör analizi dışında diğeri yöntemlerle oluşturulan haritalarda, dairesel kayma ve toprak akması türündeki heyelanların, duyarlılık sınıfları içindeki dağılımında, belirgin bir fark tespit edilmemiştir. Faktör analizinde ise yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıflarında yer alan heyelanların, % 84'ünün dairesel kayma ve % 64'ünün toprak akması türündeki heyelanlar olduğı saptanmıştır. Faktör analizi ile oluşturulan haritada, yüksek ve çok yüksek duyarlılık sınıfındaki toprak akması türündeki heyelan yoğunluğunun az olmasının nedeninin, dairesel kaymaların drenaja yakın alanlarda yoğunlaşması ve söz konusu parametrenin, en büyük varyansı açıklayan 1. faktör altında ağırlılığının yüksek olmasından kaynaklandığı düşünölmektedir.

11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizde heyelanların sıklıkla geliştiği, Batı Karadeniz Bölgesi'nde seçilen bir alanda gerçekleştirilen, istatistiksel analizler ve yapay sinir ağı yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulması, bu haritaların performanslarının karşılaştırılması ve heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin belirlenmesinin amaçlandığı, doktora tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar ve bunlara bağlı olarak yapılabilecek öneriler, aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

1. Batı Karadeniz Bölgesi'nde, Bartın ilinin güneydoğusundan başlayarak Karabük ilinin kuzeyine kadar devam eden yaklaşık 595 km²'lik bir alanı kapsayan çalışma alanında, arazi çalışmaları ile toplam 280 adet heyelan tespit edilmiştir. Heyelanların, Üst Kretase yaşlı filişin bozunma ürünü olan toprak zeminlerde; % 55'inin dairesel, % 42'sinin toprak akması ve % 3'ünün de toprak kayması türü yenilme şeklinde meydana geldiği belirlenmiştir. İnceleme alanındaki heyelanların büyük bir çoğunluğu; dairesel kayma şeklinde, yamaç eğiminin düşük ve bitki örtüsünün seyrek olduğu alanlarda gelişmiştir. Bu duruma; dik ve yüksek topoğrafyaya sahip yamaçlardan gelen malzemenin, düşük eğimlerde birikmesi ve düşük eğime sahip kesimlerde, yerleşim alanlarının artmasına paralel olarak bitki örtüsü tahribatının, neden olduğu düşünülmektedir. Toprak akması türündeki heyelanların, Üst Kretase yaşlı filişin bozunma ürünü olan toprak zeminlerde, dairesel kaymalara göre daha dik yamaçlarda, toprak kalınlığının az olduğu alanlarda geliştiği belirlenmiştir. Toprak kayması türündeki heyelanların, toprak kalınlığının çok az ve yamaç eğiminin yüksek olduğu kesimlerde, toprak zeminin, topoğrafyaya paralel olarak hareket etmesi şeklinde geliştiği tespit edilmiştir.
2. İnceleme alanındaki heyelanların gelişmesinde etkin olduğu düşünülen ve heyelan duyarlılığı değerlendirmelerine yönelik çalışmalarda literatürde yaygın olarak kullanılan; topoğrafik yükseklik, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yamaç şekli, drenaja ve sırtlara yakınlık, topoğrafik nemlilik indeksi, faylara yakınlık, süreksizlik-yamaç ilişkisi, toprak türü ve derinliği, bitki yoğunluğu indeksi (NDVI), bitki türü ve yollara yakınlık parametreleri dikkate alınmış ve bu

parametreler ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Genel bir değerlendirme yapıldığında; 200-500 m arasında topoğrafik yükseklik değerine, 10^0 - 30^0 arasında yamaç eğimine, 7-10 arasında topoğrafik nemlilik indeksi değerlerine sahip, faylara 2 km'den yakın ve yollara 100 m'den yakın alanlarda, heyelan yoğunluğunun arttığı saptanmıştır. Heyelanların, her eğim yönünde ve hem içbükey hem de dışbükey yamaçlarda, meydana geldiği belirlenmiştir. Ancak, 100^0 - 140^0 ve 260^0 - 280^0 arasında eğim yönüne sahip alanlarda ve içbükey yamaçlarda gelişen heyelan sayısının, nispeten daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Akarsulara ve sırtlara, 200 m'den yakın alanlarda heyelan yoğunluğunun arttığı; genellikle, dairesel kayma türündeki heyelanların, akarsulara yakın ve toprak akması türündeki heyelanların, sırtlara yakın alanlarda geliştiği saptanmıştır. Heyelanların, bitki örtüsü olmayan veya düşük yoğunluğa sahip bitki örtüsü ile kaplı alanlarda yoğunlaştığı belirlenmekle birlikte, yoğun bitki örtüsü ile kaplı alanlarda da heyelanların geliştiği tespit edilmiştir. Bu alanların; küçük gelişme çağı ve düşük kapalılık oranına sahip kayın ağacı, çok sığ kök yapısına sahip meşe ve gürgen ağaçlarıyla kaplı ormanlık alanlar olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, heyelanların büyük bir çoğunluğunun sığ ve orta derin toprak zeminlerde geliştiği saptanmıştır.

3. İki değişkenli istatistiksel analizler, çok değişkenli istatistiksel analizler ve yapay sinir ağı yöntemleri kullanılarak, çalışma alanının heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. İki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde, heyelan yoğunluğu temel alınarak, Van Westen (1993) ve Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen üç farklı yaklaşım kullanılmıştır. İki değişkenli istatistiksel analizler ile heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında; en önemli sınırlamalardan biri, duyarlılık sınıflarının belirlenmesi olup sonuç haritaların performansını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, heyelan duyarlılık indeksi değerleri; en küçük ve en büyük değer arasında eşit aralıklarda, ortalama ve standart sapma değerleri, frekans dağılım fonksiyonu eğrisinin eşit olasılık değerleri ve Jenks (1967) sınıflamasının temel alındığı, dört farklı yaklaşım kullanılarak “çok düşük” ve “çok yüksek” heyelan duyarlılığı arasında 5 grupta sınıflandırılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Jenks (1967) sınıflaması dışındaki diğer yaklaşımların

içerdiği sınırlamalar, her bir yaklaşım için hesaplanan duyarlılık sınıflarının alansal yayılımı ve bu sınıflar içindeki heyelan dağılımı dikkate alınarak, söz konusu sınıflamanın kullanılması önerilmiştir. İ.D.İ.A. yöntemleri ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritalarının performansları değerlendirildiğinde, Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşım kullanılarak oluşturulan haritanın, en yüksek performansa sahip olduğu saptanmıştır. Bu yaklaşım ile üretilen sonuç haritasında; inceleme alanının, % 13'ünün çok yüksek, % 24'ünün yüksek, % 24'ünün orta, % 23'ünün düşük ve % 16'sının çok düşük heyelan duyarlılığına sahip olduğu belirlenmiştir.

4. Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri ile heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında; faktör analizi, ayırma analizi ve lojistik regresyon analizi kullanılmıştır. Faktör analizi sonucunda, yüksek özdeğerlerle temsil edilen ve toplam varyansın yaklaşık % 72'sini açıklayan altı adet faktör elde edilmiştir. Bu faktörler arasında, toplam varyansın en büyük kısmını açıklayan 1. faktöre göre, heyelan oluşumunda en etkin olan parametre, topoğrafik yükseklik olup bunu sırasıyla; drenaja yakınlık, sırtlara yakınlık, yollara yakınlık, zemin grubu, faylara yakınlık, yamaç eğimi, yamaç şekli, NDVI, topoğrafik nemlilik indeksi ve yamaç eğim yönü takip etmektedir. Ancak, 1. faktörün; toplam varyansın, sadece % 17'sini açıklaması nedeniyle bu sonuçların, gerçeği yansıtmayacağı düşünülmektedir. Sonuç haritası ise 6 adet faktör altında yüksek ağırlık değerlerine sahip olan, heyelan oluşumunda etkin olan parametrelerin tamamını temsil etmektedir. Faktör analizi yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritasına göre, inceleme alanının yaklaşık; % 20'si çok düşük, % 17'si düşük, % 19'u orta, % 24'ü yüksek ve % 20'si çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir. Ayırma analizi sonuçlarına göre; heyelan oluşumunda etkin olan en önemli parametre, zemin grubu olup bunu sırasıyla; topoğrafik yükseklik, bitki türü, NDVI, faylara yakınlık, yollara yakınlık, topoğrafik nemlilik indeksi, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, sırtlara yakınlık ve drenaja yakınlık parametreleri takip etmektedir. Ayırma analizi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasına göre inceleme alanının, yaklaşık % 19'u çok düşük, % 17'si düşük, % 15'i orta, % 27'si yüksek ve % 22'si çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer almaktadır. Lojistik regresyon analizi sonuçlarına göre; zemin grubunun heyelanların gelişmesinde en etkin

parametre olduğu ve bunu etkinlik derecesine göre; bitki türü, bitki yoğunluğu indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, yamaç eğimi, topoğrafik yükseklik, yollara yakınlık, yamaç eğim yönü, sırtlara yakınlık ve faylara yakınlık parametrelerinin takip ettiği belirlenmiştir. Lojistik regresyon analizi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasına göre inceleme alanının, yaklaşık % 33'ü çok düşük, % 11'i düşük, % 13'ü orta, % 19'u orta ve % 24'ü çok yüksek heyelan duyarlılığı sınıfında yer almaktadır.

5. Yapay sinir ağı yöntemi ile heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması ve farklı özelliklere sahip ağların kullanılmasının, sonuç haritaları üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla, QP (hızlı yayılım), BP (geri yayılım), QN (quasi-Newton) ve CGD (conjugate gradient) olmak üzere dört farklı öğrenme algoritması kullanılmıştır. Ayrıca, yapay sinir ağının tasarımında kullanılan; tabaka sayısı, düğüm sayısı, öğrenme ve momentum katsayısı, başlangıç ağırlık değerleri, dönüşüm fonksiyonları, tekrarlama sayısı gibi sistemin kestirdiği sonuçları doğrudan etkileyen parametrelerin, sonuçlar üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Gizli tabakada, "1" ile "50" arasında değişen düğüm sayıları için hesaplanan doğru sınıflandırma sonuçlarına göre; QP algoritması için 12-28-1, BP algoritması için 12-20-1, QN algoritması için 12-49-1 ve CGD algoritması için 12-39-1 olarak tasarlanan ağların, en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip olduğu saptanmıştır. Gizli tabakada, 50'den fazla düğüm içeren YSA'larda ise doğru sınıflandırma oranlarında artış saptanamamakla birlikte, öğrenme hızında önemli ölçüde azalma meydana geldiği belirlenmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan BP algoritması için; iki gizli tabaka kullanılması durumunda en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip ağ topolojisinin, 12-29-4-1 şeklinde olduğu belirlenmiştir. Ancak, dört tabakalı YSA'nın kullanılmasının, üretilen heyelan duyarlılık haritasının performansında önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Gizli tabakadaki dönüşüm fonksiyonunun, doğru sınıflandırma sonuçları üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi amacıyla doğrusal, sigmoidal ve hiperbolik tanjansiyel dönüşüm fonksiyonları kullanılmış ve sigmoidal dönüşüm fonksiyonun kullanıldığı YSA'nın, en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip olduğu saptanmıştır. BP öğrenme algoritması için; 0.1-0.9 değerleri arasında değişen öğrenme katsayısı ve 0.1-0.8 arasında değişen momentum değerleri için doğru

sınıflandırma oranları saptanmış ve öğrenme katsayısının, 0.1 ve momentum değerinin, 0.6 seçilmesi ile tasarlanan ağın en iyi performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Farklı başlangıç ağırlık değerleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda, QP, BP ve QN algoritmaları için “-0.5/0.5” ve CGD öğrenme algoritması için “-0.25/0.25” başlangıç ağırlık değerlerine sahip YSA’ların, en yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Başlangıç ağırlık değerlerinden en fazla etkilenen öğrenme algoritmasının, CGD (conjugate gradient) algoritması olduğu saptanmıştır. Her bir öğrenme algoritması için belirlenen en iyi performansa sahip ağ topolojisi ve tasarım parametreleri kullanılarak doğru sınıflandırma oranları, QP öğrenme algoritması için; % 93.18, BP öğrenme algoritması için; % 94.44, QN öğrenme algoritması için; % 97.33 ve CGD öğrenme algoritması için % 97.83 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu dört öğrenme algoritması kullanılarak, YSA yöntemleri ile heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. QP ve BP algoritmalarına göre daha yüksek doğru sınıflandırma oranına sahip olan QN ve CGD algoritmaları ile öğrenme sürecinin tamamlandığı ağların, “0” ve “1” değerleri ile ifade edilen “heyelan yok” ve “heyelan var” şeklinde kesin ve esnek olmayan sonuçlar verdiği saptanmıştır. Bu nedenle, YSA ile heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında, BP algoritması dikkate alınmıştır. İnceleme alanının yaklaşık; % 26’sının çok düşük, % 17’sinin düşük, % 17’sinin orta, % 21’inin yüksek ve % 19’unun çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip olduğu belirlenmiştir. Heyelan oluşumunda en etkin olan parametrenin, bitki türü olduğu ve bunu önem sırasına göre; topoğrafik yükseklik, zemin grubu, drenaja yakınlık, yamaç eğim yönü, NDVI, yamaç eğimi, topoğrafik nemlilik indeksi, yollara yakınlık, yamaç şekli, faylara yakınlık ve sırtlara yakınlık parametrelerinin takip ettiği saptanmıştır.

6. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan yöntemlerin, performanslarının değerlendirilmesinde, arazi çalışmaları sırasında tespit edilen heyelanların, duyarlılık sınıfları içindeki dağılımı, normalleştirilmiş heyelan dağılım indeksi (N.H.D.İ.) ve üretilen haritalarda, heyelan duyarlılık sınıflarının piksel bazında karşılaştırılması yaklaşımları kullanılmıştır. Performans değerlendirmeleri sonucunda, YSA yöntemi ile oluşturulan heyelan duyarlılık haritasının, en iyi performansı gösterdiği belirlenmiştir. Bunu

sırasıyla; lojistik regresyon analizi, faktör analizi, Süzen and Doyuran (2004a) tarafından önerilen yaklaşımı temel alan İ.D.İ.A. yöntemi, ayırma analizi ve heyelan yoğunluğunun temel alındığı İ.D.İ.A. yöntemi kullanılarak oluşturulan heyelan duyarlılık haritaları, takip etmektedir.

7. YSA yönteminin, heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde etkin bir şekilde kullanılabilmesinin, en iyi performansa sahip ağ özelliklerinin belirlendiği çalışma sayısının artması ile mümkün olabileceği düşünülmektedir. YSA yönteminin, diğer yöntemlere göre üstün olduğunun söylenebilmesi için istatistiksel analizlerin yanı sıra, heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde oldukça etkin yöntemler olan, bulanık mantık ve YSA ile bulanık mantık yönteminin birlikte kullanıldığı, hibrit modellerle de karşılaştırılması gerekmektedir.
8. Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasında kullanılan yöntemlerin performansının, doğru ve güvenilir bir şekilde değerlendirilebilmesi için söz konusu haritaların, gelecekte oluşacak heyelanlar ile karşılaştırılması gerekmektedir.

12. YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 2004. Heyelanlar ve kitle hareketleri, Ankara, 15s.
- Aksoy, H., 1978. Karabük –Büyükdüz araştırma ormanındaki orman topluluğu ve bunların sivrikültürel özellikleri üzerine araştırmalar. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İstanbul, 2332, 237 s.
- Akyol, Z., Arpat, E., Erdoğan, B., Göğer, E., Güner, Y., Şaroğlu, F., Şentürk, İ., Tütüncü, K. ve Uysal, Ş., 1974. Cide Kurucaşile dolaylarının jeoloji haritası, MTA, Türkiye Büyük Ölçekli Jeoloji Haritaları Servisi.
- Albayrak, A.S., Eroğlu, A., Kalaycı, Ş., Küçüksille, E., Ak, B., Karaatlı, M., Keskin, H.Ü., Çiçek, E., Kayış, A., Öztürk, E., Antalyalı, Ö.L., Uçar, N., Demirgil, H., İşler, D.B. ve Sungur, O., 2005. SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri. Asil Yayıncılık, Ankara, 426 s.
- Alcantara-Ayala, I., 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47, 107-124.
- Aldrich, C., Van Deventer, J.S.J. and Reuter, M.A., 1994. The application of neural nets in the metallurgical industry. *Minerals Engineering*, 7, 793-809.
- Aleotti, P., Baldelli, P. and Polloni, G., 1996. Landsliding and flooding event triggered by heavy rains in the Tanaro basin (Italy). *Proc. Int. Congr. Interpraevent*, Garmisch-PartenKirchen, 1, 435-446.
- Aleotti, P., Baldelli, P., Polloni, G. and Puma, F., 1998. Keynote paper: Different approaches to landslide hazard assessment. *Proc. of the Second Conf. Environ. Management (ICEM-2)*, Wollongong (Australia), 10-13 Feb. 1998, 1, 3-10.
- Aleotti, P. and Chowdhury, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bull. Eng. Geol. Env.*, 58, 21-44.
- Alexander, D., 1993. *Natural disasters*. UCL Press and Chapman&Hall, New York, 632 p.
- Alexander, D., 1995. A survey of the field of natural hazards and disaster studies. In: A. Carrara and F. Guzzetti (eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 1-19.
- Anbalagan, R., 1992. Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. *Eng. Geol.*, 32, 269-277.
- Anbalagan, R. and Singh, B., 1996. Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains - a case study from Kumaun Himalaya, India. *Eng. Geol.*, 43, 237-246.
- Anşin, R. ve Özkan, Z.C., 1997. Tohumlu bitkiler (Spermatophyta) odunsu taksonlar. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, 167, 19 s.
- Anşin, R., 2001. Tohumlu bitkiler (Gymnospermae) açık tohumlular. *Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, 122, 15 s.

- Arpat, E., Tütüncü, K. ve Uysal, Ş., 1978. Safranbolu yöresinde Kambriyen-Devoniyen istifli Türkiye Jeoloji Kurumu, 32. Bilimsel Teknik Kurultay1, Bildiri Özetleri Kitabı, 67-75.
- Atkinson, P.M. and Massari, R., 1997. Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in the Central Appenines, Italy. *Comp.&Geosci.*, 24 (4), 373-385.
- Ayalew, L. and Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2), 15-31.
- Ayanew, T. and Barbieri, G., 2005. Inventory of landslides and susceptibility mapping in the Dessie area, northern Ethiopia. *Eng. Geol.*, 77(1-2), 1-15.
- Baeza, C. and Corominas, J., 1996. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of statistical techniques. *Proc 7th Int. Symp. on Landslides*, Trondheim, 1, 147-152.
- Baeza, C. and Corominas, J., 2001. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. *Earth Surf. Process. and Landforms*, 26, 1251-1263.
- Baily, D. and Thompson, D.M., 1990. Developing neural networks applications. *AI Expert*, 33-41.
- Baum, E.B. and Haussler, 1989. What size net gives valid generalization? *Neural Computat.*, 6, 151-160.
- Barredo, J.I., Benavides, A., Hervás, J. and Van Westen, C.J., 2000. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Trijana basin, Gran Canaria Island, Spain. *JAG*, 2 (1), 9-23.
- Beatty, C.B., 1956. Landslides and slope exposure (California). *J. Geol.*, 64, 70-74.
- Benediktsson, J.A., Swain, P.H. and Ersoy, O.K., 1990. Neural network approaches versus statistical methods in classification of multisource remote sensing data. *IEEE Transactions on Geosci. Rem. Sens*, 28 (4), 540-551.
- Berggren, B., Fallsvik, J. and Viberg, L., 1992. Mapping and evaluation of landslide risk in Sweeden. *Proc. 6th Int Symp. Landslides*, Christchurch, New Zealand, 2, 873-878.
- Binaghi, E., Luzi, L., Madella, P., Pergalani, F. and Rampini, A., 1998. Slope instability zonation: a comparison between certainty factor and fuzzy Dempster-Shafer approaches. *Nat. Haz.*, 17, 77-97.
- Bonham-Carter, G.F., 1994. *Geographic Information Systems for geoscientists: Modelling with GIS*. Pergamon, Ottawa, 398 p.
- Brabb, E.E., Pompeyan, E.H. and Bonilla, M.G., 1972. Landslide susceptibility in San Mateo County, California, US Geol. Surv. Misc. Field Studies Map, MF-360, scale 1:62.500.
- Brand, E.W., 1988. Special lecture: landslide risk assessment in Hong Kong. *5th International Symposium on Landslides*, Laussane, 2, 1059-1074.
- Broyden, C.G., 1969. A new double-rank minimization. Argonne National Labs Report ANDL-5990.

- Brundsen, D., Doornkamp, J.C., Fookes, P.G., Jones, D.K.C. and Kelly, J.M.H., 1975. Large scale geomorphological mapping and highway engineering design. *J. Eng. Geol.*, 8, 227-253.
- Bughi, S., Aleotti, P., Bruschi, R., Andrei, G., Milani, G. and Scarpelli, G., 1996. Slow movements of slopes interferring with pipelines: modelling vs monitoring. *Proc. 15th Int. Conf. OMAE*, Firenze, June 1996.
- Burnett, A.D., Brand, E.W., Styles, K.A., 1985. Terrain classification mapping for a landslide inventory in Hong Kong. *4th Int. Conf. and Field Workshop on Landslides*, Tokyo, 63-68.
- Caine, N., 1980. The rainfall intensity duration control of shallow landslides and debris flows. *Geogr. Annaler*, 62, 23-27.
- Cancelli, A. and Nova, R., 1985. Landslides in soil debris cover triggered by rainstorm in Valtellina (Central Alps, Italy). *Proc. 4th Int. Conf. on Landslides*, Tokyo, 1, 267-272.
- Carpenter, G.A. and Grossberg, S., 1986. Neural Dynamics of Category Learning and Recognition: Attention Memory Consolidation, and Amnesia. In: J. Davis, R. Newburgh and E. Wegman (Eds.) *Brain Structure, Learning and Memory*, AAAS Symposium Series.
- Carrara, A. and Merenda, L., 1976. Landslide inventory in northern Calabria, southern Italy. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 87, 1153-1162.
- Carrara, A., Catalano, E., Sorriso Valvo, M., Reali, C. and Ossi, I., 1978. Digital Terrain Analyses for land evaluation. *Geologia Applicata Idrogeologia*, 13, 69-127.
- Carrara, A., 1983. Multivariate methods for landslide hazard evaluation. *Math. Geol.*, 15 (3), 403-426.
- Carrara, A., 1988. Landslide hazard mapping by statistical methods: a black box model approach. *Proc. of the Workshop on Natural Disaster in European Mediterranean Countries*, Perugia, Italy. Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. and Reichenbach, P., 1990. Geographical Information System and multivariate models in landslide hazard evaluation. *Proc. of the 6th Int Conf Field Workshop on Landslides*, Switzerland-Austria-Italy, 1, 17-28.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. and Reichenbach, P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surf. Proc. & Landf.*, 16, 427-445.
- Carrara, A. and Guzzetti, F., 1995. Geographical Information Systems in assessing natural hazard. *Selected Contribution from the International Workshop held in Perugia, Advances in Natural Technological Hazard Research Series*, 5, 354 p.
- Chang, S.C., 1991. The Simprecise mapping and evaluation system for engineering geological and landslide hazard zonation. *Proc. 16th Int. Landslide Conf.*, Balkema, Rotterdam, 905-910.
- Choubey, V.D. and Litoria, P.K., 1990. Landslide hazard zonation in the Garhwal Himalaya, a terrain evaluation approach. *6th IAEG Congress*, 1, Balkema, Rotterdam, 65-72.

- Choubey, V.D., Chaudhari, S. and Litoria, P.K., 1991. Landslide hazard zonation in Uttarkashi and Tehri district, U.P. Himalaya, India. Proc. 16th Int. Landslide Conf., Balkema, Rotterdam, 911-917.
- Choubey, V.D., Chaudhari, S., Litoria, P.K., 1992. Landslide hazard zonation in Uttarkashi and Tehri districts, UP Himalaya, India. Proc of the 6th Int. Symp. Landslides, Christchurch, New Zealand, 2, 911-917.
- Chowdhury, R.N., 1976. The mechanism of natural slope failures in the Greater Wollongong Area of New South Wales. Search, Sydney, 7 (9), 396-397.
- Chowdhury, R.N. and Bertoldi, C., 1977. Residual shear strength of soil from two natural slopes. Australian Geomechanics Journal, G7, 1-10.
- Chowdhury, R.N., 1984. Recent developments in landslide studies: probabilistic methods. Proc. of the 4th Int. Symp. on Landslides, Toronto, 1, 209-228.
- Chowdhury, R.N. and Flentje, P.N., 1997. Relevance of mapping for slope stability in Greater Wollongong area, New South Wales, Australia. Proc. Int. Symp. Eng. Geol. & Env., 23-27 June 1997, Athens, Greece, P.G. Marinos, G.C. Koukis, G.C. Tsiambaos and G.C. Stournaras (eds.), Balkema, 569-574.
- Chung, C.F. and Fabbri, A.G., 1995. Multivariate regression analysis for landslide hazard zonation. In: Carrara, A., 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, 48/4, 349-364.
- Cooke, R.U. and Doornkamp, J.C., 1974. Geomorphology in environmental management. Clarendon Press, Oxford, 413 p.
- Cooley, W.W. and Lohnes, P.R., 1971. Multivariate Data Analysis, Wiley, New York, 510p.
- Crozier, M.J., 1992. Landslide hazard assessment: theme report. Proc. of 6th Int. Symp. on Landslides, Christchurch, 3, 1843-1848.
- Cruden, D.M., 1997. Estimating the risk from landslide historical data. In: Cruden, D.M., Fell, R. (Eds.), Landslide risk assessment. Proc. Inter. Workshop on Landslide Risk Assessment, Honolulu, 177-184.
- Çepel, N., 1995. Orman ekolojisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 3886, 433, 536s.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, 2006. Zonguldak-Bartın-Karabük planlama bölgesi. 1/100000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı Araştırma Raporu, 1233s.
- Dai, F.C. and Lee, F.C., 2002. Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. Geomorphology, 42, 213-228.
- Deboeck, G.J., 1994. Ed. Trading on the edge: neural, genetic, and fuzzy systems for chaotic financial markets. Wiley, New York.

- Derruau, M., 1983. Geomorfologia. Ariel Geografia, Barcelona.
- Dietrich, E.W., Reiss, R., Hsu, M.L. and Montgomery, D.R., 1995. A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data. *Hydrological Process*, 9, 383-400.
- Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L. and Ibsen, M.L., 1996. Landslide recognition. Identification, movements and causes. Wiley, Chichester, England, 251 p.
- Duman, T.Y., Emre, Ö., Akçay, A.E., Uysal, Ş., Özmutaf, M., Bozbay, E., Tongal, O. ve Sönmez, M., 1998. Arazi kullanım kapasitesi çalışmalarında yerbilim verilerinin uygulanmasına bir örnek: Aşağı Filyos vadisi (Zonguldak, B.Karadeniz), *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 41 (2), 117-129.
- Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö., Keçer, M., Doğan, A., Ateş, Ş. ve Durmaz, S., 2005. Landslide inventory of northwestern Anatolia, Turkey. *Eng. Geol.*, 77(1-2), 99-114.
- Dunteman, G.H., 1989. Principal Components Analysis. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, Quantitative Application in the Social Sciences Series, 69.
- Deveciler, E., 1986. Alaplı-Bartın-Cide (B.Karadeniz) jeoloji raporu. MTA yayınları. Derleme No: 7938, 58 s.
- Einstein, H.H., 1988. Special lecture:Landslide risk assessment procedure. *Proc 5th International symposium on Landslides*, Lausanne, 2, 1075-1090.
- EPOCH (European Community Programme), 1993. Temporal occurrence and forecasting of landslides in the European community. (Ed. J.C. Flageollet), Vol.3., Contract No. 90 0025.
- Ercanoğlu, M. and Gökçeoğlu, C., 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Env. Geol.*, 41, 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). *Eng. Geol.*, 75, 229-250.
- Ercanoğlu, M., Temiz, N. ve Kaşmer, Ö., 2005. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde bulanık mantık ve yapay sinir ağlarının kullanımının araştırılması. *Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu*, 103Y-126, 186 s.
- Fahlman, S.E., 1988. An empirical study of learning speed in back-propagation. *Tech. Report CMU-CS*, 88-162.
- Feldman, J.A. and Ballard, D.H., 1982. Connectionist models and their properties. *Cognitive Science*, 6, 205-254.
- Fenti, V., Silvano, S. and Spagna, V., 1979. Methodological proposal for an engineering geomorphological map. Forecasting rock-falls in the Alps. *Bull. of the Int. Assoc. Eng. Geol.*, 19, 134-138.
- Fernandez, C.I., Del Castillo, T.F., El Hamdouni, R. and Montero, J.C., 1999. Verification of landslide susceptibility mapping: A case study. *Earth Surf. Proc.&Landf.*, 24, 537-544.
- Fletcher, R. and Reeves, C.M., 1964. Function minimization by conjugate gradients. *Computer J.*, 7, 149-154.

- Fletcher, R., 1970. A new approach to variable metric methods. *Computer Journal*, 13, 317-322.
- Foody, G.M., Lucas, R.M., Curran, P.J. and Honzak, M., 1996. Estimation of the areal extent of land cover classes that only occur at a sub-pixel level. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 22, 432-438.
- Gallager, R.G., 1968. *Information theory and reliable communication*. John Wiley&Sons, New York.
- Gao, J., 1993. Identification of topographic setting conducive to landsliding from DEM in Nelson County, Virginia (USA). *Earth Surface Processes and Landforms*, 8, 579-591.
- Glade, T., 1998. Establishing the frequency and magnitude of landslide-triggering rainstorm events in New Zealand. *Environmental Geology*, 35, 2-13.
- Gold, B., 1986. Hopfield model applied to vowel and consonant discrimination. MIT Lincoln Laboratory Technical Report, TR-747, AD-A169742.
- Goldfarb, D., 1970. A family of variable metric methods derived by variational means. *Mathematics of Computation*, 24, 23-26.
- Gomez, H. and Kavzoğlu, T., 2005. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural Networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Eng. Geol.*, 78, 11-27.
- 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. *Eng. Geol.*, 44, 147-161.
- 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. *Geomorphology*, 37, 149-165.
- Grossberg, S., 1986. *The adaptive Brain I: cognition, learning, reinforcement, and rhythm, and the adaptive brain II: Vision, Speech, Language, and Motor Control*, Elsevier/North-Holland, Amsterdam.
- Gupta, R.P and Joshi, B.C., 1990. Landslide hazard zoning using the GIS approach-a case study from the Ramganga catchment, Himalayas. *Eng. Geol.*, 28, 119-131.
- Gupta, P. and Anbalagan, R., 1997. Slope stability of Theri dam reservoir, India, using landslide hazard zonation (LHZ) mapping. *Q. J. Eng. Geol.*, 30, 27-36.
- Guzzetti, F., Cardinali, M. and Reichenbach, P., 1994. The AVI Project: A bibliographical and archive inventory of landslides and floods in Italy. *Environmental Management*, 18, 4, 623-633.
- Guzzetti, F., Cardinali, M. and Reichenbach, P., 1996. The influence of structural setting and lithology on landslide type and pattern. *Environmental and Engineering Geology*, 2 (4), 531-555.

- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. and Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216.
- Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P. and Carrara, A., 2000. Comparing landslides maps: a case atudy in the Upper Tiber basin, Central Italy. *Env. Manag.*, 25 (3), 247-263.
- Güner, Y., 1975. Filyos vadisinin ve dolayının jeomorfolojisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 18, 1, 87-90.
- Greenway, D.R., 1987. Vegetation and slope stability. In: *Slope Stability*, M.G. Anderson and K.S. Richards (eds.), John Wiley and Sons, 187-230.
- Hair, J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L. and Black, W.C., 1998. *Multivariate Data Analysis*, Prentice Hall, New Jersey.
- Hammond, C., Prellwitz, R. and Miller, S., 1992. Landslide hazard assessment using Monte Carlo simulation. *Proc. 6th Int. Symp. Lanslides*, Christchurch, New Zeland, 2, 959-964.
- Handen, C.P., 1976. Landslides near Aspen, Colorado. *Colo. Univ. Inst. Arctic Alpine Res. Occass. Pap.*, 20, 20 p.
- Hansen, A., 1984. Landslide hazard analysis, in Brunsden, D. And Prior, D.B. (Eds), *Slope instability*, J.Wiley and Sons, New York, 523-602.
- Hansen, A., Franks, C.A.M., Kirk, P.A., Brimicombe, A.J., Tung, F., 1995. Application of GIS to hazard assessment, with particular reference to landslides in Hong Kong. In: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 135-175.
- Harman, H.H., 1976. *Modern Factor Analysis*. The University of Chicago Press, New York.
- Hastie, W.J., 1990. Landslip hazard modelling, Wellington Region, New Zealand. *Proc. of the Inaugural Colloquium of the Spatial Inf. Res. Cent, University of Otago, Dunedin*, 96-105.
- Hebb, D.O., 1949. *The organization of behavior*. John Wiley & Sons, New York.
- Hecht-Nielsen, R., 1987. Kolmogorov's mapping neural network existence theorem. *Proceeding of the First IEEE International Conference on Neural Networks*, San Diego, CA, USA, 11-14.
- Hecht-Nielsen, R., 1990. *Neurocomputing*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Hertz, J.A., Kroug, A.S. and Palmer, R.G., 1991. *Introduction to the theory of neural computation*. Addison Wesley, New York. 538 p.
- Hestenes, M.R. and Stiefel, E.L., 1952. Methods of conjugate gradients for solving lineer systems. *J. Research Nat'l Bureau of standarts*, 49, 6, 409-436.
- Hoek, E. and Bray, J.W., 1977. *Rock Slope Engineering*, Institution of Mining and Metallurgy, Stephen Austin&Sons Ltd., London, 402 p.
- Hopfield, J.J., 1982. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 79, 2554-2558.
- Hopfield, J.J. and Tank, D.W., 1986. Computing with neural circuits: a model. *Science*, 233, 625-633.

- Hutchinson, J.N., 1988. General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. In *Landslides, Proc. 5th Int. Symp. on Landslides* (Ed. C. Bonnard), 1, 3-35.
- Hutchinson, J.N. and Chandler, M.P., 1991. A preliminary landslide hazard zonation of the Undercliff of the Isle of Wight. In: *Slope Stability Engineering*. Thomas Telford, London, 197-205.
- Hutchinson, J.N., 1995. Landslide hazard assessment. *Proc. 6th Int. Symp on Landslides*, Christchurch, 1, 1805-1842.
- Ibsen, M.L. and Brunsden, D., 1996. The nature, use and problems of historical archives for the temporal occurrence of landslides, with specific reference to the south coast of Britain, Ventnor, Isle of Wight. *Geomorphology*, 15, 241-258
- Ildır, B., 1995. Türkiye’de heyelanların dağılımı ve afetler yasası ile ilgili uygulamalar. 2. Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 1-9.
- İsmailoğlu, Ş., Özcan, Ü., Küçük, İ., Çağlan, D., Bayrak, D., 1999. Aşağı Filyos vadisi Bartın-Karabük-Alaplı (Batı Karadeniz) yörelerindeki seller ve heyelanlara ilişkin rapor. TMMOB Yayını, Ankara, 27 s.
- Jager, S. and Wieczorek, G.F., 1994. Landslide susceptibility in the Tully Valley area Finger Lakes region, New York. USGS Open-file Report (On-Line version), 94-615.
- Jenks, J.F., 1967. The data model concept in statistical mapping. *International yearbook of cartography*, 7, 186-190.
- Jensen, J.R., 1986. *Introductory digital image processing*. Englewood cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 135 p.
- Johansson, E.M., Dowla, F.U. and Goodman, D.M., 1992. Backpropagation learning for multilayer feedforward neural networks using the conjugate gradient method. *Int. J. Neural Systems*, 2, 4, 291-301.
- Kaastra, I. and Boyd, M., 1996. Designing a neural network for forecasting financial and economic time series. *Neurocomputing*, 10, 215-236.
- Kanellopoulos, I. and Wilkinson, G.G., 1997. Strategies and best practice for neural network image classification. *Int. J. Remote Sensing*, 18, 4, 711-725.
- Katz, J.O., 1992. Developing neural network forecasters for trading. *Technical Analyses of Stocks and Commodities*, 58-70.
- Kayacık, H., 1965. Orman ve Park Ağaçlarının Özel Sistematiği. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, 1105-98, 174 s.
- Kendall, M.G., 1975. *Multivariate Analysis*. Charles Griffin, London.
- Ketin, İ. ve Gümüş, Ö., 1962. Sinop, Ayancık ve güneyinde, III. bölgeye dahil sahaların jeolojisi hakkında rapor. I, II. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Arama Grubu, 213-218.

- Khazai, B. and Sitar, N., 2003. Evaluation of factors controlling earthquake-induced landslides caused by Chi-Chi earthquake and comparison with the Northridge and Loma Prieta events. *Eng. Geol.*, 71, 79-95.
- Kienholz, H., 1978. Maps of geomorphology and natural hazard of Griendelwald, Switzerland, scale 1:10.000. *Artic and Alpine Research*, 10, 169-184.
- Klaussen, K.L. and Uhrig, J.W., 1994. Cash soybean price prediction with neural networks. NCR-134 Conf. On Applied Commodity Analysis, Price Forecasting and Market Risk Management Proc., Chicago, 56-65.
- Kleimbaum, D.G., Lawrence, L.K. and Keith, E.M., 1988. *Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods*, Duxbury Press.
- Klimasauskas, C.C., 1993. Applying neural networks, in R.R. Trippi and E. Turban, eds., *Neural networks and finance and investing. Using Artificial Intelligence to Improve Real World Performance*, 64-65.
- Kohonen, T., 1984. *Self-organization and associative memory*. Springer-Verlag, Berlin.
- Kruschke, J.K., 1989. Improving generalization in backpropagation networks with distributed bottlenecks. *Proc. IEEE/INNS Int. Joint Conf. Neural Networks*, 1, 443-447.
- Lan, H.X., Zhou, C.H., Wang, L.J., Zhang, H.Y. and Li, R.H., 2004. Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang watershed, Yunnan, China. *Eng. Geol.*, 76, 109-128.
- Lee, S. and Min, K., 2001. Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Env. Geol.*, 40, 1095-1113.
- Lee, C.F., Ye, H., Yeung, M.R., Shan, X. and Chen, G., 2001. AIGIS-based methodology for natural terrain landslide susceptibility mapping in Hong Kong, *Episodes*, 24, 3, 150-159.
- Lee, S., Ryu, J.H., Min, K. And Won, J.S, 2003. Landslide susceptibility analysis using GIS and artificial neural network. *Earth Surf. Process. and Landforms*, 28, 1361-1376.
- Lee, S., Ryu, J.H., Min, K., Won, J.S. and Park, H.J., 2004. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. *Eng. Geol.*, 71, 289-302.
- Lek, S. and Guegan, J.F., 1999. Artificial neural networks as a tool in ecological modeling: An introduction. *Ecol. Model.*, 120, 65-73.
- Leroi, E., 1996. Landslide hazard-risk maps at different scales: objectives, tools and developments. *Proc. 7th Int. Symp on Landslides, Trondheim*, 1, June 1996, 1, 35-52.
- Li, G., Alnuweiri, H. and Wu, W., 1993. Acceleration of backpropagation through initial weight pre-training with delta rule. *Proc. IEEE/INNS Int. Joint Conf. Neural Networks*, 1, 580-585.
- Lippmann, R. P., 1987. An introduction to computing with neural networks. *IEEE ASSP Magazine*, 4-22.

- Liu, C., Zhang, L., Craig, J.D., Solomon D.S., Brann, T.B. and Lawrence, E.C., 2003. Comparison of neural networks and statistical methods in classification of ecological habitats using FIA data. *Forest Science*, 49 (4), 619-631.
- Liu, J.G., Mason, P.J., Clerici, N., Chen, S., Davis, A., Miao, F., Deng, H. and Liang, L., 2004. Landslide hazard assessment in the Three Gorges area of the Yangtze river using ASTER imagery: Zigui-Badong. *Geomorphology*, 61, 171-187.
- Looney, C.G., 1996. Advances in feedforward neural networks: demystifying knowledge acquiring black boxes. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*, 8, 2, 211-226.
- Lourakis, M.I.A., 2005. A brief description of the Levenberg-Marquardt algorithm implemented by levmar. *Inst. of Comp. Science Foundation for Research and Technology-Hellas (Forth)*, 1-6.
- Luzi, L. and Pergalani, F., 1996. Applications of statistical and GIS techniques to slope instability zonation (1/50000 Fabriano geological map sheet). *Soil Dynm. and Eathq. Eng.*, 15, 83-94.
- Luzi, L., Pergalani, F. and Terlien, M.T.J., 2000. Slope vulnerability to earthquakes at subregional scale, using probabilistic techniques and geographic information systems. *Eng. Geol.*, 58, 313-336.
- Maharaj, R., 1993. Landslide processes and landslide susceptibility analysis from an upland watershed: A case study from St. Andrew, Jamaica, West Indies. *Eng. Geol.* 34, 53-79.
- Mark, R.K. and Ellen, S.D., 1995. Statistical and simulation models for mapping debris-flows hazard. In: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 93-106.
- Marston, R.A., Miller, M.M., Devkota, L.P., 1998. Geoecology and mass movements in the Manaslu Ganesh and Langtang-Jural Himals, Nepal. *Geomorphology*, 26, 139-150.
- Masters, T., 1993. *Practical neural network recipes in C++*. Academic Press, New York.
- Mayoraz, F., Cornu, T., Vulliet, L., 1996. Using neurel network to predict slope movements. *Proc. 7th International Symposium on Landslides*. Trondheim, Norway, 295-300.
- McCulloch, W.S. and Pitts, W., 1943. A logical calculus of the ideas imminent in nervous activity. *Mathematical Biophysics*, 5, 115-133.
- Mehrotra, G.S., Sarkar, S. and Dharmaraju, R., 1991. Landslide hazard assessment in Rishikesh-Tehri area, Garhwal Himalaya, India. *Proc. 16th Int. Landslide Conf.*, Balkema, Rotterdam, 1001-1007.
- Mehrotra, G.S., Dharmaraju, R. and Kanungo, D.P., 1994. Landslide hazard zonation- a tool for environmental development and protection of hilly terrain. *Man and Mountain 94: primo convegno internazionale per la protezione e lo sviluppo dell'ambiente montano*, 101-113.
- Meijerink, A.M.J., 1988. Data acquisition and data capture through terrain mapping unit. *ITC Journal*, 1, 23-44.

- Mejia-Navarro, M. and Wohl, E.E., 1994. Geological hazard and risk evaluation using GIS: methodology and model applied to Medellin, Colombia. *Bull. Assoc. Eng. Geol.*, XXXI (4), 459-481.
- Mendelsohn, L., 1993. Training neural networks. *Technical Analysis of Stocks and Commodities*, 40-48.
- 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., O'Loughlin, E.M. and Burch, G.J., 1988. A contour-based topographic model for hydrological and ecological applications. *Earth Surface Process Landforms*, 14 (4), 305-320.
- Moore, R., Dibb, T.M. and Billing, D.W., 1991. The distribution and causes of mass movement in Aurora province, Philippines. *Proc. 16th Int. Landslide Conf.*, Balkema, Rotterdam, 1023-1029.
- Moser, M. and Hohenssin, F., 1983. Geotechnical aspects of soil slips in Alpine regions. *Eng. Geol.*, 19, 185-211.
- Mulder, HFHM. and Van Asch, TWJ., 1988. A stochastic approach to landslide hazard determination in a forested area. In: *Proc. V Int. Symp. Landslides*, Laussane, 2, 1207-1210.
- Nagarajan, R., Mukherjee, A., Roy, A. and Khire, M.V., 1998. Temporal remote sensing data and GIS application in landslide hazard zonation of part of Western Ghat, India. *Int. J. Rem. Sens.*, 19 (4), 573-585.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A. and Khire, M.V., 2000. Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. *Bull. Eng. Geol. Env.*, 58, 275-287.
- Nelson, M.M. and Illingworth, W.T., 1991. *A practical guide to neural nets*. Addison Wesley Publishing Company, Inc., New York.
- Neuland, H., 1976. A prediction model of landslips. *Catena*, 3, 215-230.
- Nguyen, V.V. and Chowdhury, R.N., 1985. Risk analysis with correlated variables. *Geotechnique*, 35, 47-59.
- Nguyen, D. and Widrow, B., 1990. Improving the learning speed of two-layer neural networks by choosing initial values of the adaptive weights. *Proc. IEEE/INNS Int. Joint Conf. Neural Networks*, 3, 21-26.
- O'Loughlin, E.M., 1986. Prediction of surface saturation zones in natural catchments by topographic analysis. *Water Resources Research*, 22 (5), 794-804.
- Özmen, B., Nurlu, M. ve Güler, H., 1997. Coğrafi bilgi sistemi ile deprem bölgelerinin incelenmesi. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü yayını*, 89.
- Özdamar, K., 2004a. *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi 1*. Kaan Kitabevi, Eskişehir, 649.
- Özdamar, K., 2004b. *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi 2*. Kaan Kitabevi, Eskişehir, 528.

- Pachauri, A.K. and Pant, M., 1992. Landslide hazard mapping based on geological attributes. *Eng. Geol.*, 32, 81-100.
- Pachauri, A.K., Gupta, P.V. and Chander, R., 1998. Landslide zoning in a part of the Garhwal Himalayas. *Env. Geol.*, 36 (3-4), 325-334.
- Paola, J.D. and Schowengerdt, 1997. The effect of neural network structure on a multispectral land-use/land-cover classification. *Photogramm. Eng. Rem. Sens.*, 63 (5), 535-554.
- Pike, R.J., 1988. The geometric signature: quantifying landslide terrain types from digital elevation models. *Math. Geol.*, 20 (5), 491-511.
- Pistocchi, A., Luzi, L. and Napolitano, P., 2002. The use of predictive modeling techniques for optimal exploitation of spatial databases: a case study in landslide hazard mapping with expert system-like methods. *Env. Geol.*, 41, 765-775.
- Polak, E. and Ribiere, G., 1969. Note sur la convergence de methods de directions conjures. *Revue Francais Information Recherche Operationnelle*, 16, 35-43.
- Polloni, G., Aleotti, P., Baldelli, P., Noretto, A., Casavecchia, K., 1996. Heavy rain triggered landslides in the Alba area during November 1994 flooding event in the Piemonte region (Italy). *Proc. 7th Int. Symp on Landslides*, Trondheim, June 1996, 3, 1955-1960.
- Pomeroy, J.S., 1982. Landslides in the Greater Pittsburg region, Pennsylvania. *U.S. Geol. Surv., Prof. Pap.* 1229, 47 p.
- Posch, T.E., 1968. Models of the generation and processing of signals by nerve cells: a categorical indexed abridged bibliography. *USCEE report* 290.
- Radbruch-Lall, D.H., Colton, R.B., Davies, W.E., Lucchitta, I., Skipp, B.A. and Varnes, D.J., 1982. Landslide overview map of the conterminous United States. *US Geological Survey Professional Paper*, 1183, 25 s.
- Remondo, J., Gonzalez-Diez, A., Teran, J.R.D.D. and Cendrero, A., 2003. Landslide susceptibility models utilising spatial data analysis techniques. A case study from the Lower Deba Valley, Guipuzcoa (Spain). *Natural Hazards*, 30, 267-279.
- Rib, H.T. and Liang, T., 1978. Recognition and identification. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J. (Eds.), *Landslides analysis and control*, Washington Transportation Research Board, Special Report 176, National Academy of Sciences, WA, 34-80.
- Rosenblatt, R., 1959. *Principles of neurodynamic*. Spartan Books, New York.
- Rosenfeld, C.L., 1994. The geomorphological dimensions of natural disasters. *Geomorphology*, 10, 27-36.
- Rouse, J.W.Jr., Haas, R.H., Deering, D.W., Schell, J.A. and Harlan, J.C., 1974. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation, NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt.
- Rumelhart, D.E. and McClelland, J.L., 1986. *Parallel distributed processing: explorations in the microstructure of cognition*, MIT Press.

- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. and Williams, R.J., 1986. Learning internal representations by error propagation. In: Rumelhart, D.E., McClelland, J.L. (Eds.), *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, 1, MIT Press.
- Rummel, R.J., 1970. *Applied Factor Analysis* Evanston. III. Northwestern University Press, New York.
- Rupke, J., Cammeraat, E., Seijmonsbergen, A.C. and Van Westen, C.J., 1988. Engineering geomorphology of Widentobel catchment, Appenzell and Sankt Gallen, Switzerland: a geomorphological inventory system applied to geotechnical appraisal of slope stability. *Eng. Geol.*, 26, 33-68.
- Salchenberger, L.M., Mine Cinar, E. and Lash, N.A., 1992. Neural networks: A new tool for predicting thrift failures. *Decision Sciences*, 23, 899-916.
- Saner, S., Taner, İ., Aksoy, Z., Siyako, M. ve Bürkan, K.A., 1979. Karabük, Safranbolu yöresinin jeolojisi. *Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Arama Grubu*, 1322.
- Sarle, W.S., 1994. Neural networks and statistical methods. In *Proc. of the Nineteenth Annu. SAS Users Group Internat. Conf.* SAS Institute., Cary, NC.
- Scarpelli, G., Aleotti, P., Baldelli, P., Milani, G. and Brambati, E., 1995. Field experience of pipeline in geologically unstable areas. *Proc. of the 14th Int. Conf., Offs. Mech. and Arctic Eng. (OMAE 95)*, Copenhagen, June 1995, 5, 87-96.
- Schmidt, W., Raudys, S., Kraaijveld, M., Skurikhina, M. and Duin, R., 1993. Initializations, backpropagation and generalization of feed-forward classifiers. *Proc. IEEE/INNS Int. Conf. Neural Networks*, 1, 598-604.
- Schoenberg, R., 2001. *Optimization with the Quasi-Newton Method*. Aptech Systems, Inc. Maple Valley, WA, 1-9.
- Schuster, R.L. and Fleming, R.W., 1986. Economic losses and fatalities due to landslides. *Bull. Ass. Eng. Geol.*, 23-1, 11-28.
- Selby, M., 1993. *Hillslope Materials and Processes*. Oxford Univ. Press, Oxford.
- Shanno, D.F., 1990. Recent advances in numerical techniques for large scale optimization. *Neural Networks for Control*. Cambridge, Mass. MIT Press.
- Sharma, S., 1996. *Applied Multivariate Techniques*. John Wiley&Sons Inc., New York.
- Sejnowski, T. and Rosenberg, C.R., 1986. NETalk: A parallel network that learns to read aloud. *Johns Hopkins Univ. Technical Report, JHU/EECS-86/01*.
- Sevim, M., 1961. Bazı orman ağaçlarının kök sistemleri ve yetiştirme muhiti şartları ile münasebetleri. *Orman Fakültesi Dergisi*, XI, 1/B.
- Shaban, A., Khawlie, M., Kheir, R.B. and Abdallah, C., 2001. Assessment of road instability along a typical mountainous road using GIS and aerial photos, Lebanon-eastern Mediterranean. *Bull. Env. Geol. Env.*, 60, 93-101.

- Shanno, D.F., 1990. Recent advances in numerical techniques for large scale optimization. Neural Networks for Control. Cambridge, Mass, MIT Press.
- Sietsma, J. and Dow, R.J.F., 1991. Creating artificial neural networks that generalize. Neural Networks, 4, 67-79.
- Smith, T.C., 1988. A method for mapping relative susceptibility to debris flow, with an example from San Mateo County. In Landslides, Floods and Marine Effects of the Storm of January 3-5, 1982. in San Francisco Bay Region, California, US Geological Survey, United States, Professional Paper, 1434, 185-194.
- Soeters, R.S. and Van Westen, C.J., 1996. Slope instability recognition, analysis and zonation. In: Landslides: Investigation and Mitigation. Turner, A.K. and Schuster, R.L. (Eds.), Transportation Research Board, Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., 129-177.
- Speight, J.G., 1977. Landform pattern description from aerial photographs. Photogrammetry, 32, 161-182.
- Stevenson, P.C., 1977. An empirical method for the evaluation of relative landslide risk. Bull. Int. Ass. Eng. Geol., 16, 69-72.
- Süzen, M.L. and Doyuran, V., 2004a. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. Eng. Geol., 71, 303-321.
- Süzen, M.L. and Doyuran, V., 2004b. A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus biavariate. Env. Geol., 45, 665-679.
- Swanston, D.N. and Schuster, R.L., 1989. Long-term landslide hazard mitigation programs: structure and experience from other countries. Bull. Ass. Eng. Geol., 26-1, 109-133.
- Tang, W.H., Yucemen, M.S. and Ang A.H., 1976. Probability based short term design of soil slopes. Can Geotech. J., 13, 201-215.
- Tatlıdil, H., 2002. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz, Hacettepe Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, 424s.
- Technical Publication Group, 1991. Using NWorks-an extended tutorial for NeuralWorks Professional II/Plus and NeuralWorks Explorer, NeuralWare, Pittsburgh.
- Terlien, M.T.J., Van Westen, C.J. and Van Asch, T.W.J., 1995. Deterministic modelling in GIS-based landslide hazard assessment. In: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.), Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 57-77.
- Turner, A.K. and Schuster, R.L., 1996. Landslides investigation and Mitigation, Special report 247, Transportation Research Board, National Research Council, USA, 675 p.
- Tüysüz, N. ve Yaylalı, G., 2005. Jeostatistik Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar, Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 220, 61, 382s.

- Tangestani, M.H., 2003. Landslide susceptibility mapping using the fuzzy gamma operation in GIS, Kakan catchment area, Iran. Map India Conference, 157-164.
- Temesgen, B., Mohammed, M.U. and Korme, T., 2001. Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogenet area, Ethiopia. Phys. Chem. Earth(C), 26-9, 665-675.
- Temiz, N., 2000. Batı Karadeniz bölgesi (Bartın, Karabük, Zonguldak yörelerinde) kütle hareketlerinin ve bunları denetleyen jeolojik ve morfolojik özelliklerinin CBS ve Uzaktan Algılama yöntemi ile araştırılması. H.Ü. Fen Bil. Enst.Jeo. Müh. Böl. Anabilim Dalı, Yük. Müh. Tezi, Ankara, 90 s.
- Tokay, M., 1954. Filyos çayı Ağılı-Amasra-Bartın-Kozcağz-Çaycuma bölgesinin jeolojisi. MTA dergisi, 46-47, 1-35.
- Turrini, M.C. and Visintainer, P., 1998. Proposal of a method to define areas of landslide hazard and appication to an area of the Dolomites, Italy. Eng. Geol., 50, 255-265.
- UNESCO, 1973. Annual summary of information on natural disasters, 1971-1975. Paris, Unesco.
- Uromeihy, A. and Mahdaviar, M.R., 2000. Lanslide hazard zonation of Khorshrostan area, Iran. Bull. Eng. Geol. Env., 58, 207-213.
- Van Westen, C.J., 1993. Application of Geographical Information System to landslide hazard zonation. ITC Publication, 15, ITC, Enschede, The Netherlands, 245 p.
- Van Westen, C.J., 1994. GIS in landslide hazard zonation: a review with examples from the Colombian Andes. In: Price, M.F., Heywood, D.I. (Eds.), Taylor and Francis, London, 135-165.
- Van Westen, C.J., Rengers, N., Terlien, M.T.J. and Soeters, R., 1997. Prediction of the occurrence of slope instability phenomena through GIS-based hazard zonation. Geol. Rundsch., 86, 404-414.
- Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes. In Landslides analysis and control, (Ed. R.L. Schuster and R.J. Krizek), Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Special Report, No.176, 12-33.
- Varnes, D.J. and Commission on Landslides and Other Mass-Movements-IAEG 1984. Landslide Hazard Zonation: a Review of Principles and Practise, Unesco Press, Paris, 63 pp.
- Villiers, J.A. and Barnard, E., 1992. Interactions of fast neurons. Zeitschrift fur physic, 245 (1).
- Ward, T.J., Ruh-Ming, L. and Simons, D.B., 1982. Mapping landslide hazard in forest watershed. J. Geotech. Eng. Div., ASCE, 108 (GT2), 319-324.
- Weigend, A.S., Huberman, B.A. and Rumelhart, D.E., 1990. Predicting the future : a connectionist approach. Stanford PDP Research Group Report, 1-90.
- Widrow, B. and Hoff, M.E., 1960. Adaptive Switching Circuits. IRE WESCON Conv. Record, 4, 96-104.

- Wieczorek, G.F., 1984. Preparing a detailed landslide-inventory map for hazard evaluation and reduction. *Bull. Assoc. Eng. Geol.*, 21 (3), 337-342.
- Wieczorek, G.F., Gori, P.L., Jager, S., Kappel, W.M. and Negussey, D., 1996. Assessment and management of landslide hazards near Tully Valley landslide, Syracuse, New York, USA. *Proc. VII Int. Symp. Landslides*, Trondheim, June 1996, 1, 411-416.
- Willmott, W.F., 1984. Forest clearing and landslides on the basalt plateau of southeast Queensland. *Queensl Agric J*, 12 (2), 15-20.
- Wilson, R.C. and Wieczorek, G.F., 1995. Rainfall thresholds for the initiation of debris flow at La Honda, California. *Env. & Eng. Geoscience*, 1, 11-27.
- Wu, T.H. and Kraft, L.M., 1970. Safety analysis of slopes. *J. of Soil Mech. and Found. Eng. Div.*, ASCE, 96, 609-630.
- Yeşilnacar, E. and Topal, T., 2005. Landslide susceptibility mapping: A comparison of logistic regression and neural Networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Eng. Geol.*, 79, 251-266.
- Yergök, A.F., Akman, Ü., Keskin, İ., İplikçi, E., Mengi, H., Karabalık, N.N., Umut, M., Armağan, F., Erdoğan, K., Kaymakçı, H. ve Çetinkaya, A., 1987a. Batı Karadeniz bölgesinin jeolojisi (I). MTA yayınları, Derleme No. 8273, 255 s.
- Yergök, A.F., Akman, Ü., Tekin, F., Karabalık, N.N., Arbaş, A., Akat, U., Armağan, F., Erdoğan, K. ve Kaymakçı, H., 1987b. Batı Karadeniz bölgesinin jeolojisi (II). MTA yayınları, Derleme No. 8848, 170 s.
- Yoon, Y., and Swales, G., 1991. Predicting stock price performance: a neural network approach. *Proc. 24th Annual Int. Con. Of Systems Sciences*, Chicago, 156-162.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zhou, C.H., Lee, C.F., Li, J. And Xu, Z.W., 2002. On the spatial relationship between landslides and causative factors on Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 43, 197-207.
- Zolotraev, W.H., 1976. Present day problems in the engineering geological investigation of landslides, falls and mudflows in mountainous folded regions. In: Hutchinson JN (ed) *Geological factors and mechanism involved in the development of landslides, falls and mudflows*, vol 1, UNESCO, Paris, 5-34.
- Zurada, J.M., 1992. Analog implementation of neural networks. *IEEE Circuits&Devices*, 8(5), 34-41.
- Zhou, W., 1999. Verification of the nonparametric characteristics of backpropagation neural networks for image classifications. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37, (2), 771-779.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Neslihan Yüksel

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Yılı : 1974

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1988-1991 (Bahçelievler Cumhuriyet Lisesi, Ankara)

Lisans : 1992-1997 (H.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara)

Yüksek Lisans : 1997-2000 (H.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara)

Yabancı Dil: İngilizce

İş Tecrübesi:

1998-2004 : Araştırma Görevlisi (H.Ü. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara)

2005-2007 : Jeoloji Yük. Mühendisi (İller Bankası Genel Müdürlüğü, Ankara)

EK:1

Simge	Bitki Türü	Gelişme Çağı	Kapalılık	Özellikler
ÇBBt	Karışık meşcere			Çok bozuk, baltalık
ÇBÇk	Karaçam			Çok bozuk
ÇBÇk/ÇBMGnBt	Karaçam + Meşe, Gürgen baltalığı			Çok bozuk
ÇBÇk-Bt	Karaçam			Çok bozuk, baltalık
ÇBÇk-ÇBkbt	Karaçam - karışık meşcere			Çok bozuk, baltalık
ÇBÇk-ÇBMBt	Karaçam-Meşe baltalığı			Çok bozuk
ÇBÇk-ÇBMGnBt	Karaçam + Meşe, Gürgen baltalığı			Çok bozuk
ÇBÇkM	Karaçam + Meşe			Çok bozuk
ÇBÇn	Çınar			Çok bozuk
ÇBDy	Karışık meşcere			Çok bozuk, boşaltılmış, yanık alan
ÇBG	Gök nar			Çok bozuk
ÇBGn	Gürg en			Çok bozuk
ÇBGnDy	Gürg en + boşaltılmış yanık alan			Çok bozuk
ÇBGnDykn	Gürg en + boşaltılmış yanık alan + Kayın			Çok bozuk
ÇBGnKn	Gürg en + Kayın			Çok bozuk
ÇBgnylh	Gürg en			Çok bozuk
ÇBGnM	Gürg en + Meşe			Çok bozuk
ÇBGnM3	Gürg en + Meşe		3	Çok bozuk
ÇBkbt	Karışık meşcere			Çok bozuk, baltalık
ÇBKbt	Karışık meşcere baltalığı			Çok bozuk
ÇBK n	Kayın			Çok bozuk
ÇBK n1	Kayın		1	Çok bozuk
ÇBK n2	Kayın		2	Çok bozuk
ÇBK nDy	Kayın + boşaltılmış yanık alan			Çok bozuk
ÇBK nGn	Kayın + Gürg en			Çok bozuk
ÇBK nGnM1	Kayın + Gürg en + Meşe		1	Çok bozuk
ÇBK nM	Kayın + Meşe			Çok bozuk
ÇBK nMGn	Kayın + Meşe + Gürg en			Çok bozuk
ÇBMBt	Meşe			Çok bozuk, baltalık
ÇBMBt1	Meşe		1	Çok bozuk, baltalık
ÇBMBt2	Meşe		2	
ÇBMBt3	Meşe		3	
ÇBMBt4	Meşe		4	
ÇBMBt5	Meşe		5	
ÇBMBt6	Meşe		6	
ÇBMBt7	Meşe		7	
ÇBMDy	Meşe + boşaltılmış yanık alanı			Çok bozuk
ÇBMGn	Meşe + Gürg en			Çok bozuk
ÇBMGnBt	Meşe, Gürg en baltalığı			Çok bozuk
ÇBMKn	Meşe + Kayın			Çok bozuk
Çka	Karaçam	a		
Çka2	Karaçam		2	
Çkb2	Karaçam	b		
Çkb3	Karaçam		3	
Çkbc2	Karaçam	b, c	2	
Çkc1	Karaçam	c	1	
Çkc2	Karaçam	c	2	

Çkc3	Karaçam	c	3	
Çkcd2	Karaçam	c, d	2	
Çkc-Ma	Karaçam + Meşe	c, a		
ÇkÇsKna	Karaçam + Sarıçam + Kayın	a		
Çkd1	Karaçam	d	1	
Çkd2	Karaçam	d	2	
ÇkMb	Karaçam + Meşe	b		
ÇkMb2	Karaçam + Meşe	b	2	
ÇkMc	Karaçam + Meşe	c		
ÇkMc1	Karaçam + Meşe	c	1	
ÇkMc2	Karaçam + Meşe	c	2	
ÇkMKnbc3	Karaçam + Meşe + Kayın	b, c	3	
Çma	Sahil çamı	a		
Çnc2	Çınar	c	2	
Çsc	Sarıçam	c		
Çsc2	Sarıçam	c	2	
ÇsÇkc2	Sarıçam + Karaçam	c	2	
ÇsÇkc3	Sarıçam + Karaçam	c	3	
DyKnbc3	Boşaltılmış yanık alan + Kayın	b, c	3	
GA2	Gök nar	a	2	
Gac	Gök nar	a, c		
Gbc3	Gök nar	b, c	3	
GGnDyB2	Gök nar + Gürgen + boşaltılmış yanık alan	b	2	
GKnB2	Gök nar + Kayın	b	2	
GKnB3	Gök nar + Kayın	b	3	
GKnbc3	Gök nar + Kayın	b, c	3	
GKnC3	Gök nar + Kayın	c	3	
GknrBKngn	Gök nar + Kayın + Gürgen			Bozuk
GMA	Gök nar + Meşe	a		
GMA2	Gök nar + Meşe		2	
GnBt	Gürg en baltalı ğı			
GnGKnDybd3	Gürg en + Gök nar + Kayın + boşaltılmış yanık alan	b, d	3	
GnKnd3	Gürg en + Kayın	d	3	
GnKnDyB3	Gürg en + Kayın + boşaltılmış yanık alan	b	3	
GnKnGbc2	Gürg en + Kayın + Gök nar	b, c	2	
GnKyDyb3	Gürg en + Kayacık + boşaltılmış yanık alan	b	3	
GnMb2	Gürg en + Meşe	b	2	
Kna3	Kayın	a	3	
KnB3	Kayın	b	3	
Knbc2	Kayın	b, c	2	
Knbc3	Kayın	b, c	3	
Knbd2	Kayın	b, d	2	
Knc2	Kayın	c	2	
Knc3	Kayın	c	3	
Kncd1	Kayın	c, d	1	
Kncd2	Kayın	c, d	2	
Kncd3	Kayın	c, d	3	
KnÇsd3	Kayın + Sarıçam	d	3	
KnÇsGc3	Kayın + Sarıçam + Gök nar	c	3	

KnD1	Kayın	d	1	
KnD2	Kayın	d	2	
KnD3	Kayın	d	3	
KnDc3	Kayın	d, c	3	
KnDyb2	Kayın + boşaltılmış yanık alan	b	2	
KnDyb3-3	Kayın + boşaltılmış yanık alan	b	3-3	
KnDybc3	Kayın + boşaltılmış yanık alan	b, c	3	
KnDybc3-1	Kayın + boşaltılmış yanık alan	b, c	3-1	
KnDybc3-2	Kayın + boşaltılmış yanık alan	b, c	3-2	
KnDybc3-3	Kayın + boşaltılmış yanık alan	b, c	3-3	
KnDybc3-5	Kayın + boşaltılmış yanık alan	b, c	3-5	
KnDyc3	Kayın + boşaltılmış yanık alan	c	3	
KnDyd2	Kayın + boşaltılmış yanık alan	d	2	
KnDyd2	Kayın + boşaltılmış yanık alan	d	2	
KnGb3	Kayın + Gök nar	b	3	
KnGbc2	Kayın + Gök nar	b, c	2	
KnGbc3	Kayın + Gök nar	b, c	3	
KnGc3	Kayın + Gök nar	c	3	
KnGcd2	Kayın + Gök nar	c, d	2	
KnGcd3	Kayın + Gök nar	c, d	3	
KnGd1	Kayın + Gök nar	d	1	
KnGd2	Kayın + Gök nar	d	2	
KnGDyc2	Kayın + Gök nar + boşaltılmış yanık alan	c	2	
KnGGnbc3	Kayın + Gök nar + Gür gen	b, c	3	
KnGnb2	Kayın + Gür gen	b	2	
KnGnbc	Kayın + Gür gen	b, c		
KnGnbc3	Kayın + Gür gen	b, c	3	
KnGnc2	Kayın + Gür gen	c	2	
KnGncd3	Kayın + Gür gen	c, d	3	
KnGnd1	Kayın + Gür gen	d	1	
KnGnd2	Kayın + Gür gen	d	2	
KnGnDyb3	Kayın + Gür gen + boşaltılmış yanık alan	b	3	
KnGnDyc	Kayın + Gür gen + boşaltılmış yanık alan	c		
KnMb3	Kayın + Meşe	b	3	
KnMbc2	Kayın + Meşe	b, c	2	
KnMbc3	Kayın + Meşe	b, c	3	
KnMc1	Kayın + Meşe	c	1	
KnMc2	Kayın + Meşe	c	2	
KnMc3	Kayın + Meşe	c	3	
KnMd2	Kayın + Meşe	d	2	
KnMGn1	Kayın + Meşe + Gür gen		1	
KnMGnb2	Kayın + Meşe + Gür gen	b	2	
KnMGnb3	Kayın + Meşe + Gür gen	b	3	
KnMGnc2	Kayın + Meşe + Gür gen	c	2	
Ku	Kum			
Kz	Kızıl			
M2	Meşe		2	
Ma2	Meşe	a	2	
Ma3	Meşe	a	3	
Ma3-Çk	Meşe + Karaçam	a (Meşe)	3 (Meşe)	
Mab	Meşe	a, b		

Mab3	Meşe	a, b	3	
Mb2	Meşe	b	2	
Mb3	Meşe	b	3	
Mbc3	Meşe	b, c	3	
MBt	Meşe baltalığı			
MBt2	Meşe baltalığı		2	
Mc	Meşe	c		
Mc2	Meşe	c	2	
MÇkb2	Meşe + Karaçam	b	2	
MÇkbc2	Meşe + Karaçam	b, c	2	
MGka2	Meşe + Gök nar	a	2	
MGna	Meşe + Gür gen	a		
MGna2	Meşe + Gür gen	a	2	
MGnb2	Meşe + Gür gen	b	2	
MGnb3	Meşe + Gür gen	b	3	
MKnbc2	Meşe + Kayın	b, c	2	
MKnbc3	Meşe + Kayın	b, c	3	
MKnGna3	Meşe + Kayın + Gür gen	a	3	
OT	Ağ acsız orman toprağı			
Z	Tarım alanları			