

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇAYELİ (RİZE) VE ÇEVRESİNİN İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLERLE
HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

Jeoloji Yüksek Mühendisi Serhat DAĞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Doktor”

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09.05.2007

Tezin Savunma Tarihi : 28.06.2007

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fikri BULUT

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU

Jüri Üyesi : Yrd.Doç. Dr.Fatma GÜLTEKİN

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Jüri Üyesi : Prof.Dr. M. Yalçın KOCA

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

Trabzon 2007

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Doktora Tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle her zaman destek olup, bilgi ve deneyimleri ile çalışmamı yönlendiren Sayın hocam Prof. Dr. Fikri BULUT'a teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez izleme komitesinde görev alarak çalışmalarına katkı sağlayan Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU ve Yrd. Doç. Dr. Fatma GÜLTEKİN'e, ayrıca genel jeoloji ile ilgili çalışmalarındaki yardım ve desteklerinden dolayı Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ'a şükranlarımı sunarım.

Çalışma süresince bana kıymetli zamanlarından fedakârlık ederek yardımlarını esirgemeyen Hacettepe Üniversitesi Öğretim Üyesi Doç Dr. Candan GÖKÇEOĞLU'na, MTA Genel Müdürlüğü personeli Jeoloji Yük. Müh. Hakan A. NEFESLİOĞLU'na, Dokuz Eylül Üni. Jeoloji Müh. Böl. Arş. Gör. Dr. Aykut AKGÜN'e özellikle teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile ilgili aşamalarında her türlü teknik destek ve katkılarından dolayı başta Prof. Dr. Tahsin YOMRALIOĞLU ve Arş. Gör. H. İbrahim İNAN olmak üzere tüm CBS laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarının farklı dönemlerini benimle paylaşan, başta Arş. Gör. Dr. Ferkan SİPAHİ olmak üzere, Arş. Gör. Dr. Yener EYÜBOĞLU, Öğr. Gör. İbrahim AKPINAR, Jeoloji Müh. Abdullah SELVİ, Jeoloji Müh. M. Sıddık TAŞKESENLİGİL, Emin SİPAHİ ve Alper EMİROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Arş. Gör. Y. Emre ÇORUHLU, Arş. Gör. Enver AKARYALI, Okutman Mümin HAKKIOĞLU, Arş. Gör. M. Ali GÜCER, Yrd. Doç. Dr. Çiğdem SAYDAM EKER, Arş. Gör. Fatih DÖNER, teknisyen Yakup YAVUZ ve uzman Erdoğan TİMURKAYNAK'a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın 2004.118.002.01 kod numaralı proje ile desteklenmesini sağlayan KTÜ. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne şükranlarımı sunarım.

Son olarak her zaman olduğu gibi, özellikle tez dönemi süresince bana destek olan, sabır ve yardımlarını esirgemeyen başta eşim Jeoloji Yük. Müh. Nihal DAĞ olmak üzere, kızım Buse DAĞ ve kardeşim Derya DAĞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Serhat DAĞ

Trabzon 2007

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı	4
1.3. Çalışma Alanının Konumu.....	5
1.4. Ulaşım ve Yerleşim Durumu.....	6
1.5. Morfoloji	6
1.6. İklim ve Bitki Örtüsü.....	7
1.7. Literatür Çalışmaları	11
1.7.1. İnceleme Alanı ve Yakın Çevresi ile İlgili Jeolojik Çalışmalar.....	11
1.7.2. Heyelan Duyarlılık Analizleri ile İlgili Çalışmalar	14
1.8. Heyelan Duyarlılık Analizlerine İlişkin Genel Değerlendirme.....	25
1.8.1. Duyarlılık, Tehlike ve Risk Kavramları.....	29
1.8.2. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Yöntemler.....	31
1.8.2.1. Kalitatif (Niteliksel) Yöntemler	32
1.8.2.1.1. Jeomorfolojik Analizler.....	33
1.8.2.1.2. Parametre Haritalarının Kullanılması.....	33
1.8.2.2. Kantitatif (Niceliksel) Yöntemler.....	34
1.8.2.2.1. İstatistiksel Analizler	35
1.8.2.2.1.1. İki Değişkenli İstatistiksel Analizler	35
1.8.2.2.1.2. Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler.....	36
1.8.2.2.2. Jeoteknik Yaklaşımlar	37

1.8.2.2.2.1.	Deterministik Analizler	38
1.8.2.2.2.2.	Olasılık Yaklaşımı	38
1.8.2.2.3.	Yapay Zeka Yöntemleri	38
1.8.2.2.3.1.	Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Yaklaşımı	39
1.8.2.2.3.2.	Yapay Sinir Ağlarının (Artificial Neural Network) Kullanımı	40
1.8.3.	Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Ölçekler ...	41
1.8.4.	Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametreler	43
1.8.4.1.	Yamaç Eğimi	46
1.8.4.2.	Litoloji-Ayrışma	47
1.8.4.3.	Yamaç Eğim Yönü (Bakı)	48
1.8.4.4.	Arazi Örtüsü	49
1.8.4.5.	Yükseklik	50
1.8.4.6.	Drenaj Ağı	51
1.8.4.7.	Ana Faylara Yakınlık	51
1.9.	Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)	52
1.9.1.	Uzaktan Algılama	54
1.9.1.1.	Hava Fotoğrafı	55
1.9.1.2.	Uydu Görüntüleri	56
1.9.1.2.1.	Uydu Verilerinin Analizi	57
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	59
2.1.	Giriş	59
2.2.	Arazi Çalışmaları	59
2.3.	Laboratuar Çalışmaları	63
2.4.	Bilgisayar Destekli Büro Çalışmaları	64
3.	BULGULAR	66
3.1.	Bölgesel Jeoloji	66
3.2.	Çayeli ve Çevresinin Genel Jeolojisi	68
3.2.1.	Hemşindere Formasyonu	68
3.2.2.	Kaçkar Granitoyidi	75
3.2.3.	Melyat Formasyonu	78
3.2.4.	Pazar Formasyonu	81
3.2.5.	Taraça ve Alüvyon	84

3.3.	Yapısal Jeoloji	84
3.4.	Ayrışma	86
3.4.1.	Çayeli ve Çevresindeki Kayaçların Ayrışma Tanımlaması ve Sınıflandırılması	87
3.4.2.	Ayrışmış Kayaçların Jeoteknik Özellikleri	91
3.4.2.1.	İndeks Özellikleri	91
3.4.2.2.	Tane Boyu Dağılımları	92
3.4.2.3.	Kıvam Limitleri	92
3.4.2.4.	Kayma Dayanımı	95
3.4.3.	Ayrışmış Kayaçların Kil Mineral Türlerinin Tayini	96
3.5.	Çayeli ve Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi	99
3.5.1.	Kütle Hareketleri ve Genel Özellikleri	99
3.5.2.	Çalışma Alanındaki Heyelanlar ve Genel Özellikleri	101
3.5.3.	Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametreler	103
3.5.3.1.	Heyelan Envanteri	103
3.5.3.2.	Litoloji-Ayrışma	108
3.5.3.3.	Topoğrafik Yükseklik	112
3.5.3.4.	Yamaç Eğimi	116
3.5.3.5.	Yamaç Eğim Yönü (Bakı)	119
3.5.3.6.	Arazi Örtüsü	122
3.5.3.6.1.	ASTER Algılayıcısı ve Genel Özellikleri	122
3.5.3.7.	Akarsuya Yakınlık	128
3.5.3.8.	Yola Yakınlık	131
3.5.4.	Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi	134
3.5.4.1.	İki Değişkenli İstatistiksel Analiz	134
3.5.4.2.	Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz	140
3.5.4.2.1.	Mantıksal Regresyon Analizi	142
3.5.4.2.1.1.	Heyelan Duyarlılık Haritasının Mantıksal Regresyon Analizi ile Üretilmesi	145
4.	İRDELEME	156
4.1.	Çalışmada Kullanılan Parametreler	157
4.1.1.	Jeolojik Parametreler	158
4.1.2.	Topoğrafik Parametreler	159
4.1.3.	Çevresel Parametreler	160

4.2.	Çalışmada Kullanılan Yöntemler	161
5.	SONUÇLAR	165
6.	ÖNERİLER	170
7.	KAYNAKLAR.....	172
8.	EKLER	188
	ÖZGEÇMİŞ	228

ÖZET

Bu çalışmada, Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

Çayeli ve çevresinin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış ve litostratigrafi birimleri yaşlıdan gence doğru; Hemşindere Formasyonu (Santoniyen-Maastrichtiyen), Kaçkar Granitoyidi (Geç Maastrichtiyen), Melyat Formasyonu (Erken-Orta Eosen), Pazar Formasyonu (Sarmasiyen) ve Alüvyon (Kuvaterner) olarak ayırtlanmıştır.

İklimsel koşulların ön plana çıktığı çalışma alanındaki kayalarda yüzeysel ayrışma büyük öneme sahiptir. Bölgede 23 Temmuz 2002 ve takip eden birkaç günlük sürede gerçekleşen aşırı ve şiddetli yağışların tetiklemesi ile özellikle yüksek derecede ve tamamen ayrılmış kayalarda çok sayıda heyelan meydana gelmiştir. Bu heyelanlara ait envanter haritası arazi çalışmaları neticesinde hazırlanmıştır.

Çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknikleri ile farklı kaynaklardan toplanan veriler değerlendirilmiştir. İki değişkenli istatistiksel analiz ve Mantıksal regresyon analizi kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Üretilen duyarlılık haritalarında, çok az duyarlı, az duyarlı, duyarlı, yüksek duyarlı ve çok yüksek duyarlı olmak üzere 5 farklı duyarlılık alanı ayırtlanmıştır. Üretilen duyarlılık haritalarının performans analizleri, mevcut heyelanlarla duyarlılık haritaları karşılaştırılarak yapılmıştır. İki değişkenli istatistiksel analizle üretilen duyarlılık haritasında toplam alanın % 15'i, heyelanların ise % 81'i, mantıksal regresyonla üretilen duyarlılık haritasında ise, toplam alanın % 19'u, mevcut heyelanların ise % 92'si duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda tespit edilmiştir. Her iki analizden elde edilen sonuçlara göre üretilen duyarlılık haritalarının performans analizleri, haritaların kullanılabilirliğini göstermektedir. Parametrelerin bir arada değerlendirildiği daha yüksek performans gösteren mantıksal regresyon analizi sonuçları göreceli olarak tercih edilmektedir. Ancak üretilen haritaların gerçek performansı, gelecekte bölgede Temmuz 2002 tarihinde meydana gelen meteorolojik olayın benzeri bir gelişme yaşandığı zaman değerlendirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan duyarlılık haritası, envanter haritası, Coğrafi Bilgi Sistemleri, İki Değişkenli İstatistiksel Analiz, Mantıksal Regresyon Analizi

SUMMARY

Landslide Susceptibility Analysis of Çayeli Region (Rize) by Statistical Methods

In this study, landslide susceptibility analysis of Çayeli Region (Rize) was performed by using statistical analysis methods.

By preparing a 1/25000 scale geological map of Çayeli Region, lithostratigraphic units were separated from oldest to youngest as follows; Hemşindere Formation (Santoniyen-Maastrichtiyen), Kaçkar Granitoid (Late Maastrichtiyen), Melyat Formation (Early-Middle Eosen), Pazar Formation (Sarmatian) and alluvium (Quaternary).

Surficial weathering, on rocks of study area where climatic conditions presence to be on first place, has great importance. In the region, due to triggering of heavy rainfalls on 23rd of July 2002 and during the a couple of days, numerous landslides occurred especially highly and completely weathered rocks. Inventory maps of these landslides were prepared by field works.

In this study, data obtained from different sources were evaluated by Geographical Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) techniques. Landslide susceptibility maps were produced using bivariate statistical analysis (BSA) and logistic regression analysis (LRA). On these susceptibility maps, five different susceptibility area were separated. These are as follows; very low, low, medium, high and very high susceptible area. Performance analysis of these maps were carried out by comparing the actual landslides. On susceptibility maps, produced with BSA 15 % of total area and 81 % of landslides, produced by LRA 19 % of total area and 92 % present landslides were determined as susceptible, high and very high susceptible areas. According to the results obtained from both analysis, performance analysis of susceptibility maps showed that these produced maps are suitable for use. LRA result where parameters evaluated all together and have higher performance might be preferred relatively. However, in future true performance of produced maps, will be evaluated when similar case of July 2002 meteorological event was happened.

Key Words: Landslide susceptibility map, inventory map, Geographical Information Systems, Bivariate statistical analysis, Logistic regression analysis

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası	5
Şekil 2. Ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı	9
Şekil 3. Ortalama yağış değerlerinin aylara göre dağılımı	9
Şekil 4. Rize ili Temmuz ayı toplam yağış değerleri (1975-2006).....	10
Şekil 5. Heyelan değerlendirme yöntemleri.....	32
Şekil 6. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntemlerin genel bir değerlendirmesi	41
Şekil 7. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametreler ..	44
Şekil 8. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelerin kullanım sıklıkları	45
Şekil 9. Yapılan çalışmalara ait iş akış diyagramı	60
Şekil 10. Çalışma alanı ve yakın çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Korkmaz ve Gedik, 1988)	67
Şekil 11. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti	69
Şekil 12. Çayeli ve çevresinin genel jeoloji haritası	70
Şekil 13. Hemşindere Formasyonu'na ait andezit-bazalt ve piroklastlarının görünümü.....	71
Şekil 14. Hemşindere Formasyonu'na ait dasit ve piroklastlarının görünümü.....	72
Şekil 15. Hemşindere Formasyonundan alınan kayaçlara ait ince kesit fotoğrafları...75	75
Şekil 16. Kaçkar Granitoyidi'nin arazi görünümü.....	76
Şekil 17. Kaçkar granitoyidinden alınan kayaçlara ait ince kesit fotoğrafları.....	78
Şekil 18. Melyat Formasyonu'na ait kayaçların arazi görünümü	79
Şekil 19. Melyat Formasyonu'ndan alınan kayaçlara ait ince kesit fotoğrafları	81
Şekil 20. Pazar Formasyonu'na ait kayaçların arazi görünümü	82
Şekil 21. Feldispatlı kayaç kırıntılı kumtaşının mikroskobik görünümü.....	83
Şekil 22. Hemşindere Formasyonu'ndan alınan çatlak ölçülerinden yararlanarak çizilen çatlak kontur diyagramı	85
Şekil 23. Peltier (1950) diyagramına göre çalışma alanında etkili olan ayrışma türü.....	87
Şekil 24. İnceleme alanında kayaçlardaki farklı ayrışma dereceleri.....	90
Şekil 25. İncelenen zemin malzemelerinin granülometri eğrileri.....	93

Şekil 26.	İncelenen zemin örneklerinin likit limit değerlerine ait grafikler.....	94
Şekil 27.	İncelenen zemin örneklerinin kayma dayanımı parametrelerini belirleme grafikleri	96
Şekil 28.	Yüksek derecede ve tamamen ayrışmış kayaçlarda elde edilen kil fraksiyonlarının yönsüz X-ışınları difraktogramları.....	98
Şekil 29.	Farklı türlerde gelişen bazı kütle hareketlerine ait blok diyagramlar	100
Şekil 30.	İdeal bir heyelana ait blok diyagram	101
Şekil 31.	Çalışma alanında gözlenen heyelan türlerine ait blok diyagram ve şematik şekiller	102
Şekil 32.	Çayeli ve çevresinin heyelan envanter haritası.....	105
Şekil 33.	Heyelanların uzunluk, genişlik ve alanlarına ilişkin histogramlar	106
Şekil 34.	Çalışma alanındaki heyelanların görünümü	107
Şekil 35.	Çayeli ve çevresinin litoloji-ayırışma haritası	110
Şekil 36.	Litoloji-ayırışma sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar	111
Şekil 37.	Çayeli ve çevresinin sayısal yükseklik modeli	113
Şekil 38.	Çayeli ve çevresinin yükseklik haritası	114
Şekil 39.	Yükseklik sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar	115
Şekil 40.	Çayeli ve çevresinin eğim haritası	117
Şekil 41.	Eğim sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar	118
Şekil 42.	Çayeli ve çevresinin yamaç eğim yönü (bakı) haritası.....	120
Şekil 43.	Eğim yönü (bakı) sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar	121
Şekil 44.	ASTER sensörlerinin elektromanyetik spektrumdaki dağılımı ve spektral aralıkların Landsat ile karşılaştırması	123
Şekil 45.	Aster L3A uydu görüntüsü	124
Şekil 46.	Çayeli ve çevresinin arazi örtüsü haritası	126
Şekil 47.	Arazi örtüsü sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar..	127
Şekil 48.	Çayeli ve çevresinin akarsuya yakınlık haritası.....	129
Şekil 49.	Akarsuya yakınlık sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar	130
Şekil 50.	Çayeli ve çevresinin yola yakınlık haritası.....	132
Şekil 51.	Yola yakınlık sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar	133
Şekil 52.	Duyarlılık haritasının oluşturulma aşaması	137
Şekil 53.	Çayeli ve çevresinin iki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile	

	hazırlanmış heyelan duyarlılık haritası.....	138
Şekil 54.	Duyarlılık sınıflarına karşılık gelen toplam alan ve heyelanların yüzde dağılımı.....	139
Şekil 55.	Gözlenen (1/0) oranına karşı kabul edilebilir (uygun) 0/1 oranları.....	147
Şekil 56.	Mantıksal regresyon analizi işlem akış şeması.....	150
Şekil 57.	Çayeli ve çevresinin mantıksal regresyon analizi ile hazırlanmış heyelan duyarlılık haritası	151
Şekil 58.	Mantıksal regresyon modeline göre geliştirilen ROC eğrisi	154
Şekil 59.	Duyarlılık analizine ilişkin performans analizi histogramı	154
Şekil 60.	Rize ili 2002 yılı Temmuz ayına ait günlük yağış verileri	155
Şekil 61.	Ülkemizde gerçekleştirilen heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması ile ilgili çalışmalar	157
Şekil 62.	Farklı duyarlılık haritalarında, duyarlılık sınıflarındaki toplam alanların dağılımı	163
Şekil 63.	Farklı duyarlılık haritalarında, duyarlılık sınıflarındaki heyelanlı alanların dağılımı	163

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Rize ili sıcaklık ve yağış değerlerine ait meteorolojik veriler	8
Tablo 2. Rize iline ait Thorntwaite yöntemiyle hesaplanmış hidrolojik bilanço verileri.....	10
Tablo 3. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntem ve parametreler	26
Tablo 4. Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan ölçekler.....	42
Tablo 5. ISRM (1981) tarafından önerilen ayrışma sınıflandırması ve tanımlama kriterleri	88
Tablo 6. Tamamen ayrılmış kayaçların indeks özellikleri	91
Tablo 7. IAEG'nin (1976) Likit limit değerine göre zemin sınıflaması	94
Tablo 8. Tamamen ayrılmış kayaçların USCS'e göre sınıflandırılması.....	95
Tablo 9. Kütle hareketlerinin sınıflandırılması EPOCH (1993)	100
Tablo 10. Çalışma alanında tespit edilen heyelanların alanları	104
Tablo 11. Litoloji-ayrışma sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.....	109
Tablo 12. Yükseklik sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler	112
Tablo 13. Eğim sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler	116
Tablo 14. Yamaç eğim yönü (bakı) sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.....	119
Tablo 15. ASTER algılayıcısına ilişkin genel özellikler.....	124
Tablo 16. ASTER L3A görüntü metaverisi	125
Tablo 17. Arazi örtüsü sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.....	127
Tablo 18. Akarsuya yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler	128
Tablo 19. Yola yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler.....	131
Tablo 20. İki değişkenli istatistiksel analiz için parametre ağırlık değerleri ve puanları	135
Tablo 21. Analiz sonuçlarına ilişkin kestirim yüzdeleri	148
Tablo 22. Analiz sonucunda elde edilen β katsayıları, standart hata ve test istatistiği değerleri	152
Tablo 23. (1)-(0) ve genel doğruluğa ilişkin kestirim yüzdeleri.....	153

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Parametre sınıfındaki piksel sayısı
AA	: Az ayrışmış
B	: Parametre sınıfındaki heyelanlı piksel sayısı
BSA	: Bivariate statistical analysis
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
Ep	: Epidot
Etp	: Potansiyel buharlaşma-terleme
Etr	: Gerçek buharlaşma-terleme
Fo	: Fosil
GIS	: Geographical Information Systems
Horn	: Hornblend
Kl	: Klorit
Kp	: Kayaç Parçası
Ku	: Kuvars
LL	: Likit limit
LRA	: Logistic regression analysis
Mi	: Mikrit
ODA	: Orta derecede ayrışmış
Oj	: Ojit
Op	: Opak
Or	: Ortoklas
P	: Yağış
PL	: Plastik limit
Pl	: Plajiyoklas
PI	: Plastisite indisi
RS	: Remote sensing
Ru	: Faydalı su rezervi
TA	: Tamamen ayrışmış
UA	: Uzaktan Algılama
YDA	: Yüksek derecede ayrışmış
e	: Boşluk oranı (%)
n	: Porozite (%)
Sr	: Doygunluk derecesi (%)
ω	: Doğal su muhtevası (%)
W	: Parametre ağırlık değeri
γ_d	: Doygun birim hacim ağırlık (gr/cm^3)
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm^3)
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlık (gr/cm^3)
γ_s	: Tane birim hacim ağırlık (gr/cm^3)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

20. yüzyılın başlarından itibaren dünyada yaşanan teknolojik gelişmeler ve sanayileşmenin artması sonucunda gelişen bir kentleşme süreci yaşanmaktadır. Buna paralel olarak nüfus artışı ile birlikte yeni yerleşim alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüzde yerleşim alanlarının hem bu şekilde mecburi hem de bilinçsizce genişlemesi, yaşanan doğal afetlerin etkilerini önemli derecede artırmaktadır.

Dünyada meydana gelen doğa olayları insan hayatı ve çevresel koşulları olumsuz yönde etkilediği takdirde doğal afet olarak adlandırılmaktadır. Deprem, heyelan, volkanik aktivite, çığ, fırtına ve sel olayları başlıca doğal afetlerdendir. Yapılan farklı çalışmalar ve bu çalışmalara ilişkin değerlendirmelerde, yaşanan doğal afetlerle ilgili olarak değişik oranlar söz konusudur. Ancak bu oranlar değişse de, depremden sonra yaşamı etkileyen en önemli doğal afetin heyelanlar olduğu, değişmeyen bir gerçektir. Dünyada meydana gelen heyelanlardan dolayı binlerce insan hayatını kaybetmekte, bunun yanı sıra ülke ekonomileri büyük kayıplara uğramaktadır. Örneğin; Amerika Birleşik Devletleri'nde deprem, sel, fırtına vb. doğal afetlerden kaynaklanan hasarın % 17'lik kısmını heyelanlar oluşturmakta, her yıl yüzlerce insan hayatını kaybetmekte ve bu heyelanların ülke ekonomisine olan toplam zararı, yıllık olarak ortalama 1-2 milyar doları bulmaktadır. Japonya' da doğal afetlerden dolayı meydana gelen can kayıplarının % 45'i heyelanlardan kaynaklanmaktadır (Aytekin, 2003). Benzer şekilde İtalya'da doğal afetler sonucunda meydana gelen zararların % 37'si heyelanlardan kaynaklanmaktadır (Ercanoğlu, 2003).

Ülkemiz, gerek morfolojik yapısı ve coğrafik konumu gerekse iklim özellikleri nedeniyle, can kayıpları ve büyük ekonomik zararlara neden olan doğal afetlerle sık sık karşılaşmaktadır. Türkiye'de yaşanan doğal afetler içerisinde verdiği kayıplar açısından depremler % 53 ile ilk sırada yer alırken, heyelanlar % 18 ile ikinci sırayı almaktadır. Afet İşleri Genel Müdürlüğü verilerine göre, son 50 yıllık süre içerisinde heyelanlardan kaynaklanan maddi zararların ülke ekonomisine maliyeti 4,5 milyar YTL. dir. Bu rakamlar sadece kaybedilen ve yapılan konutlar için geçerli olup, bu rakamlara yeni yerleşim yerleri belirlemeye yönelik çalışmalar, geçici iskan maliyetleri, arazi çalışma maliyetleri, zaman ve iş gücü kaybı vb. diğer kayıp, gider ve harcamalar dahil edilmemiştir. Bu rakamlara

endüstriyel ve tarımsal üretimlerde meydana gelen zararlar, çevresel ortamda oluşan hasarlar ve diğer dolaylı etkilenme sonucu oluşabilecek zarar ve kayıplar da eklendiği takdirde bu ekonomik maliyetin kat kat arttığı görülecektir. Ülkemizde son 55 yıllık dönemde meydana gelen heyelan sayısı 12794'tür. Bu heyelanlardan en fazla Trabzon (1016), Rize (869), Kastamonu (583) ve Erzurum (467) illerimiz etkilenmiştir. Benzer değerlendirme ilçelerimiz bazında yapıldığında ise; sırasıyla Maçka (Trabzon) 204, Ulus (Bartın) 197, Çayeli (Rize) 194, Akçaabat (Trabzon) 174, Yenice (Karabük) 168, Pazar (Rize) 163 ve Rize (Merkez) 152, en fazla sayıda heyelan olan ilçelerdir (Gökçe vd., 2006). Bu heyelanlarda binlerle ifade edilecek sayıda insanımız da hayatını kaybetmiştir.

Ülkemizin de içerisinde yer aldığı gelişmekte olan birçok ülkede gerek ekonomik gerekse diğer sosyal koşullardan dolayı doğal afet zararlarının önlenmesine yönelik çalışmalar ve bu konudaki yatırımlar yetersiz kalmaktadır. Bunun bir sonucudur ki; dünya bankası verilerine göre (Kremier ve Arnould, 2000), doğal afetlerden kaynaklanan can kayıplarının % 95'i az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde meydana gelmektedir. ABD ve Japonya gibi gelişmiş ülkeler içinde buldukları coğrafik, jeolojik ve morfolojik koşullardan dolayı heyelan vb. doğal afetlerden daha fazla etkilenmektedir. Ancak, yine dünya bankası verilerine göre, bu ülkelerde meydana gelen heyelanların oluşturduğu ekonomik zarar gelişmekte olan ya da az gelişmiş ülkelere çok fazla olmasına rağmen, gelişmiş ülkeler bu zararlardan daha az etkilenmektedirler.

Bununla beraber, heyelanların insan yaşamını doğrudan ya da dolaylı olarak olumsuz yönde etkilemesi, konuya olan hassasiyeti gün geçtikçe arttırmaktadır. Daha önceleri yerel duraysızlıkların incelenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar, günümüzde daha geniş alanlara yönelik bölgesel değerlendirmeler yönünde artmaktadır. Bazı ülkelerde hükümetler, devlet kurumları, üniversiteler ve araştırma merkezleri heyelan tehlike ve risklerini değerlendirmek için, öncelikli olarak mevcut heyelanların alansal dağılımlarını (envanter) haritalamaya yönelik çalışmalar yapmaktadır. Üretilen envanter haritalarının değerlendirilmesi ile heyelanlara ilişkin duyarlılık değerleri hesaplanabilmekte, tehlike ve risk değerlendirmeleri yapılabilmektedir. Bu türde yapılan çalışmalar genel olarak karşılaştırıldığında, heyelan duyarlılık haritalarına yönelik çalışmaların tehlike ve risk haritalarına yönelik çalışmalara oranla daha ileri düzeyde olduğu dikkati çekmektedir. Heyelan duyarlılık haritaları, genel anlamda herhangi bir bölge içerisindeki alanların göreceli olarak heyelana olan hassasiyetinin sınıflandırılmasıdır. Bu çalışmalar için, bölgedeki heyelanlara ilişkin bir envanter haritası

ve heyelan oluşumuna neden olan faktörlere ait genel bir veri tabanının oluşturulması yeterlidir. Dolayısıyla tehlike ve risk haritalarına yönelik çalışmalara göre daha az maliyet ve insan kaynağı gerektirmektedir. Başka bir ifadeyle, duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesi daha rahat uygulanabilir çalışmaları içerirken, tehlike ve risk araştırmaları sürekli olarak kayıt edilmiş veri gerektiren ve bu nedenle gerçekleştirilmesi daha güç olan çalışmaları içermektedir (Gökçeoğlu vd., 2006).

Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminin tehlike ve risk haritalarının üretimine oranla çok fazla olmasına rağmen, uygulayıcılar arasında hem harita üretimi yöntemlerinde hem de parametre seçimi ile ilgili olarak henüz bir görüş birliğine varılmamıştır. Heyelan duyarlılık analizlerinde değişik bölgelerde, farklı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda litoloji, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü (bakı), arazi örtüsü gibi araştırmacıların üzerinde ortak fikirde olduğu parametrelerin de içerisinde bulunduğu yaklaşık 20'nin üzerinde parametre kullanılmaktadır (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Lee ve Min, 2001; Donati ve Turruni, 2002; Lee vd., 2002; Zhou vd., 2002; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002; Dai ve Lee, 2002; Santacana vd., 2003; Ohlmacher ve Davis, 2003; Ayalew vd., 2004; Lee, 2005; Ayalew ve Yamagishi 2005; Akgün ve Bulut, 2007).

Bununla birlikte, özellikle son yıllarda Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) konularındaki teknolojik gelişmeler, duyarlılık haritalarının üretilmesinde sıkça kullanılmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri teknolojileri ile veri toplamak, analiz etmek ve gerekli format biçiminde kullanıcıya bilgi sunmak mümkündür. Yine uzaktan algılama teknikleri ile geniş alanlardan sağlanan bilgi ve verilerin CBS ortamında yönetimi, konumsal analizi ve sonuçların grafik olarak görüntülenmesi gibi üstünlükleri söz konusudur. Birbirleri ile entegre olan CBS ve UA teknikleri duyarlılık haritalarının daha hızlı ve verimli bir şekilde üretilmesinde birer araç olarak yapılan bir çok çalışmada kullanılmaktadır (Guzzetti vd. 2000; Lee ve Min, 2001; Baeza ve Corominas, 2001; Dai vd., 2001; Zhou vd. 2002; Clerici vd., 2002; Dai ve Lee, 2002; Ercanoğlu vd., 2003; Ohlmacher ve Davis, 2003; Süzen ve Doyuran, 2004a,b; Santanaca vd., 2003; Van Westen vd., 2003; Remondo vd., 2003; Çevik ve Topal, 2003; Lee, 2004; Ayalew ve Yamagishi, 2005; Lee, 2005; Yeşilnacar ve Topal, 2005; Çan vd., 2005; Akgün ve Bulut, 2007).

Özet olarak, heyelanların insan yaşamına olan direkt ve dolaylı etkisinin azaltılmasında, gerek mühendislik yapılarının tasarımında gerekse yeni yerleşim alanlarının seçiminde ve şehir ve bölge planlamalarına yönelik yapılacak çalışmalarda duyarlılık haritalarının kullanımı önemli katkılar sağlayacaktır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Ülkemizin en fazla yağış alan ve engebeli bölgelerinden biri olan Karadeniz Bölgesi ve özellikle de Doğu Karadeniz Bölümü'nde meydana gelen doğal afetlerin başında heyelanlar gelmektedir. Bu heyelanlar hem can kayıpları hem de büyük ekonomik zararlara neden olmaktadır. Her ne kadar ülkemizde, doğal afetler içerisinde verdiği kayıplar açısından depremler ilk sırada yer alsada, bölge açısından heyelanların oluşturduğu hasar, uzun vadeli olarak dikkate alındığında, depremden daha büyük olmaktadır.

Sarp topoğrafyası nedeni ile yerleşim alanlarının zaten sınırlı olduğu bölgede, bir de artan nüfus yoğunluğundan dolayı günümüzde heyelan alanlarında plansız yapılaşma halen devam etmektedir. Bu durum alt yapı hizmetleri üzerinde ileride heyelan nedeniyle meydana gelebilecek zararları artıracaktır.

Sahanın fiziki yapısı dikkate alınmadan artan plansız ve dikkatsiz yapılaşma ve projelendirmeler nedeni ile heyelan açısından riskli alanlar hem yerleşim alanı hem de mühendislik yapı alanları (yol, baraj, köprü v.b.) olarak kullanılmaktadır. Sonuçta bu alanlar meydana gelen heyelanlar nedeni ile kullanılamaz hale gelmekte, netice itibari ile beraberinde getirdiği büyük sosyal ve ekonomik kayıplarla terk edilmek zorunda kalmaktadır. Soruna çözüm olması bakımından riskli alanların belirlenmesi kaçınılmaz bir gerçektir.

Heyelan zararlarının azaltılması yönünde yapılan çalışmaların en önemli aşamasını ve başlangıcını, çalışılan bölgenin heyelan envanteri ve bunun değerlendirilmesi ile oluşturulan duyarlılık haritasının hazırlanması oluşturmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Rize İli Çayeli İlçesi ve Çevresi'nin heyelan duyarlılık analizi yapılarak, öncelikle yerleşim alanları ve mühendislik yapı alanları için uygun yer seçiminin belirlenmesi ve mevcut risk durumuna göre gerekli tedbirlerin alınması ile heyelanların can ve mal kaybı üzerindeki olumsuz etkilerinin asgari seviyeye indirilmesi amaçlanmaktadır.

1.3. Çalışma Alanının Konumu

İnceleme alanı, Doğu Karadeniz Bölümü'nde Rize iline bağlı Çayeli ilçesi ile Büyükköy ve Madenli belediyeleri sınırları içerisinde bulunmaktadır. Artvin F45-c4 ve F45-d3 paftalarında yer alan çalışma sahası yaklaşık 160 km² dir (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası ([http://: earth.google.com](http://earth.google.com)).

1.4. Ulaşım ve Yerleşim Durumu

İnceleme alanının en önemli yerleşim birimi Çayeli ilçe merkezidir. Rize-Artvin Devlet Karayolunun 17. km'sinde, Karadeniz sahil kesiminde yer alan ilçe merkezine ulaşım sahil yolu ile sağlanmaktadır. Yapımına 2000 yılında başlanan ve bitmek üzere olan Karadeniz otoyolu projesinin tamamlanmasıyla ilçe, daha modern bir ulaşım ağına sahip olacaktır. Çalışma sahası sınırları içerisindeki Büyükköy ve Madenli belediyeleri önemli birer yerleşim merkezleridir. Çayeli ilçe merkezinin güneybatı kesiminde, 12 km uzaklıkta yer alan Büyükköy belediyesi ile ilçe merkezinin 9 km güneyinde yer alan Madenli belediyelerine olan ulaşım sahil yolundan içeri doğru asfalt karayolları ile sağlanmaktadır. İnceleme alanındaki diğer yerleşim yerlerinin başlıcaları, Limanköy, Sabuncular, Abdullahoca, Şirinköy, Akpınar, Demirhisar, Yenihisar, Gürgenli, Kaynarca, Tüysüzler, Kazancılar ve Gümüştaş köyleridir. Bu yerleşim yerlerine olan ulaşım çoğunlukla asfalt yollarla sağlanmakta olup, bazı kesimlerde stabilize yollar kullanılmaktadır. 2002 yılında meydana gelen sel ve heyelan felaketi nedeniyle ikinci derecedeki ulaşım yollarının çoğu büyük ölçüde hasar görmüş ve bu durum iç kesimlerde yer alan yerleşim yerlerine olan ulaşımı olumsuz yönde etkilemiştir. Bu alanlarda gerçekleştirilen yol onarım ve yenileme çalışmalarının tamamlanması ile mevcut ulaşım sorunu çözüme ulaştırılmıştır. Daha iç kesimlerde dağınık halde gelişmiş olan yerleşim yerlerine ise ulaşım stabilize yollarla sağlanmaktadır.

1.5. Morfoloji

Doğu Karadeniz Bölümü'nün geneli incelendiği zaman, morfolojik açıdan üç ana unsur dikkati çekmektedir. Bunlardan ilki, kıyı şeridine paralel olarak doğu-batı doğrultusunda uzanan ve yükseklikleri yer yer 3000 m'yi aşan dağlık kesimdir. Bu alanlar çok engebeli olup sarp bir topoğrafyaya sahiptir. Morfolojik olarak ikinci bölümü, deniz ve derelerin şekillendirdiği kıyı kesimi oluşturmaktadır. Üçüncü bölüm ise, yarı dağlık morfolojik özelliklere sahip plato ve tepelik alanlardır. Bu alanlar, derin ve çok eğimli vadiler ile drenaj alanları dar olan dereler tarafından yarılmıştır. Çalışma alanı, yarı dağlık ve kıyı kesimine ait morfolojik özelliklere sahiptir.

Sahil kesiminden itibaren iç kesimlere doğru gidildikçe ani yükselen yamaçlar yer almaktadır. Bu yamaçların ortalama eğimleri 25 ila 40 derece arasında değişmektedir.

İnceleme alanının önemli yükseltileri Karaağaçlı Tepe (1013 m), Aknel Tepe (986 m), Topkaya Tepe (970 m), Kayalarbaşı Tepe (930 m), Livra Tepe (703 m), Kutak Tepe (683 m), Gölünpos Tepe (609 m) ve Kestane Tepe (460 m) dir.

Bölgenin morfolojik yapısına uygun olarak çok sayıda düzenli ve düzensiz akış rejimine sahip akarsular mevcut olup, bunlar dentritik bir drenaj ağı oluşturmaktadır. Çalışma alanı içerisindeki dereler, 8-10 km'lik akış mesafelerinde yaklaşık 1000 m'ye ulaşan kot farkına sahip, eğimli vadiler içerisinde akmaktadır. Bu durum akış hızını artırmakta ve daha fazla miktarda malzemenin taşınmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra akarsuların dere yatakları boyunca yamaç topuklarını aşındırması da söz konusudur. Akarsuların mansap bölümünün 3-5 km'lik kısmında eğimler daha az ve vadiler nispeten daha geniştir. Eğimli ve dar vadiler boyunca akan derelerin taşıdıkları malzemeler bu alanlarda birikmektedir. Dolayısıyla yaşanan taşkın olaylarında yerleşimin en yaygın olduğu kıyı bölgeleri en fazla zarar gören alanları oluşturmaktadır.

İnceleme alanındaki akarsular genellikle güneyden kuzeye doğru akan ve derin vadiler oluşturan dereler halindedir. Bunlar içerisinde Beyazsu, Sabuncular, Büyükdere, Ağlamışlar, Hongra ve Çolaklıhoca dereleri önemli olanlarıdır. Her mevsim bol miktarda su taşıyan bu dereler irili ufaklı birçok sayıda yan dereler tarafından beslenmektedir.

1.6. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanında Doğu Karadeniz Bölümü'ne özgü, ılıman ve her mevsim bol yağışlı olan iklim koşulları hüküm sürmektedir. Karadeniz Bölgesi genel olarak incelendiğinde sıcaklık değerleri hemen hemen tüm bölge için birbirine benzer değerler sunmaktadır. Buna karşın, kuzeybatı yönlü (karayel) rüzgarlarla yükselerek yoğunlaşan bulutlar, bölgenin doğusunda havzaya daha fazla miktarda yağışın düşmesine neden olmaktadır. Sahil kesiminde yağışlar yağmur şeklinde, daha yüksek olan iç kesimlerde yazın yağmur, kışın kar şeklindedir. Son 32 yıllık dönemin ortalama sıcaklık ve yağış değerlerini içeren meteorolojik veriler incelendiğinde (Tablo 1, Şekil 2), aylara göre ortalama sıcaklık değerlerinin yıl içerisinde 6.2 ila 23.1 °C arasında değiştiği görülmektedir. İnceleme alanında en düşük sıcaklıklar Ocak ve Şubat aylarında, en yüksek sıcaklık ise Ağustos ayındadır. Yıllık ortalama sıcaklık değeri 14.1 °C dir. Ülkemizin en bol yağış alan bölgesi özelliğini gösteren çalışma alanında yıllık ortalama yağış miktarı 2238.5 mm'dir. Yıl içerisinde en fazla yağış Ekim, Kasım ve Aralık aylarında yani

sonbahar mevsiminde gözlenmektedir (Şekil 3). Yağışın en az olduğu ay ise 92.8 mm'lik yağış değeri ile Nisan ayıdır. Yıl içerisinde ortalama yağışlı gün sayısı 173 dür. Ortalama nispi nem değerinin % 77 olduğu yörede, hakim rüzgar yönü Karayel (kuzeybatı) dir.

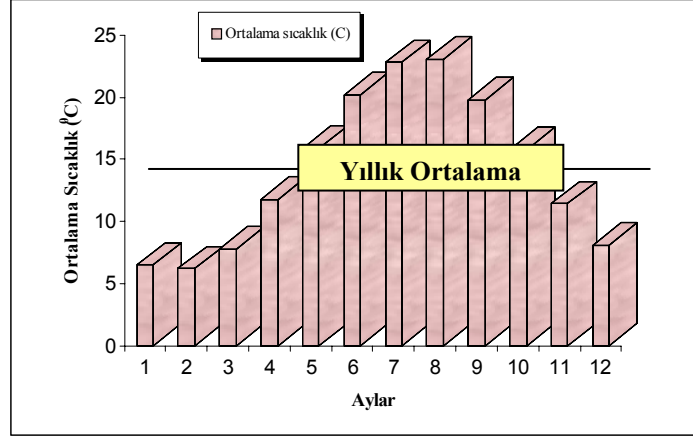
Tablo1. Rize ili sıcaklık ve yağış değerlerine ait meteorolojik veriler (1975-2006, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü).

	En yüksek sıcaklık (°C)	En düşük sıcaklık (°C)	Ortalama sıcaklık (°C)	Aylık yağış toplamı (mm)	Yağışlı gün sayısı	Nispi nem (%)
Ocak	23.4	-5.6	6.5	211.3	15	73
Şubat	26.6	-6.2	6.2	182.2	15	74
Mart	31.3	-7.0	7.8	143.3	15	75
Nisan	32.5	-1.6	11.8	92.8	15	77
Mayıs	38.2	4.6	15.9	98.6	14	80
Haziran	34.5	7.5	20.2	138.4	14	78
Temmuz	32.5	12.9	22.8	136.9	14	80
Ağustos	35.6	13.5	23.1	174.8	14	81
Eylül	33.2	4.6	19.8	241.6	15	81
Ekim	33.8	2.5	15.8	314	15	79
Kasım	30.4	-4.8	11.4	255.2	13	77
Aralık	26.2	-5.4	8.1	249.5	14	72
Toplam	31.5	1.3	14.1	2238.5	173	77

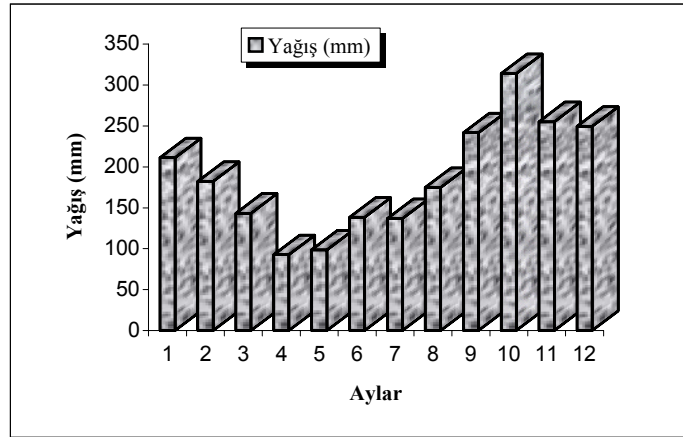
Hemen hemen her mevsim bol yağışlı bir iklimin hüküm sürmesi, yörede bitki örtüsünün gür ve çeşitli olmasına neden olmuştur. İklimle ilgili olarak gelişmiş olan bitki örtüsü topoğrafik yüksekliklere göre değişim göstermektedir. Sahil şeridinden içeri doğru 0-750 m yükseklikleri arasında daha çok tarım alanları, çaylıklar ve kızılbaş, kayın, kestane, ıhlamur, çınar, gürgen gibi geniş yapraklı ağaçlardan oluşan sık bir bitki topluluğu görülmektedir. Güneye doğru gidildikçe 750-1500 m yükseklikleri arasında geniş yapraklı ağaçların arasına iğne yapraklı ağaçlar karışmaktadır. Daha güneyde 1500-2100 m yükseklikleri arasında iğne yapraklı ağaçlar mevcut olup, orman sınırının üzerindeki alanlarda ise çayırlar yer almaktadır.

Doğu Karadeniz Bölümü'ndeki arazinin % 64'lük kısmı VII. sınıf araziden oluşmaktadır. Ancak yörede mevcut ormanların tahrip edilmesi ile bu oran % 40'lar seviyesine düşmüştür. Bilimsel açıdan VII. sınıf arazilerin orman alanı olarak kullanılması gerekmektedir. Bu durumda yörede yanlış bir arazi kullanımının varlığı dikkati çekmektedir. Ormanlık alanlarda yağışın diğer alanlara oranla çok daha az miktarda yüzeysel akışa geçtiği göz önünde bulundurulduğu zaman, bu alanların doğanın dengesi ve

gerçekleşmesi muhtemel doğal afetler açısından ne derece önemli olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre dağılımı



Şekil 3. Ortalama yağış değerlerinin aylara göre dağılımı

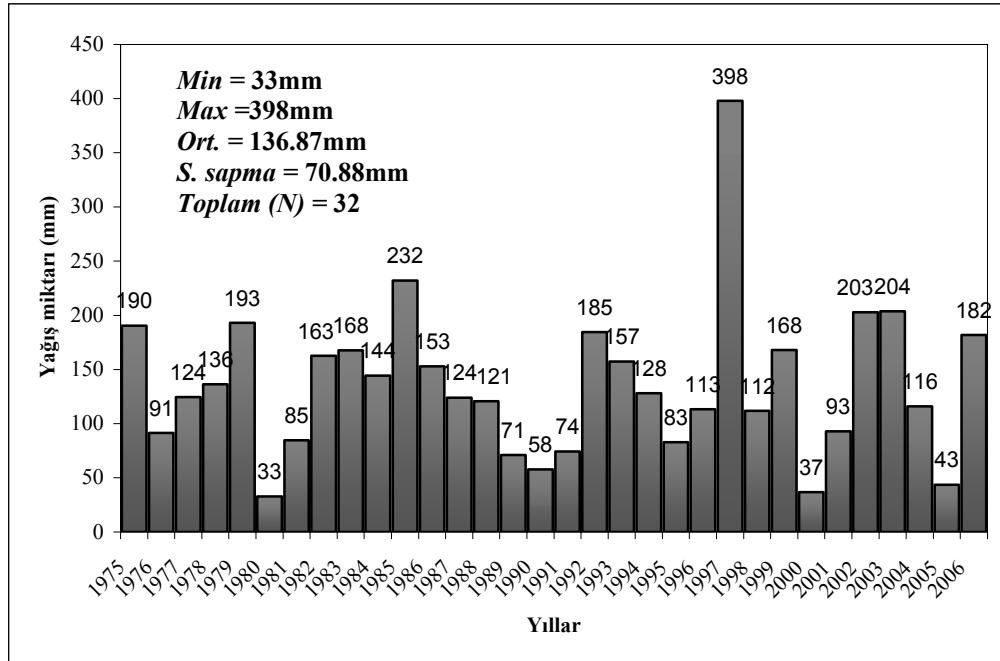
İnceleme alanı yakın çevresi için Thorntwaite yöntemiyle hesaplanan hidrolojik bilançoya göre yıllık potansiyel buharlaşma terleme (Etp) değerinin 767 mm olduğu ve yılın hiçbir döneminde toprak nemi için su açığının bulunmadığı görülmektedir (Tablo 2). Yıllık yağış toplamının % 34.3'ünün buharlaşma-terlemeye uğradığı yörede, yağış fazlalığından kaynaklanan yüzeysel akış oranı % 65.7'dir. Toplam yağışın 1471.5 mm gibi büyük bir miktarının yüzeysel akışa geçmesi, yöredeki kayaların hem ayrışma hızını artırmakta hem de duraylılıklarını olumsuz yönde etkilemektedir.

Tablo 2. Rize iline ait Thorntwaite yöntemiyle hesaplanmış hidrolojik bilanço verileri

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Toplam
P(mm)	211.3	182.2	143.3	92.8	98.6	138.4	136.8	174.8	241.6	314	255.2	249.5	2238.5
Etp(mm)	15.7	15.7	24.5	44.3	82.3	110.9	132.6	125.1	89.6	62.1	37.1	27.1	767
Ru(mm)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Etr(mm)	15.7	15.7	24.5	44.3	82.3	110.9	132.6	125.1	89.6	62.1	37.1	27.1	767
Açık	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Fazlalık	195.6	166.5	118.8	48.5	16.3	27.5	4.2	49.7	152	251.9	218.1	222.4	1471.5
Akış	195.6	166.5	118.8	48.5	16.3	27.5	4.2	49.7	152	251.9	218.1	222.4	1471.5

P; Yağış, Etp; Potansiyel buharlaşma-terleme, Ru; Faydalı su rezervi, Etr; Gerçek buharlaşma-terleme

Yörede heyelanların meydana gelmesinde de en önemli tetikleyici parametrenin aşırı ve şiddetli yağışlar olduğu düşünülmektedir. Özellikle sağanak yağışları takip eden taşkın dönemlerinde, yamaç topuklarında meydana gelen oyulmalar bu alanlarda heyelanların oluşmasına neden olmaktadır. Temmuz 2002 de önemli miktarda mal ve can kaybına neden olan heyelanlar da yine aşırı yağışlar sonucu gerçekleşmiştir. Son 32 yılın Temmuz ayı toplam yağış verileri bu gerçeği yansıtmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Rize İli Temmuz ayı toplam yağış değerleri (1975-2006, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü).

Şekil 4 incelendiğinde, son 32 yıllık döneme ait Temmuz ayı yağış değerlerinin 2002 yılında, ortalama değer olan 136.87 mm nin önemli miktarda üzerinde olduğu ve bu dönemde 203 mm yağış gerçekleştiği görülmektedir.

1.7. Literatür Çalışmaları

İnceleme alanı ve yakın çevresinde, bölgenin genel jeolojisi ve özellikle de Çayeli ilçesindeki bakır madeninden dolayı maden jeolojisine yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Bölgeyi içine alan eski çalışmalar genellikle yersel ölçekte olup, çoğunlukla metalik maden aramalarına yöneliktir. Aşağıda bu çalışmalardan bazıları ve ayrıca doktora tezinin esas konusunu oluşturan heyelan duyarlılık analizleri konusunda dünya literatüründe yapılan çalışmalardan bazıları özetlenmiştir.

1.7.1. İnceleme Alanı ve Yakın Çevresi ile İlgili Jeolojik Çalışmalar

Geoffroy (1960), “Çayeli-Pazar-Ardeşen bölgesinin jeolojisi ve maden yatakları” isimli çalışmasında; cevherleşmenin Doğu Karadeniz Bölümü’de 2 devrede meydana geldiğini, birincisinin; Geç Kretase’de dasit akıntılarının yerleşmesinden sonra meydana gelen subvolkanik epizod (evre), ikincisinin; Tatos batolitinin yerleşmesi sonucunda meydana gelen Oligosen yaşındaki hidrotermal epizod olduğunu belirtmektedir.

Turhan (1968), “Rize-Çayeli-Sırtköy-Gümüşdere sahasının jeolojik raporu” isimli çalışmada; Sırtköy-Gümüşdere’ de 1/2000 ölçekli jeoloji çalışması yapmış ve sahadaki birimleri altere dasit, spilit, bazik seri ve üst spilitik seri olarak ayırmıştır. Ayrıca yine bu çalışmada bölgedeki formasyonları Geç Kretase-Paleosen arasında meydana gelen denizaltı volkanizmasına bağlamıştır.

Sawa ve Hamamcıoğlu (1970), “Gelişen yeni görüşlerin ışığı altında Karadeniz Bölgesinin bakır-kurşun-çinko yatakları” isimli çalışmalarında; Madenköy cevherleşmesinin masif tip olduğunu, Cu tenörünün % 1-2 ve rezervin 10 milyon tondan fazla olduğunu, bakır ve piritte bağlı olarak Zn-Pb ve bunlarla ilişkili olarak Sn ve Cd’ nin de cevherleşmede bulunduğunu belirtmişlerdir.

Ovalıoğlu (1970), Rize-Çayeli-Madenköy civarında yaptıkları çalışmalarda; sahadaki birimleri Geç Kretase (Orta Tröniyen)-Pliyosen arasında meydana geldiğini ve

genellikle denizaltı volkanizması ile denizel sedimantasyon ürünü olduğunu, ayrıca kum ve çakılların (taraçaların) Pliyosen yaşlı, bazalt ve andezitlerin Miyosen, dioritlerin Eosen-Oligosen, üst dasit ve üst bazik akıntılarının Erken Eosen, marn-grovak-tüf-bazik akıntılarının ve kırmızı kalkerlerin Geç Türoniyen, arkoz-spilit-bazalt-andezit (yastık lav)-dasitik akıntılar ve dasitlerin de Orta Türoniyen yaşlı olduğunu belirtmektedir.

Ovalıoğlu (1971), “Madenköy-I sahası jeolojik raporu” isimli çalışmasında; Madenköy sahasındaki mor tüflerin masif cevher mercceklerinin üzerinde yeraldığını, mor tüflerin arasında görülen bazaltların sil olduğunu, horst ve graben yapısı nedeniyle yüzeyde görülmediği halde sahada daha başka cevher merccekleri bulunabileceğini ifade etmiş ve yapılan 18 adet sondaj, jeofizik ve jeolojik etüdlere göre % 1-2 bakır tenörü olan 5 milyon ton rezerv hesaplanmıştır.

Aslaner (1972), “Çayeli-Madenköy Bakır (Çinko-Kurşun) Aramaları Hakkında Kısa Not” isimli çalışmada; Madenköy cevher yatağının muhtemel uzantılarını ve başka zuhurların olup olmadığını araştırmıştır. Yatağın yakın çevresindeki İncesirt, Sarısu, Sırtköy, Buzlupınar mevkiilerinde jeolojik ve kısmen de jeofizik etüdlere yapılmıştır. Araştırma sonucunda Madenköy’ün ekonomik olduğunu, % 2.073 Cu tenörü ve 20.8 milyon ton görünür rezerve sahip olduğunu ve ilave olarak muhtemel rezerv tespit edildiğini belirtmiştir.

Kawada ve Ergin (1972), “Çayeli Bölgesinin, Rize, Türkiye, jeolojisi ve jeolojik yapısı” isimli çalışmalarında; çalışma sahasının bir kısmını içerisine alan alanın 1/10000 ölçekli jeoloji haritasını yapmışlardır. Mineralizasyon ve ilgili alterasyonun, granitler ve çevre kayalar oluşturulan alt dasitik seri içerisinde meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Bu çalışmada alt dasitik serinin en üst kısımlarının ve özellikle antiklinal eksenleri, fay zonları ve onunla ilgili makaslama zonlarının prospeksiyon yönünden önemli olduğu ifade edilmiştir. Bu zonların hidrotermal sıvıların yukarı doğru çıkmasında rol oynadığı kabul edilmektedir. Jeofizik ve jeokimyasal prospeksiyonların yapılmasından sonra sahanın daha ayrıntılı 1/1000 ve 1/2000 ölçekli jeoloji haritalarının tamamlanması ve sondajlarla cevherleşmelerin devamının araştırılması gerektiğini belirtmiştir.

Akkulah (1973), “Madenköy doğu sahasının jeolojik ve jeoşimik etüdü” isimli çalışmasında; Madenköy doğusunun 1/10000 ölçekli jeoloji haritasını yapmıştır. İstiflenmede kum ve çakıllar Pliyosen, riyolit, albit, porfir-kuvars albit, porfir-diyabaz porfirler Eosen-Oligosen, altere spilit-kırmızı kireçtaşları Geç Kretase, dasitler Jura-Alt Kretase, bazik breş ve tüfler Erken Mesozoyik yaşlı olarak tespit edilmiştir. Madenköy

yöresinin doğusunun Cu mineralizasyonu bakımından önemli olabileceği yapılan çalışmalarda belirlenmiştir. Sahadan sık derekumu numuneleri alınarak anomali bölgeleri daraltılmaya çalışılmış ve anomalilerin jeolojik nedenleri araştırılmıştır.

Can (1974), “Artvin F45-c4 paftasının jeolojik etüd raporu” isimli çalışmasında; Çayeli ve çevresini içerisine alan Artvin F45-c4 paftasının jeoloji haritasını yapmış ve sahadaki birimleri yaşlıdan gence doğru A- alt bazik seri, B- alt dasitik seri, C- üst bazik seri, D- üst dasitik seri ile bunları kesen Tersiyer yaşlı granit-kuvars porfir-diyorit ve genç volkanik seri olarak açıklamıştır.

Kahraman, (1977), Çayeli ilçesi Sırtköy-Tüysüzler mahallesi çevresinde 1/10000 ölçekli jeoloji çalışması yapmıştır. Çalışma neticesinde bu alandaki birimleri yaşlıdan gence doğru 1- Volkanik kayalar (a- Andezit-spilit ve piroklastları, b- Dasitik lav ve tuf), 2- Volkanik tortul kayalar (çamurtaşı ve bazik tuf), 3- İntrüzif kayalar (a- Andezit daykı, b-Dasit daykı, c- Gabro) olarak belirlemişlerdir.

Güner vd. (1983), “Rize-Çayeli, Fındıklı Yöresinin Jeolojisi” adlı çalışmalarında; yörede en yaşlı birimin, aynı zamanda cevherli seviye olan dasit lav ve piroklastları olduğunu belirtmişlerdir. Bunların üzerine kireçtaşı, çamurtaşı, kumtaşı ve marn arakatkılı bazalt-andezit ve piroklastlarının geldiğini tespit etmişlerdir. Bu bazik seviyenin üzerinde ikinci bir asidik seviye olarak dasit ve piroklastlarının bulunduğunu ve inceleme alanında en genç seviyenin bazalt, killi kireçtaşı, kumlu tuf ve mikrokonglomera ardalanması içeren birim olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca çalışmanın asıl amacına uygun olarak, granitik batolitin yan kayalarla olan dokanağından skarn cevher ve batolitte porfiri cevher potansiyeli araştırılmıştır. Bundan dolayı granit batoliti ve batolitin kuzey kenar zonu ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çayeli ve Fındıklı yörelerindeki intrüzif kayalara bağlı olarak gelişen skarn cevherleşmeleri belirlenmiştir.

Kahraman vd. (1986), Rize ili Çayeli ilçesi ve civarının 1/25000 ölçekli ayrıntılı jeolojik haritasını hazırlamışlardır. Çalışma sahasında yaşlıdan gence doğru 13 farklı birim ayırtlamışlardır. Bu birimlerin çoğu volkanik kökenli olup, yer yer asidik ve bazik intrüzifler tarafından kesildiği ifade edilmiştir. Çayeli-Madenköy Zn-Cu yatağında cevherleşmenin asidik piroklastları meydana getiren denizaltı volkanik faaliyetinin en son safhasındaki hidrotermal eriyik ve gazları çıkarma esnasında meydana gelmiş, KD-GB uzanımlı antiklinal kanadında oluştuğunu belirtmişlerdir. Çalışmada yörede bu maden yatağı haricinde önemli olabilecek bir cevherleşme tespit edilmemiştir.

Korkmaz ve Gedik (1988), “Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin Arasında Kalan Bölgenin Jeolojisi ve Petrol Oluşumları” isimli çalışmalarında; Rize-Çayeli-Pazar-Ardeşen-Fındıklı ve Çamlıhemşin arasında kalan yaklaşık 850 km² lik bir alanın 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış ve 1/100000 ölçekli komplikasyonu gerçekleştirilmiştir. Yine bu çalışma ile bölgede ilk defa birimler litostratigrafi esasına göre formasyon ölçeğinde ayırtlanmış ve 7 formasyon adlandırılmıştır. Ayrıca Çayeli açıklarında bulunan petrol sızıntısı, Karadeniz’in tabanında yer alan tortul serilerde oluşan petrolün aktif faylar ve kırık hatları boyunca yüzeye çıkmasıyla açıklanmıştır. Elde edilen verilerin topluca değerlendirilmesi durumunda, inceleme alanının petrol oluşum, birikim ve kapanması açısından önem taşımadığı sonucuna varmışlardır.

Tarhan (1991), “Doğu Karadeniz Heyelanlarına Genel Bir Bakış” isimli çalışmasında; değişik orijinli kayalarda meydana gelen farklı türdeki 100’e yakın kütle hareketini jeolojik ve jeoteknik açıdan incelemiş ve bu hareketlerin nedenlerini ortaya koymaya çalışmıştır. Yaptığı çalışmalar neticesinde, kütle hareketlerinin meydana gelmesinde, bölgenin morfolojisi, jeolojisi, iklim karakteristikleri ve bunlara ilaveten kayaların ayrışması, değişik amaçlı kazılar, bitki örtüsünün tahribi ve yapay sarsıntıların etkili olduğunu belirtmiştir.

Yılmaz (1995), “Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanlarının Genel Özellikleri, Nedenleri ve Önlenme Yolları” isimli çalışmasında; bölgede heyelanları etkileyen faktörlerin başlıcalarını; morfolojik durum, yağışlar, kazılar ve akarsu oymaları, kayaların ayrışmaları, bitki örtüsünün tahrip edilmesi ve değiştirilmesi, zemin özellikleri ve diğer nedenler (kaynaklar, atık sular, yükleme vb.) olarak belirlemiştir. Ayrıca aktif veya potansiyel heyelanların önlenmesi için yapılacak ilk işin, bu alanlarda morfoloji göz önüne alınarak yüzey ve yeraltı suyu drenajı olduğunu açıklamış ve gerekli olan diğer önlemleri sıralamıştır.

1.7.2. Heyelan Duyarlılık Analizleri ile İlgili Çalışmalar

Gupta ve Joshi (1990), heyelan tehlike ve risk analizi için Coğrafi Bilgi Sistemi’ni (CBS) kullanarak, heyelan nominal risk faktörü tekniğini uygulamışlardır. Bu metod Himalayalar’ daki Ramganga Havzasında birden fazla veri seti esas alınarak uygulanmıştır. Meydana gelen heyelanlar, litoloji, arazi kullanımı, ana faylara uzaklık ve eğim yönü gibi bir dizi parametre ile ilişkilendirilmiştir. 522 heyelan için 4 adet alt bölge seçilmiş ve her

bir bölge için heyelan nominal risk faktörü (landslide nominal risk factor –LNRF-) tanımlanmış ve her biri için ağırlık faktörleri geliştirilmiştir. LNRF ye bağlı olarak çalışma alanı için farklı ağırlık değerleri tayin edilmiş ve yüksek, orta ve de düşük riskli bölgeler belirlenmiştir.

Carrara vd. (1992), heyelan tehlike ve risk değerlendirmeleri ile ilgili çalışmaların hepsinde ilk adımın heyelanları tanımlamak ve onları haritalamak olduğunu ifade etmişlerdir. Çalışmada farklı araştırmacılar tarafından ya da farklı yöntemlerle yapılan heyelan haritalarının karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışılan alanın belirli ölçülerde alanlara bölünmesi ve bu bölünmüş alanlara göre verilerin toplanması ile haritalamadaki hataların büyük ölçüde azaltılabileceğini vurgulamışlardır. Araştırmacılar uygulamalarında CBS yardımıyla istatistiksel kantitatif yaklaşımı kullanarak sonuca gitmişlerdir. Risk ve tehlike seviyelerini değerlendiren ve duraysızlık faktörlerini ele alan tüm metotların aynı zamanda bazı hatalar içerdiğini savunmaktadırlar. Araştırmacılar istatistiksel yöntemin, bazı sınırlamalar içermesine rağmen en uygun yöntem olduğunu ve özellikle CBS teknolojileri kullanılarak veri toplama, işleme ve analiz işlemleri yapıldığı zaman yöntemin doğru sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Bulut vd. (1993), “İsopleth Haritaları Yardımıyla Heyelan Açısından Tehlikeli Alanların Belirlenmesi-Fındıklı (Rize) Yöresi Örneği” isimli çalışmalarında; öncelikle isopleth haritalarının tanımlamasını yapmış ve bu haritaların nasıl hazırlanabileceğini anlatmışlardır. Özellikle yerleşimin yoğun olduğu bölgelerle kıyaslandığında, heyelan riskinin daha düşük olduğu kırsal bölgelerde, heyelan tehlikesi değerlendirmeleri için uygulanabilecek bir yöntem olduğunu ve bu haritalardan hangi koşullarda yararlanılabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, yöntemin uygulamasına yönelik araştırmacılar yaptıkları çalışma sonucunda, Fındıklı yöresi için hazırladıkları isoplet haritası yardımıyla yörede heyelan açısından ihmal edilebilir (tehlikesiz), düşük ve orta derecede tehlikeli olmak üzere 3 zon ayırtlamışlardır.

Bulut vd. (1995), “Fındıklı (Rize) İlçesi Doğu Yöresindeki Heyelanların Nedenleri” isimli çalışmalarında; yöredeki heyelanların oluşumunda etkili oldukları düşünülen morfoloji, iklim, bitki örtüsü, ayrışma ve kayaçların jeoteknik özellikleri gibi faktörlerin heyelanlarla ilişkisini ortaya koymuşlardır. Yapılan detaylı çalışmalar neticesinde, heyelanların oluşmasında yağışın birinci derecede etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Oluşan heyelanların % 85’inin ayrışmış kayaçlar içerisinde meydana gelmesi, ayrışmanın heyelan oluşumunda ne derece etkili olduğunu göstermektedir. Tamamen ayrışmış

kayaçlardaki kil içeriğinin artmasının heyelan sayısında artışa neden olduğu belirtilmiştir. Heyelanların çoğu eğimi 10^0 - 25^0 arasında değişen yamaçlarda oluşmuştur. Ayrıca heyelanların % 77'sinin yerleşim merkezi ve çay tarımı yapılan alanlarda yer alması, bitki örtüsünün değiştirilmesinin heyelan oluşumundaki etkisini göstermesi bakımından önemlidir.

Anbalagan ve Singh (1996), heyelanların insan hayatı, arazi, yollar, binalar ve diğer yapılarda oluşturduğu zararları incelenmiş ve heyelan tehlikelerini değerlendirmiştir. Çalışmalarında risk terimi, tehlike olasılığının ve zarar potansiyelinin bir fonksiyonu olarak tanımlanmış ve heyelan tehlike analizi çalışmalarında, heyelan risk haritasının önemi belirtilmiştir. Anbalagan ve Singh bu çalışmalarında, risk analiz haritalamasında Risk Analiz Matrisi (Risk Assessment Matrix-RAM) kullanarak yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir.

Atkinson ve Massari (1998), İtalya'da Apennines bölgesinde küçük bir alanda duyarlılık analizi için, genelleştirilmiş doğrusal modelleme yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışmada, jeoloji, eğim, doğrultu, tabaka-yamaç arasındaki ilişki, eğim yönü, çizgisellik yoğunluğu ve şev açısı gibi heyelanlarla ilişkili bağımsız değişkenler, parametre olarak seçilmiştir. Heyelan envanteri ve bağımsız değişkenlere ait haritaların hazırlanmasında hava fotoğrafları, topoğrafik ve jeolojik haritalar ve arazi gözlemlerinden yararlanılmıştır. Sonra bağımsız değişkenlerle heyelanlar arasındaki ilişkinin analizinde mantıksal regresyon analizi kullanılmıştır. Oluşturulan modelde, jeoloji ve şev açısı en önemli faktörler olarak belirlenmiştir. Bölgedeki heyelanlar hareketsiz ve aktif olanlar şeklinde sınıflandırılmış ve ilaveten her biri için doğrusal model elde edilmiştir. Her bir modelde jeoloji ve şev açısı yine en önemli faktör olurken, yamaç yönelimi ve doğrultu aktif heyelanlar için daha az önemli olmuştur. Daha sonra modele yeni değişkenler eklenmiş ve yeniden analiz yapılmıştır. Sonuçta, eklenen yeni değişkenlerden sonra bitki örtüsü ve yamaçların içbükeyliği (konkavlığı) jeoloji ve şev açısından daha önemli bulunmuştur.

Aleotti ve Chowdhury (1999), çalışmalarında öncelikle heyelan tehlike analizlerinde kullanılan yöntemleri özet şekilde anlatmıştır. Heyelanların öneminden ve etkisinden bahsedilmiştir. Heyelan tehlike analizlerinde, tehlike zonlanması yapılırken nelere dikkat etmek gerektiği anlatılmıştır. Daha sonra verilerin güvenilirliği, veri toplama, depolama ve seçiminde nelere uyulması gerektiği vurgulanmıştır. Araştırmacılar heyelan tehlike analizlerinde uygulanan yöntemleri kalitatif ve kantitatif yöntemler olarak iki ana başlık altında toplayıp, bunların alt başlıklarını açıklamışlardır. Son olarak da bu

yöntemlerin uygulamadaki avantaj ve dezavantajlarını, verimli şekilde uygulanabileceği harita ölçeklerini ve bu yöntemlerde CBS'nin kullanımını anlatmışlardır.

Polemio ve Sdao (1999), yağışın heyelan oluşumundaki etkisini belirleyen bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada İtalya'da güney Apenin bölgesinde aşırı yağışların neden olduğu 5 heyelan alanı incelenmiştir. Günlük yağış verilerinin uzun dönem serisine dayanan istatistik ve hidrolojik modeller kullanılarak heyelanlar ve yağış arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu model 180 gün boyunca toplam günlük yağışın etkisini belirlemek için kullanılmıştır. Hidrolojik ve istatistiksel sonuçlar, yağış süresinin heyelanların oluşumu açısından ne derece önemli etkiye sahip olduğunu tanımlamak amacıyla değerlendirilmiştir.

Zeze vd. (1999), Lizbon'un kuzey bölümünde, seçilen 5 örnek alanda 1/2000 ölçeğinde detaylı arazi çalışmaları ile envanter haritası hazırlamışlardır. Araştırmacılar 61.6 km²'lik bir alanda toplam 574 heyelan tanımlamış ve bu heyelanların hazırlayıcı ve tetikleyici faktörlerle olan ilişkilerini incelemişlerdir. Yamaçlarda gözlenen hareketin hangi litolojik birimlerde gerçekleştiği tespit edilmiş ve bunlar % olarak ifade edilmiştir. Benzer şekilde, meydana gelen heyelanlarda insan faaliyetleri gibi (şev kazısı, dolgular, nehirlerdeki çevirme kanalları vs.) tetikleyici etkenlerin de toplam heyelanlar içerisindeki değeri % olarak belirlenmiştir.

Rautela ve Lakhera (2000), Hindistan'da Pradesha eyaletinin Sirmur bölgesinde, heyelan risk çalışması yapmışlardır. Bu çalışma çok sayıda uydu görüntüsü ve hava fotoğrafı gibi uzaktan algılama verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda bu çalışma arazi gözlemleri ve önceki çalışmalara ilişkin verilerle desteklenmiş, yine CBS'yi temel alan teknikler de kullanılmıştır. Yapılan arazi gözlemleri, yamaç eğimi, eğim yönü, jeoloji, tektonik hatlar, drenaj ve arazi kullanımı parametrelerinin bölgedeki heyelanların oluşumunda etkili olduğunu göstermiştir. Heyelan tehlike zonları oluşturulurken, istatistiksel yaklaşımlar kullanılarak bu parametreler dikkate alınmıştır. 1991 yılına ait nüfus sayımı verilerinden yararlanılarak, heyelan tehlikesinden nüfusun gördüğü zararlar ilgili bilgilere ulaşılmıştır. Bölgedeki çoğu alt yapı nüfus merkezleri civarında yoğunlaştığından, hasar çalışmalarında nüfus verisi tek başına kullanılmıştır.

Bulut vd. (2000), 1983 yılının Temmuz ayında Fındıklı (Rize) yöresinde, sağanak yağış neticesinde tamamen ayrılmış andezit, dasit ve yamaç döküntüleri içerisinde çeşitli büyüklükte meydana gelen 109 adet heyelanı incelemişlerdir. Yaklaşık 25 km²'lik alanda yayılım gösteren bu 109 adet kayma referans alınarak oluşturulan heyelan envanter haritası

temelinde, hazırlanan heyelan isopleth haritasının güvenilirliğini tartışmışlardır. Hazırlanan isopleth haritasında, isopleth değerinin % 1'in altında olduğu alanlar risksiz, % 1-10 arasındaki alanlar orta derecede riskli ve bu değer % 10'dan büyük olduğu alanlar ise gelecekte başka heyelanların da meydana gelebileceği riskli alanlar olarak kabul edilmiştir. Çalışmanın sonraki aşamalarında bu hipotezin geçerliliğini test etmek için, alandaki heyelanlar 12 yıl süre ile düzenli olarak gözlemlenmiş ve bu süre içerisinde meydana gelen heyelanlar, daha önce hazırlanmış olan isopleth haritasına işaretlenmiştir. Sonuçta yeni oluşan heyelanların dağılımının isopleth değerinin % 10'dan büyük olduğu alanlar içerisine düştüğü gözlemlenmiş ve bu şekilde isopleth haritalarının güvenilirliği ve yararlılığı test edilmiştir.

Vachal ve Hudak (2001), Texas bölgesinde, heyelan tehlike haritası hazırlamak için CBS'den faydalanmışlardır. Heyelan tehlike haritası, 4 farklı veri katmanı çakıştırılarak üretilmiştir. En fazla önem (ağırlık) yamaç eğimine verilmiş, onu jeoloji, bitki örtüsü ve faylara yakınlık takip etmiştir. Sonuçta düşük, orta ve yüksek duyarlı heyelan alanları belirlenmiştir. Yüksek duyarlı alanlar, nehir ve bent kenarları, sarp kayalıklar ve tarım alanlarında bulunmuştur. Daha sonra heyelan tehlike haritalarının, şehir plancıları için yararları anlatılmıştır. Makalede, sunulan yöntemin farklı yerlerde uygulanabileceği ve de, CBS'nin heyelan tehlikeleri için uygun olan çeşitli veri katmanlarını etkili bir şekilde derleyip çakıştırabileceği belirtilmiştir.

Dai vd. (2001a), Kasım 1993'de Lantau Adası'nda yağıştan ötürü 800'ün üzerinde yamaçta meydana gelen heyelanları incelemişlerdir. CBS'den faydalanılarak, hava fotoğraflarından tespit edilen mevcut heyelanların envanter haritaları, heyelanların dağılımı ve frekanslarını değerlendirmek için kullanılmıştır. Çalışmada heyelanların meydana gelmesinde etkili olduğu düşünülen drenaj çizgisine yakınlık, bitki örtüsü, yükseklik, yamaç eğim yönü, eğim açısı ve litoloji gibi fiziksel parametreler dikkate alınmıştır. Daha sonraki aşamada heyelan duyarlılığı ve fiziksel parametreler arasında lojistik regresyon modeli oluşturulmuştur. Bu metodu esas alarak çalışma alanı, çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı olmak üzere 5 farklı sınıfa ayrılmıştır.

Lee vd. (2001), Duyarlılık, olasılık ve risk kavramlarını irdeleyerek çalışma alanı olan Uslan'da CBS kullanılarak, duyarlılık, olasılık ve risk gibi heyelan tehlike analizinin 3 adımını gerçekleştirmişlerdir. Analizler için, topoğrafik, jeolojik, zemin, orman, meteorolojik ve nüfus veri tabanları CBS kullanılarak oluşturulmuştur. Heyelan duyarlılığı, heyelan oluşturan faktörler kullanılarak, olasılık metoduyla analiz edilmiştir. Heyelan olasılık

analizi için, meteorolojik veritabanından üretilen yağış frekansı haritası, duyarlılık haritasına eklenmiştir. Son aşama olan 3. adımda ise olasılık haritasına nüfus ve yerleşim yoğunluğu haritaları eklenerek heyelan risk analizi gerçekleştirilmiştir.

Dai ve Lee (2002a), çalışmalarında eğimli arazi yapısı ve şiddetli yağışların Hong Kong'da heyelan oluşumlarına neden olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar adada meydana gelen heyelanların fiziksel özelliklerini ve heyelan frekansları ile topoğrafik değişkenler arasındaki istatistiksel korelasyonu belirlemek için, CBS veri tabanından mevcut sayısal tabanlı haritalar ve de hava fotoğraflarından yararlanmışlardır. Daha sonra heyelan duyarlılık haritası üretmek için, mantıksal çoklu regresyon modeli uygulamasında bu veri tabanından faydalanmışlardır. Model sonuçlarına göre, yamaç eğimi, litoloji, yükseklik, yamaç eğim yönü (bakı) ve arazi kullanımı heyelan duyarlılığı açısından istatistiksel olarak önemli derecede etkili olmuş, bunun yanı sıra yamaç morfolojisi ve drenaj ağlarına yakınlık faktörleri önemli olmayıp modelden çıkarılması uygun görülmüştür. Daha sonra CBS fonksiyonları kullanılarak duyarlılık haritası üretilmiştir. Sonuçta CBS ve mantıksal çoklu regresyon analizleri yaparak % 85 uyumla Hong Kong ve çevresi için duyarlılık haritasını üretmişlerdir.

Dai vd. (2002), heyelan risk analizi ve yönetiminde geliştirilen diğer çalışmaların bir incelemesini ve heyelan risk analizi için kullanılan farklı yaklaşımların uygulanabilirliğinin tartışmasını yapmışlardır. Heyelan risk analizi ve yönetimi çalışmalarıyla heyelan riskinin azaltılabileceğini vurgulamışlardır. Çalışmada heyelanlardan dolayı meydana gelen ekonomik ve sosyal kayıpların azaltılması için etkili yönetim stratejileri tanımlanmıştır. Ayrıca heyelan risk değerlendirme ve yönetimi ile ilgili problemler incelenmiştir.

Zhou vd. (2002), 1993'te Lantau'da şiddetli ve aşırı yağışlar sonucu meydana gelen heyelanları incelemişlerdir. İstatistiksel yaklaşımı esas alarak bölgesel ölçekte, heyelanlarla heyelanlara neden olan faktörler arasındaki konumsal ilişkiyi araştırmışlardır. Hazırlanan istatistiksel histogramlar, konumsal çakışma ve dinamik haritalama metotları birbirleri ile ilişkilendirilmiştir. Araştırmacılar bu şekilde, mevcut heyelanlarla, heyelan oluşumuna neden olan faktörler arasındaki ilişkinin konumsal modelini etkili biçimde değerlendirmeyi hedeflemişlerdir. Heyelanların çoğunlukla 25^0 - 35^0 eğim değerine sahip yamaçlarda gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. Heyelan verileri arazi örtüsü ile çakıştırıldığı zaman, büyük miktardaki heyelanların çıplak ve çalılarla kaplı alanlar ve farklı bitki türleri arasındaki geçiş zonlarında meydana geldiği görülmüştür. Araştırmacılar önerilen

yaklaşımın, sadece bu tür bir ilişkinin genel özelliklerini analiz etmek için değil, aynı zamanda bölgesel ölçekte heyelan tahmini için temel bir yaklaşım olduğunu belirtmişlerdir.

Clerici vd. (2002), heyelan olasılığı olan bölgelerin belirlenmesi ile ilgili çalışmalarda CBS'nin önemini belirtmişlerdir. Heyelan duyarlılığı, gelecekteki heyelanların geçmişte meydana gelen heyelanlarla benzer koşullar altında oluşacağı prensibinden hareketle, duraysızlık koşullarının değişik kombinasyonlarının paralelinde heyelan yoğunluğunun hesaplanması olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada heyelan duyarlılık zonu oluşturmak için "conditional analysis method" önerilmiştir. Yöntemin nasıl kullanılacağına dair bilgiler sunulmuştur. Son olarak İtalya'da Parma Nehri havzasında yöntemin uygulandığı örnek bir çalışma gösterilmiştir.

Dai ve Lee (2002b), yağışın bol olduğu ve dik arazi yapısına sahip alanların heyelan oluşumu için elverişli olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar heyelanların fiziksel özelliklerini belirlemek için, hava fotoğrafları ve mevcut olan sayısal tabanlı haritalardan yararlanmışlardır. CBS ile oluşturulan veri tabanı, çoklu regresyon analizinde kullanılarak yamaçların duraylılığı analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, yamaç eğimi, litoloji, yükseklik, yamaç eğim yönü (bakı) ve arazi kullanımı parametreleri istatistiksel olarak önemli olarak değerlendirilirken, heyelan oluşumunda önemli olarak görülmeyen yamaç morfolojisi ve drenaj ağlarına yakınlık faktörleri modelden çıkarılmıştır. Daha sonra model sonuçları CBS ortamına dönüştürülerek duyarlılık haritası üretilmiştir. Çalışma sonuçları, çoklu regresyon analizi ve CBS teknolojilerinin kullanımının duyarlılık haritalarının üretimindeki önemini kanıtlamıştır.

Ercanoğlu vd. (2003), faktör analizi yaklaşımını kullanılarak heyelan duyarlılık haritası üretmişlerdir. Yaklaşık 64 km² lik bir alanı kaplayan çalışma alanında 57 heyelan tanımlanmıştır. Heyelana neden olan asıl faktörler olarak yamaç eğimi, yükseklik, yamaç eğim yönü, arazi kullanımı, ayrışma derinliği ve su durumu, aşırı yağış ise heyelanı tetikleyici unsur olarak düşünülmüştür. Faktör analizi sonuçlarına göre bu faktörlerin ağırlık değerleri sırasıyla; Yamaç eğimi % 45, arazi kullanımı % 22.4, yükseklik % 12.5, Yamaç eğim yönü % 8.8, su durumu % 8 ve ayrışma derinliği % 3 olarak belirlenmiştir. Aynı zamanda bu ağırlık değerleri ve her bir faktörün üyelik önemleri kullanılarak, heyelan duyarlılığı için üyelik önemi oluşturulmuştur. Netice itibarı ile tüm sonuçlar birleştirilerek, bir heyelan duyarlılık haritası elde edilmiştir. Üretilen duyarlılık haritası

envanter haritası ile karşılaştırıldığında arazide tanımlanan heyelanların büyük bir kısmı (% 86), heyelana duyarlı ve çok duyarlı alanlarda bulunmuştur.

Ohlmacher ve Davis (2003), Kansas'ın kuzeydoğusundaki Kansas ve Missouri nehirleri boyunca dağlık arazilerde meydana gelen heyelanların oluşturduğu milyonlarca dolar maddi zarardan hareket ederek, bölgede heyelan tehlike haritası oluşturmayı hedeflemişlerdir. Problemin çözümüne yönelik olarak çoklu mantıksal regresyon analizini kullanmışlardır. CBS ortamında ArcView yazılımından faydalanarak jeoloji, yamaç eğimi ve heyelanlardan oluşan veri seti sayısallaştırılmıştır. Gerekli analiz işlemleri yapılarak, heyelan tehlikesi belirlenmiş ve en önemli faktörün yamaç eğimi olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca şeyl, kilitaşı ve kumtaşı içeren jeolojik birimlerin heyelanlar açısından daha duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Zemin türü ve yamaç eğim yönü parametreleri, yapılan mantıksal regresyon analizinde önemli katsayı değerlerine sahip olmadığı için, heyelan oluşumunda etkili olmadıkları düşünülerek modelden çıkarılmıştır.

Süzen (2002), kısa ve öz veri kaynaklı bir heyelan afeti tayin yöntemi geliştirmiş ve değerlendirmiştir. Bu çalışmada, uzaktan algılama ürünleri, jeolojik haritalar ve topografik haritalar, olmak üzere üç veri alanı kullanılmıştır. Hava fotoğrafları kullanılarak dört ayrı dönemin heyelan envanteri çıkarılmıştır. Arazi kullanım haritası için ise, uydu görüntülerinden yararlanılmıştır. Jeolojik ve topografik haritalardan ve uzaktan algılama ürünleri kullanılarak 13 ayrı parametre haritası üretilmiştir. İlk sonuçlar ışığında en basit ve ayrıntısız analizlerden başlayarak, en karmaşık istatistiksel yöntemlere kadar uzanan bir heyelan afeti tayin yöntemi izlenmiştir. En son olarak ise, göreceli hata tayin yöntemi kullanılmıştır. Bunların ışığında en makul ve gerçeğe en uygun yöntemin mantıksal regresyon olduğu sonucuna varılmıştır. Heyelan afeti tayininin sonuçlarına göre, Asarsuyu su toplama havzasının kuzey yamaçları, düşük nüfus yoğunluğu, bozulmamış arazi örtüsü, E-5 otoyoluna ve aktif fay hatlarına uzaklığı ve sağlam kaya birimleri dolayısıyla çok düşük riskli afet alanı olarak belirlenmiştir. Havza' nın güneybatı yamaçları, özellikle Bolu Dağı geçişi ise, E-5 yolunun yarmaları nedeniyle yok olan yanal destekler, aktif faylara olan yakınlığı, E-5 otoyolundaki yüksek trafik yoğunluğu ve fliş litolojisinin varlığı nedeniyle çok yüksek riskli afet alanı olarak belirlenmiştir.

Ayalew ve Yamagishi (2005), Japonya'da Kakuda-Yahiko bölgesinde heyelan duyarlılık haritasının oluşturulmasında çok değişkenli istatistiksel analizlerden birisi olan mantıksal regresyon analizini kullanmıştır. Araştırmacılar bu yaklaşımın kullanılma nedenini, diğer çok değişkenli istatistiksel yöntemlere göre daha esnek olması ve de, elde

edilen modelin yorumunun iki değişkenli istatistiksel analizle birleştirilebilmesi olarak belirtmişlerdir. Duyarlılık haritalarının hazırlanmasında mantıksal regresyon analizinin kullanımının amacını ise, heyelanlarla (bağımlı değişkenle) bir dizi bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi tanımlamak için, en uygun fonksiyonun bulunması şeklinde ifade etmişlerdir. Çalışmada bağımlı değişkeni temsil edecek 87 adet heyelanı içeren bir envanter haritası kullanılmıştır. Analizde heyelan olan durumlar 1, olmayan durumlar 0 olarak tanımlanmıştır. Litoloji, anakaya-yamaç ilişkisi, çizgisellik, yamaç eğimi, eğim yönü (bakı), yükseklik ve anayol ağları bağımsız değişken olarak alınmıştır. Heyelan oluşumunda her bir parametrenin etkisi, mantıksal regresyon analizi kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen katsayılar, anayol ağlarının, heyelan oluşumu ve dağılımını belirlemede asıl etkili rolü oynadığını göstermiştir. Jeomorfolojik parametreler arasında yamaç eğimi ve eğim yönünün (bakı), yüksekliğe göre heyelan oluşumunda daha etkili olduğu belirlenmiştir. Üretilen olasılık haritası kullanılarak, çalışma alanı heyelan duyarlılığı açısından, aşırı düşük, çok düşük, düşük, orta ve yüksek duyarlılıktan oluşan 5 kategoride sınıflandırılmıştır. Orta ve yüksek duyarlı alanların toplam çalışma alanının % 8,87'sini oluşturduğu ve Kakuda-Yahiko Dağı'nın doğusunda yer alan orta yükseklikteki yamaçlarda bulunduğu belirlenmiştir.

Lee (2004), Kore'de Janghung yöresinde, olasılık modeli, olabilirlik oranı ve mantıksal regresyon modelini uygulayarak heyelan duyarlılık haritası üretmiştir. Mevcut heyelanlara ait alanları oluştururken uydu görüntüleri ve arazi çalışmalarından yararlanmışır. Farklı veri tabanları kullanarak heyelan oluşumunda etkili olan parametreleri üretmiştir. Olasılık oranı ve mantıksal regresyon katsayılarını kullanarak CBS fonksiyonları yardımıyla duyarlılık haritası üretmiştir. Daha sonra üretilen haritanın doğruluğu bilinen heyelanlarla test edilmiştir. Performans analiz sonuçlarına göre mantıksal regresyon modeli ile üretilen duyarlılık haritasının olabilirlik oranına göre üretilen haritadan daha yüksek tahmin değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

Lee (2005), Malezya'da Penang bölgesinde heyelan tehlikelerini değerlendirmek için CBS ve uzaktan algılama tekniklerinden yararlanmışır. Çalışma alanındaki mevcut heyelanların tespitinde hava fotoğraflarının yorumlanması ve arazi çalışmaları esas alınmıştır. Yörede heyelanların oluşumunda etkili olan faktörlerden eğim, eğim yönü (bakı), kavililik ve drenaj ağlarına olan uzaklık topoğrafik veri tabanından, litoloji ve çizgisel unsurlara olan uzaklık jeoloji veri tabanından, arazi kullanımı Landsat TM uydu görüntüsünden ve bitki indeksi değeri de SPOT uydu görüntüsünden elde edilmiştir.

Mantıksal regresyon modeli kullanılarak heyelan tehlikesi içeren alanlar analiz edilmiş ve haritalanmıştır. Analiz sonuçları bilinen heyelan alanları ile test edilmiş ve olasılık modeli ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar mantıksal regresyon analizi ile elde edilen haritanın, olasılık modeline oranla tahmin gücünün daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Yeşilnacar ve Topal (2005), çalışma alanında meydana gelen heyelanlardan dolayı bir bölümü hasar gören doğalgaz boru hattının güzergâhında değişiklik yapılması yönünde bir çalışma yapmışlardır. Öncelikle doğalgaz boru hattının geçeceği yeni güzergâhın tespit edilebilmesi için, Hendek yöresinde heyelana duyarlı alanların haritasını hazırlamışlardır. Doğalgaz boru hattının problemlili kesiminin heyelan duyarlılık haritasını hazırlamak için mantıksal regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemlerini kullanmışlardır. Sonuçta her iki yöntemin performansı karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar, heyelana duyarlılık açısından çok yüksek duyarlı ve yüksek duyarlı alanları dikkate alarak her iki yöntemi değerlendirmişler ve yapay sinir ağlarının mantıksal regresyon analizine oranla daha yüksek tahmin gücüne sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Çan vd. (2005), Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde, özellikle Mayıs 1998'de şiddetli ve aşırı yağışların neden olduğu çok sayıda akmaları incelemişlerdir. Araştırmacılar bu çalışmada sığ akmaların konumsal dağılımını belirlemek ve de üç farklı havzada bu sığ akmalara ait duyarlılık haritası hazırlamayı amaçlamışlardır. Tek koşullu birimler (UCU) oluşturulmuş ve mantıksal regresyon analizi uygulanarak duyarlılık haritaları hazırlanmıştır. Uygulama süresince çeşitli hassasiyet analizleri yapılarak bazı zorluklar aşılmaya çalışılmıştır. Özellikle analiz için akmaların gerçekleştiği piksel sayısının (1), akma gerçekleşmeyen piksel sayısına (0) oranı çok az olduğu için, gözlemlenen 1/0 oranından hareketle, analizde kullanılacak 0 ve 1 lerin sayısı belirlenmiştir. Havzalar için 1/0 oranı farklı olduğu için çalışmada her bir havza için analizde kullanılan 0 ve 1 lerin sayısı da farklı alınmıştır. Ayrıca bu oranın kullanılabilirliği tartışılmıştır. Çalışma neticesinde her üç havzada da meydana gelen akmaların, aşırı yağışların tetikleme ile oluştuğu ve çok yüksek duyarlı alanlarda yer aldığı görülmüştür.

Chau ve Chan (2005), Hong Kong Adası'nda meydana gelen 1834 adet heyelan verisinden hareketle mantıksal regresyon ve CBS kullanarak heyelan duyarlılık haritaları üretmişlerdir. Hong Kong Adası doğu batı doğrultusundaki su bölümü hattı sayesinde kuzey ve güney bölgelere ayrılarak, heyelan envanterinin bölgesel eğilimi incelenmiştir. Adanın güney bölgesi için hazırlanan duyarlılık haritasında bu bölgedeki veriler kullanıldığı zaman üretilen haritanın kuzey bölgesi verileri ile üretilen haritadan önemli

oranda farklı olduğu görülmüştür. Benzer durum adanın kuzeyi için de sözkonusu olmuştur. Bu yüzden, Hong Kong Adası'nın duyarlılık haritası bölgesel veri analizine dayandırılarak hazırlanmış ve bu haritalar eski heyelanların konumsal dağılımı ile yakın ilişkili bulunmuştur. Yükseklik faktörü, heyelan oluşumunu etkileyen en önemli faktör olarak düşünülmüş ve bu durum adada yerleşimin belirli topoğrafik yüksekliklerde toplanması ile ilişkilendirilmiştir. Hazırlanan duyarlılık haritasının güvenilirliğini test etmek için, sınıflama haritası, en iyi uyumluluk ve meydana gelme oranı kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık zonlarının boyutunun kullanılan veri setlerine bağlı olarak değiştiiği görülmüştür. Bu konuda bölgenin jeolojik durumu ve insan aktivitelerinin etkili olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak heyelan parametrelerine ilişkin veriler kullanılırken bölgesel farklılıkların kesinlikle dikkate alınması gerektiği vurgulanmaktadır.

Akgün ve Bulut (2007), coğrafi bilgi sistemlerinden yararlanarak Trabzon iline bağlı Yomra ve Arsin ilçeleri çevresinde heyelan duyarlılığına yönelik bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada heyelan envanteri topoğrafik haritaların analizi ve detaylı arazi çalışmaları neticesinde hazırlanmıştır. Yörede heyelan oluşumunda etkili oldukları düşünülen yamaç eğimi, bakı, drenaj ağına olan uzaklık, yola uzaklık ve litolojik birimlerin ayrışması gibi faktörler yapılan analizlerde değerlendirilmiştir. Mantıksal regresyon ve ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme gibi istatistiksel yöntemler kullanılarak çalışma sahasının heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Araştırmacılar yapılan bu çalışmada sonuçları iki açıdan değerlendirmiştir. Bunlar; kullanılan yöntemlerin etkinliği ve heyelanlara neden olan faktörlerin etkinliğidir. Elde edilen sonuçlar, ağırlıklandırılmış doğrusal birleştirme modelinin mantıksal regresyon modeline göre daha uygun olduğunu göstermiştir. Ayrıca seçilen parametreler içerisinde jeoteknik birimler olarak değerlendirilen litolojik birimlerin ayrışma durumları ile yamaç eğimi parametreleri heyelan duyarlılık değerlendirmesinde en etkili parametreler olarak belirlenmiştir.

1.8. Heyelan Duyarlılık Analizlerine İlişkin Genel Değerlendirme

Doğal afetlerden kaynaklanan zararların azaltılması ve canlı hayatın bu zararlardan en az seviyede etkilenmesi amacı ile heyelanlara yönelik olarak çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Bilimsel gelişmelere paralel olarak heyelan kayıtlarının daha düzenli bir şekilde tutulması ve bölgesel düzeyde yapılan çalışmaların artması bu konudaki hassasiyeti ve dolayısıyla da konuya yönelik yapılan çalışmaların sayısını artırmıştır.

Heyelanlarla ilgili değerlendirme çalışmaları yaklaşık yarım yüzyıldır sürmektedir. Bu konudaki çalışmalar daha önceleri yerel duraysızlık problemlerinin araştırılması ve bu problemlerin çözümüne ilişkin yapılan çalışmalarla sınırlanmaktadır. Daha sonraları bölgesel planlamaların öneminin artması dolayısıyla, heyelan değerlendirmeleri çalışmaları da bölgesel düzeyde yapılmaya başlamıştır. Günümüzde ise CBS teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak sayısal tabanlı değişik amaçlı haritalar üretilerek heyelan değerlendirmelerinde kullanılmaktadır. Bu konuda özellikle duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar çoğunluktadır.

Heyelan duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının hazırlanmasına yönelik olarak özellikle son onbeş yıllık dönemde pek çok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır. Ancak bu haritalar hazırlanırken hangi parametrelerin ve hangi yöntemlerin kullanılacağı, ayrıca kullanılan yöntemin ne şekilde kullanılması gerektiği konusunda bir fikir birliği söz konusu değildir. Bu konuda daha önceki yıllarda literatürde yer alan çalışmalarda, Carrara vd. (1995), Soeters ve Van Westen (1996), Aleotti ve Chowdury (1999), Guzetti vd. (1999), Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001), Dai vd. (2002), bir takım sınıflandırmalar ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Çalışmanın bu bölümünde duyarlılık analizlerindeki bazı genel kavramlar ile özellikle duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntem ve parametrelere ilişkin genel bir değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca daha önce Gökçeoğlu ve Ercanoğlu (2001) tarafından 21 adet çalışmanın incelenmesiyle elde edilen değerlendirme referans alınmış, daha sonraki çalışmalar ilave edilerek güncellenmiş ve ulaşılan 97 adet çalışma, kullanılan yöntem ve parametreler açısından değerlendirilmiştir (Tablo 3). Burada ulaşılmak istenen amaç, dünyada bu konudaki son durumu değerlendirmek ve yapılacak olan duyarlılık çalışmasında mevcut gelişmelerden faydalanarak en sağlıklı sonuçları elde edebilmektir.

Tablo 3. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntem ve parametreler

No	Araştırmacı	Bölge	Yöntem	Parametre
1	Choubey ve Litoria (1990)	Garhwal, Himalaya Hindistan	Çakıştırma	1,2,4,5,7,19
2	VanWesten ve Bonilla (1990)	Central Cordiallera, Kolombiya	Çakıştırma	1,2,3,4,7,8,9,10,14,21
3	Carrara vd. (1991)	Tescio Basin, İtalya	Çoklu regresyon analizi	1,2,3,4,6,8, 10
4	Anbalagan (1992)	Kathgodam,Hindistan	Çakıştırma	1,2,4,6,9,14
5	Chang (1992)	Tayvan	Çakıştırma	1,2,6,9,11,14,17,20
6	Choubey vd. (1992)	Uttarkashi-Tehri, Hindistan	Çakıştırma	1,2,4,5,7,13
7	Mehrotra vd. (1992)	Garhwal, Himalay, Hindistan	Çakıştırma	1,2,4,5,7
8	Juang vd. (1992)	Kaohsiung, Tayvan	Bulanık Mantık	1,2,3,4,8,10,13,15,16
9	Pachauri ve Pant (1992)	Aglar, Hindistan	Çakıştırma	1,2,4,6,7,9,12,13,19
10	Guillande vd. (1993)	Tahiti	Çakıştırma	1,2,3,4,5,7,8
11	Jade ve Sarkar (1993)	Srinagar, Hindistan	Çoklu regresyon analizi	1,2,6,7
12	Maharaj (1993)	St.Andrew, Jamaika	Çoklu regresyon analizi	1,2,3,9,16,17,18
13	Mejia-Navarro ve Wohl (1994)	Medellin, Kolombiya	Çakıştırma	1,2,4,8,9,15
14	Gökçeoğlu ve Aksoy (1996)	Mengen, Türkiye	Çakıştırma	2,3,4,5,6,7,18,22
15	Abdolmasov ve Obradovic (1997)	Belgrad KD, Yugoslavya	Bulanık Mantık	1,2,10,11,14
16	Chowdhury ve Flentje (1997)	Wollongong, Avusturayla	Çakıştırma	1,2,4,6,7,
17	Fernandez vd. (1999)	Cordoba, İspanya	Matris Analizi	1,2,3,4,5,6,8,15,20
18	Guzzetti vd. (1999)	Umbria-Marche, İtalya	Çoklu regresyon analizi	1,2,3,4,6,8,10
19	Luzi ve Pergalani (1999)	Lombardia Bölgesi, İtalya	Çakıştırma	1,2,4,5,7,21
20	Nagarajan vd. (2000)	Konkan Coast, Hindistan	Çakıştırma	1,2,3,4,5,6,9,10,11,15,16,17
21	Uromeihy ve Mahdavifar (2000)	Khorshrostan, İran	Bulanık Mantık	1,2,7
22	Gupta ve Joshi(1990)	Himalaya	Çakıştırma	1,3,4,7
23	Atkinson P.M. ve Massari R. (1998)	Apennines, İtalya	Lineer Model	1,2,3,4,8,9,11
24	Binaghi E. vd (1998)	İtalya	Bulanık Mantık	2,3,4,5,7
25	Prasada R.ve Saibaba J. (1999)	Himalaya, Hindistan	AHY and FOI	1,2,4,5,9,10
26	Rautela P. ve Lakhera R.C. (2000)	Himalaya, Hindistan	İstatistiksel Yaklaşım	1,2,3,4,5,9
27	Bulut vd. (2000)	Rize	İsoplet	1,2,4
28	Lee, S. vd. (2000)		İstatistik	1,2,3,10,11
29	Temesgen B. vd. (2001)	Etiyopya	Çakıştırma	1,2,3,4,5,9
30	Lee, S. vd. (2001)	Yongin, Kore	Yapay Sinir Ağları	1,2,3,8,10,11

Tablo 3. devam ediyor.

No	Araştırmacı	Bölge	Yöntem	Parametre
31	Dai F.C. ve Lee C.F. (2001)	Lantau Island, Hong Kong	Lojistik Regresyon	1,2,3,4,5,6
32	Dai F.C. vd. (2001a)	Lantau, Hong Kong	Lojistik Reg.	1,2,3,4,5,13
33	Wachal D.J. ve Hudak P.F. (2001)	Texas, Amerika	Çakıştırma	1,2,4,7
34	Baeza C. ve Corominas J. (2001)	İspanya	Diskriminant Analizi	1,2,3,4,6,8,11
35	Lee C.F. vd. (2001)	Hong Kong	Yapay Sinir Ağları	1,2,4,9
36	Lee S. ve Min K. (2001)	Yongin, Kore	İstatistiksel	1,2,3,4,5,8,10,11
37	Ercanoğlu M. ve Gökceoğlu C. (2002)	Yenice, Türkiye	Bulanık Mantık	2,3,4,6,14,16
38	Lee S. vd. (2002)	Jonghung, Korea	Jeolojik Yapısal Analiz	1,2,3,7
39	Lee S. vd. (2002)	Kore	Bayezien Olasılık	1,2,3,4,5,8,10,11
40	Donati L. ve Turrini M.C. (2002)	Apennines, İtalya	Çakıştırma	1,2,3,4,5,7,9
41	Zhou C.H. vd. (2002)	Lantau Island; Hong Kong	İstatistiksel	2,4,6,15
42	Kojima H. ve Obayashi S. (2002)	Japonya	Yapısal Eşitlik Modeli (SEM)	1,2,3,4,6,10
43	Dai F.C. ve Lee C.F. (2002)	Hong Kong	Loj.Regresyon	1,2,3,4,5,6,8
44	Chung C. ve Fabbri A.G. (2002)	Kanada	Çakıştırma	1,2,3,4,6
45	Dai F.C. ve Lee C.F. (2002)	Hong Kong	Log.Regresyon	1,2,3,4,6,8,15
46	Pistocchi A. vd. (2002)	İtalya	Fuzzy (Bulanık Mantık)	1,2,3,4,7,15
47	Clerici Aldo vd.2002)	Apennines, İtalya	İstatistiksel	1,2,3,4,15
48	Dai F.C. ve Lee C.F. (2002)	Lantau Island, Hong Kong	Lojistik Çoklu Regresyon	1,2,3,4,5,6,8
49	Ohlmacher G.C. ve Davis J.C. (2003)	Kansas, Amerika	Lojistik Çoklu Regresyon	1,2,3,18
50	Süzen M.L. ve Doyuran V. (2004a)	Asarsuyu,Düzce, Türkiye	İstatistiksel Yaklaşım	1,2,3,4,5,6,7,12
51	Lee S. vd. (2003)	Yongin, Kore	Yapay Sinir Ağları	2,4,5,8,10,11,14
52	Santacana N. vd. (2003)	Pyrenees, İspanya	Çok Değişkenli İstatistiksel An.	1,2,3,4,6,8
53	Fernandez T. vd. (2003)	Granada, İspanya	Çakıştırma Bivariate	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,19
54	Vanwesten C.J. vd. (2003)	Alpago, İtalya	İstatistiksel	1,2,4,5,12
55	Remondo J. vd. (2003)	Deba Valley, İspanya	İstatistiksel	1,2,3,4,6
56	Remondo J. vd. (2003)	Guipuzcoa, İspanya	İstatistik Bulanık mantık	1,2,3,4,5,6,8
57	Süzen M.L. ve Doyuran V. (2004b)	Asarsuyu,Düzce, Türkiye	Logistic reg. Bivariate	1,2,3,4,5,6,7,12
58	Çevik E. ve Topal T. (2003)	Hendek, Türkiye	İstatistiksel	1,2,3,4,5,6,7,19

Tablo 3. devam ediyor.

No	Araştırmacı	Bölge	Yöntem	Parametre
59	Romendo J. vd. (2003)	İspanya	Bulanık mantık	1,2,3,4,6
60	Menendez R.vd. (2003)	Nikaragua	İstatistik	1,2,5
61	Lee S. vd. (2003)	Kore	Yapay Sinir Ağları	1,2,3,4,5,8,11
62	Tangesteni M.H. (2003)	İran	Bulanık Mantık	1,2,3,4,6,12,16
63	Lee S., (2004)	Korea		1,2,3,4,8,10,11,14
64	Moreiras S.M. (2004)	Argentina	Çakıştırma	1,2,3
65	Lan H.X. vd. (2004)	Yunnan, China	Çakıştırma	1,2,3,6,7,9
66	Ermini L. vd. (2004)	İtalya	Yapay Sinir Ağları	1,2,4,8
67	Gomez H.ve Kavazoğlu T. (2004)	Venezuela	Yapay Sinir Ağları	1,2,3,4,5,6,9,10
68	Ercanoğlu M. vd. (2004)	Yenice, Türkiye	İstatistiksel Analiz (Faktör)	1,2,4,6,14,15,16
69	Ercanoğlu M. ve Gökceoğlu C. (2004)	Batı Karadeniz, Türkiye	Bulanık Mantık	1,2,3,4,5,6,7,8,9,12
70	Ayewew T. ve Barbieri G. (2004)	Etiyopya	Çakıştırma	1,2,4,10,14,16
71	Ayalew L. ve Yamagishi H. (2005)	Japonya	Log. Regresyon	1,2,3,6,7,12
72	Casagli N. vd. (2004)	İtalya	Çakıştırma	1,2,4
73	Foumelis M. vd. (2004)	Yunanistan	Çakıştırma	1,2,4,5,7,8,11,13,15
74	Lan H.X. vd. (2004)	Çin	Çakıştırma	1,2,3,6,7,9
75	Ayalew L. vd. (2004)	Tsugama, Japan	Çakıştırma	1,2,4,6,8
76	Ayalew L. ve Yamagishi H. (2005)	Japan	Lojistik Regresyon	1,2,3,6,9,12
77	Lee S.(2005)	Malezya	Log. Regression	1,2,3,4,5,7,8
78	Yeşilnacar E. ve Topal T. (2005)	Türkiye	Log. Regression Yapay Sinir Ağ.	1,3,4,5,6,7,8,12
79	Yalçın (2005)	Türkiye	Deterministik	1,2,3,4,5,6,12,18
80	Eeckhaut M.V.D. vd. (2005)	Flemish, Belçika	İstatistik Log.reg.	1,2,3,5,6,7,8,14
81	Çan T. vd. (2005)	Türkiye	İstatistik Log.reg.	1,2,3,4,6,8
82	Komac M. (2005)	Slovenya	AHY İstatistik	1,2,3,4,5,7,8
83	Pradhan B. vd. (2005)	Himalaya	Çakıştırma (CBS tabanlı)	1,2,4,5,7
84	Chau K.T. ve Chan J.E. (2005)	Hong Kong	İstatistik Log.reg.	1,2,3,6
85	Baum R.L. vd.(2005)	Washington USA	Deterministik	1,11,14,16,22
86	Look B. (2005)	Avusturalya	Çakıştırma	1,2,3,4,9,13,17
87	Ayalew L. vd. (2005)	Japonya	Çakıştırma İstatistik	1,2,6
88	Guinau M. vd. (2005)	Nikaraguay	Çakıştırma	1,2,4,10,11
89	Wang H.B. ve Sassa K. (2005)	Japonya	İstatistik	1,2,3,4,6,10
90	Duman T.Y. vd. (2005)	Türkiye	Şarhlı Olasılık	1,3,5,6,7,12,14
91	Chung C. (2005)	Kanada	Olasılık	1,2

Tablo 3. devam ediyor.

No	Araştırmacı	Bölge	Yöntem	Parametre
92	Duman T.Y. vd. (2006)	Türkiye	İstatistik	1,2,3,5,6,8
93	Lee S. ve Dan N.T. (2005)	Vietnam	Olasılık	2,3,4,7,8,10
94	Havenith H.B. vd. (2006)	Suusamyr Asia, Kırgızistan	İstatistik Jeoteknik	1,2,3,7,8,11,16
95	Clerici A. vd. (2006)	İtalya	Çakıştırma, Con	1,2,3,6,7
96	Lee S. ve Sambath T. (2006)	Kampuçya	Olasılık (FR) İstatistik	1,2,3,4,5,7,8
97	Akgün A. ve Bulut F. (2007)	Trabzon, Türkiye	Loj. Regresyon, Çok ölçütlü karar analizi	1,2,3,5,12

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1 : Litoloji | 12 : Yol Yoğunluğu |
| 2 : Eğim | 13 : Yükseklik (Göreceli) |
| 3 : Yamaç Eğim Yönü (Bakı) | 14 : Yeraltı Suyu (Su Durumu) |
| 4 : Arazi Örtüsü | 15 : Yağış |
| 5 : Drenaj Ağı | 16 : Ayrışma Derinliği |
| 6 : Yükseklik (Topoğrafik) | 17 : Süreksizlik Yoğunluğu |
| 7 : Faya Yakınlık ~ Çizgisellik | 18 : Zemin Makaslama Dayanımı |
| 8 : Yamaç Şekli | 19 : En Yakın Tepeye Olan Mesafe |
| 9 : Yapısal Elemanların Yamaçla İlişkisi | 20 : Yüzey Süreçleri |
| 10 : Zemin Yapısı | 21 : Sismisite |
| 11 : Zemin Kalınlığı | 22 : Statik Güvenlik Sayısı |

1.8.1. Duyarlılık, Tehlike ve Risk Kavramları

Heyelan değerlendirmelerine yönelik yapılan çalışmalarda çoğunlukla, duyarlılık, tehlike ve risk kavramları ile ilgili tanımlamalarda ve bu kavramların kullanımında bir karışıklık söz konusudur. Kimi çalışmalarda aynı anlamda kullanılan bu kavramlar bazen de birbirlerinin yerlerine kullanılmaktadır. Birbiri ile bağlantılı olan duyarlılık, tehlike ve risk kavramları aslında farklı tanımlamalara ve kullanımlara sahiptir.

Heyelan duyarlılığı ile ilgili çalışmalar, bir bölge içerisindeki alanların, göreceli olarak (çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek duyarlı vb.) heyelana karşı hassasiyetinin sınıflandırılması şeklinde tanımlanabilir. Dai vd. 2002 ise, heyelan duyarlılığını, yağış, deprem ve insan faktörü gibi tetikleyici faktörlerin değerlendirilmediği koşullar altında belirlenen heyelan olasılığı olarak tanımlamaktadır. Bu tür çalışmalarda, incelenen alanda heyelanların meydana gelmesine neden olabilecek faktörler değerlendirilerek, daha sonraki doğal süreçte heyelan oluşumundan etkilenebilecek olası duraysız alanlar belirlenmektedir. Bu çalışmalar için, bölgedeki heyelanlara ilişkin bir

envanter ve heyelan oluşumuna neden olan faktörlere ait genel bir veri tabanının oluşturulması gereklidir. Duyarlılık çalışmalarında heyelanlarla yakın ilişkisi olan, kolaylıkla belirlenebilen ve haritalanabilir özellikteki parametrelerin seçilmesi önemlidir (Carrara vd. 1991). Heyelan duyarlılık çalışmalarında hem güncel hem de geçmişte meydana gelmiş heyelanların özelliklerinin belirlenmesi ve bu heyelanların oluşumunda etkili olabilecek parametrelerin bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Özetle heyelan oluşumunda etkili olabileceği düşünülen parametrelere ait haritalar oluşturularak, bu parametrelerin etkileri hesaplanan ağırlık değerleri ile belirlenmekte ve bu değerlerin kullanılması ile gerçekleştirilen işlemler sonucunda heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmaktadır.

Tehlike kavramı Varnes (1984)'a göre belirli bir zamanda, belirli bir alan içerisinde potansiyel olarak hasar verme etkisine sahip bir olayın, oluşabilme olasılığıdır. Bu tanım büyüklük, coğrafik konum ve zaman gibi faktörleri bir arada içermektedir. Heyelan tehlike haritalarında; yamaç yada şev duraysızlıkları ile ilgili ayrıntılı envanter çalışmaları, hazırlayıcı ve tetikleyici parametrelerin analizi, çevresel etkilerinin araştırılması ve bu parametrelerin alansal dağılımlarının gösterilmesi ile ilgili bir dizi çalışmanın yapılmış olması gerekir (Soeters ve Van Westen, 1996).

Heyelan tehlike haritalarının üretilmesinde, farklı tehlike katagorilerini belirtmek için Hartlen ve Viberg (1988), bazı tanımlamalar yapmışlardır. Bunlar;

a- Göreceli tehlike: Kesin ve sayısal bir değer ifade etmeksizin farklı yamaçlar karşılaştırılarak belirlenen tehlike.

b- Mutlak tehlike: Ya deterministik olarak (güvenlik sayısına bağlı) ya da istatistiksel analizlere dayanarak hesaplanan tehlike.

c- Amprik tehlike: Yamaç yüksekliği ve açısı gibi birkaç parametre ile ilgili grafiklerden elde edilen eğrilerin değerlendirilmesi ile hesaplanan tehlike.

d- Gözlemlenen tehlike: Deformasyon ve/veya yağış verilerinin, önceden belirlenmiş olan kritik değerler ile karşılaştırılması sonucunda belirlenen tehlikedir.

Ancak, bu tür çalışmalar yapılarak, heyelan tehlike değerlendirmelerinin gerçekleştirilmesi, uygulama açısından zordur. Çünkü büyük alanlar için potansiyel zarara neden olabilecek bir heyelanın oluşma olasılığının belirlenmesi güçtür. Çalışılan alanı temsil edici türde veriye ulaşmanın maliyeti yüksektir. Ayrıca yapılacak heyelan tehlike analizinde heyelan oluşma olasılığının hesaplanabilmesi için, yağış ve depremler gibi tetikleyici parametrelere ilişkin ayrıntılı ve güvenilir verilere de gereksinim duyulmaktadır

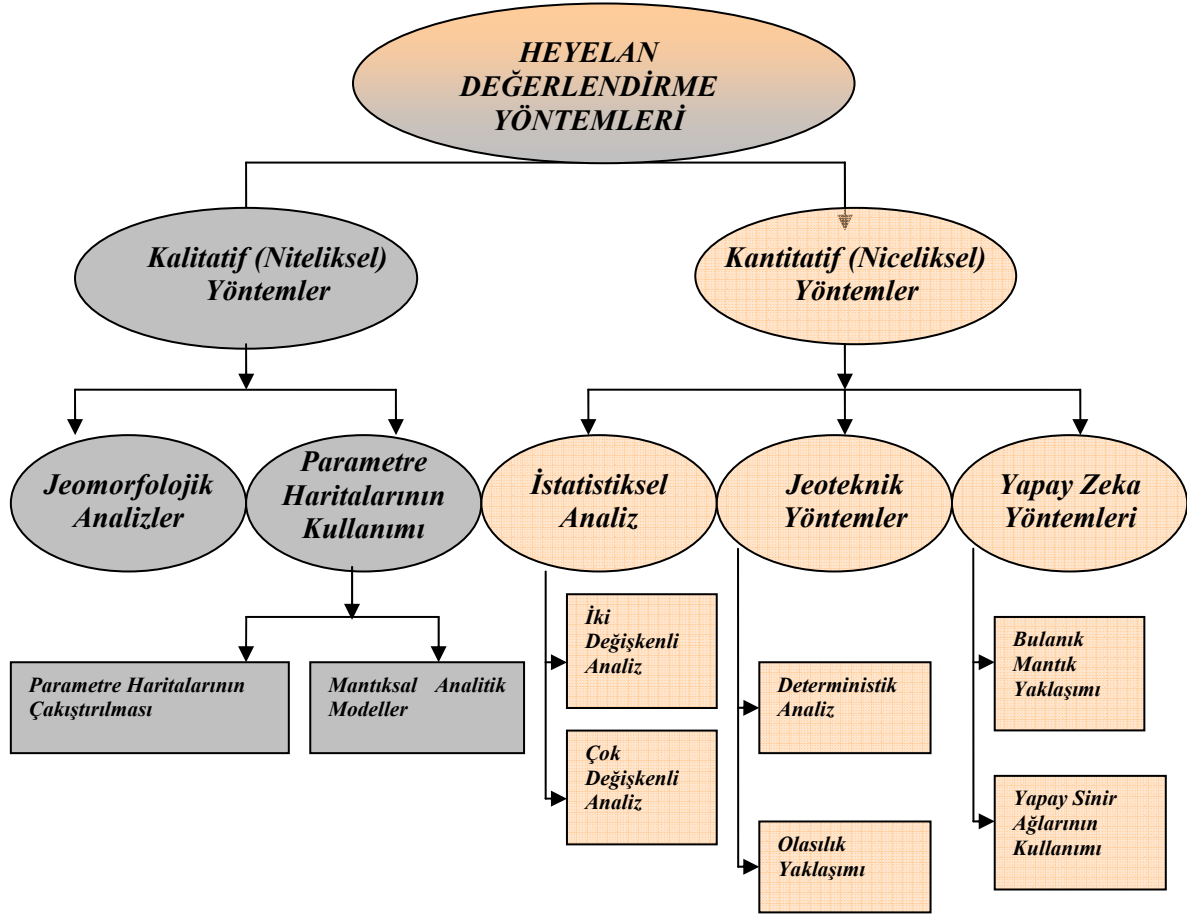
(Ercanoğlu, 2003). Oysa şiddetli yağış ve deprem gibi heyelanları tetikleyen faktörlerin kısa bir zaman aralığında meydana gelmesi, bu faktörlerin tehlike değerlendirmesi ile ilgili bir çalışmada dikkate alınmasını hemen hemen imkânsız hale getirmektedir (Dai vd. 2001).

Varnes (1984)'a göre *risk kavramı*, belirli bir alanda ve belirli bir zaman içerisinde gerçekleşecek, zarar verebilecek herhangi bir tehlikeye bağlı olarak oluşacak olası can kaybı, yaralanma, mal kaybı ve ekonomik zararların tahmini miktarı olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla heyelan risk çalışmaları, heyelan sonucunda oluşabilecek can ve mal kayıplarının yanı sıra, oluşacak hasarın tahmini, ekonomik ve çevresel zararları da beraber değerlendiren çalışmalardır. Duyarlılık ve tehlike çalışmalarına ilave olarak heyelanı oluşturan veya tetikleyen parametreler dışında, çalışılan bölgedeki nüfus, ekonomik aktivite gibi konularda da ayrıntılı bilgiye gereksinim duyulmaktadır. Dolayısıyla bu tür haritaların oluşturulmasında, duyarlılık ve tehlike haritalarına göre daha fazla disiplinler arası çalışmalar gerekmektedir. Çünkü heyelan risk haritaların hazırlanmasında, sadece yerbilimciler değil, sosyal bilimciler, şehir planlamacıları gibi meslek gruplarının ortaklaşa çalışması gerekmektedir. Heyelan risk haritalarının oluşturulmasına yönelik çalışmalar, duyarlılık ve tehlike haritalarının üretilmesine yönelik çalışmalara oranla çok daha az sayıdadır. Bu durumun temel nedeni, parametrelere ilişkin sağlıklı verilere ulaşmanın oldukça güç bir işlem olmasıdır.

Anbalagan ve Singh (1996)'a göre, heyelan tehlike haritaları ve olası heyelanların meydana getireceği kayıplar bir arada değerlendirilerek heyelan risk haritaları oluşturulabilir. Ancak, uzun dönemli duraylılık önlemleri alınmadıkça, kayan alanlar zaman içerisinde genişlemeye devam etmektedir. Benzer şekilde insan nüfusu da zamanla artan bir eğilim gösterebilir. Dolayısıyla hem nüfus sayısındaki değişim, hem de kaymadan dolayı hasar görmesi muhtemel yerleşim alanları, araziler vb. alanlardaki değişimler dikkate alındığında, risk değerlendirmelerinin zaman içerisinde güncelleştirilmesi gerekmektedir.

1.8.2. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Yöntemler

Günümüzde heyelan değerlendirmelerinde kullanılan yöntemler başlıca, kalitatif (nitel) ve kantitatif (nicel) yöntemler olmak üzere iki başlık altında incelenebilir (Şekil 5).



Şekil 5. Heyelan değerlendirme yöntemleri Aleotti ve Chowdury (1999), Ercanoğlu (2003).

1.8.2.1. Kalitatif (Niteliksel) Yöntemler

Kalitatif yöntemler, genel olarak, tehlike veya duyarlılık değerlendirmesini yapan kişi ya da kişilerin doğrudan saha gözlemlerine dayanan, kişisel bilgi ve deneyimini esas alan yöntemlerdir. Bu yöntemlerde kullanılacak olan veriler, asıl olarak arazi çalışmaları süresince yapılan gözlem ve değerlendirmelerden elde edilmektedir. Hava fotoğraflarının yorumlamaları yapılarak arazi çalışmaları desteklenmektedir. Bu yöntemler deneyime dayalı olduklarından dolayı aynı zamanda “uzman değerlendirme yaklaşımları” olarak ta değerlendirilmektedir (Leroi, 1996). Kalitatif yöntemler başlıca iki gruba ayrılmaktadır.

1.8.2.1.1. Jeomorfolojik Analizler

Bu yöntemde, potansiyel olarak duraysız olabileceği düşünülen alanlar, önceden meydana gelmiş olan heyelanların jeomorfolojik özellikleri dikkate alınarak belirlenir. Kütle hareketleri haritaları ve bunların jeomorfolojik katmanları, duyarlılık belirlemede ana veri katmanlarıdır. Bu metotta duyarlılığın derecesi, arazide yapılan çalışmalar esnasında her bir alan için değerlendirilmektedir. Verilerin farklı alanlarda değişiklik göstermesinden dolayı sonucu gösterecek veri katmanlarını formüle etmek çok zordur (Yalçın, 2005). Bu yöntem, ağırlıklı olarak hava fotoğrafı yorumlamaları ile arazi çalışmalarından elde edilen bilgiler ışığında yapılan çalışmaları kapsamaktadır. Bu yöntemin başlıca dezavantajları şunlardır;

a- Yamaç duraylılığını kontrol eden faktörlerin seçimindeki kişisellik. Bu durum farklı araştırmacı ya da uzmanlar tarafından hazırlanan haritaların karşılaştırılmasını zorlaştırmaktadır.

b- Deneyime dayalı bir yöntem olması nedeniyle kesin olmayan kuralların kullanılması,

c- Verilerin güncellenememesi,

d- Arazi çalışmalarının bir hayli zaman alıcı olması olarak değerlendirilebilir (Leroi, 1996).

Buna rağmen, çok sayıda faktörün değerlendirildiği düşünülürse, çalışılan bir alan için duyarlılık değerlendirmesinin jeomorfolojik analizle hızlı bir şekilde yapıldığı söylenebilir. Bu analizlerin diğer bir üstünlüğü de, diğer yöntemlere oranla hemen hemen her türlü ölçekte uygulanabilir olmasıdır. Jeomorfolojik analiz yöntemleri kullanılarak, duyarlılık haritalarının hazırlanması özellikle 1980'li yıllarda kullanılmıştır (Kienholz, 1978, Varnes, 1984, Hansen, 1984) .

1.8.2.1.2. Parametre Haritalarının Kullanılması

Bu yöntem, heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen parametrelere yönelik bir dizi haritaların oluşturulması ve bunların üst üste karşılaştırılması esasına dayanmaktadır. Bu yöntemde araştırmacı, yamaç duraylılığında etkili olan faktörleri belirlemekte ve haritalamaktadır. Parametrelerin ağırlık değerlerinin belirlenmesi, araştırmacının deneyimi

veya verilerin mantıksal regresyona tabi tutulmasıyla gerçekleştirilir. Bu yöntemde yapılması gereken işlem adımları şu şekilde özetlenmektedir;

- a- Her bir parametrenin uygun alt sınıflara ayrılması
- b- Her bir alt sınıfa ağırlık değerlerinin atanması
- c- Her bir parametreye ağırlık değerlerinin atanması
- d- Ağırlıklı haritaların çıkarılması
- e- Duyarlılık sınıflarını gösteren duyarlılık haritasının üretilmesi (Soeters ve Van Westen, 1996).

Parametre haritalarının kullanılması yönteminde ağırlık değerlerinin belirlenmesinde sorun yaşanmaktadır. Haritaların oluşturulmasında araştırmacının kişisel deneyiminin ön plana çıkması ve kullanılacak parametrelerle ilgili yetersiz veriler nedeniyle hatalar oluşmaktadır. Bu yöntemin kullanılmasında her ne kadar sayısal verilerle değerlendirmeler yapılıyor olsa da, deneyimin ön plana çıkması nedeniyle, nitel yöntemler altında ele alınmaktadır (Ercanoğlu, 2003). Coğrafi bilgi sistemlerindeki gelişmeye paralel olarak, bu yöntemde yapılan işlemler kolaylaşmış ve değişik parametrelerin birbirleriyle ve heyelan oluşumu ile ilişkisi bir arada değerlendirilebilmiştir. Yine coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla veri güncellemesi ve yönetimi daha kolay hale gelmiştir. Bu yöntem duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik olarak birçok çalışmada kullanılmıştır. (Pachauri ve Pant, 1992, Guillande vd., 1993, Jager ve Wieczorek, 1994, Anbalagan ve Singh, 1996, Chowdhury ve Flentje, 1997, Gupta ve Anbalagan, 1997, Nagarajan vd., 1998, Pachauri vd., 1998, Luzi ve Pergalani, 1999, Nagarajan vd., 2000, Temesgen vd., 2001, Wachal ve Hudak, 2001, Donati ve Turrini, 2002, Chung ve Fabbri, 2002, Ayalew vd., 2004, Moreiras, 2005, Casagli vd., 2004).

1.8.2.2. Kantitatif (Niceliksel) Yöntemler

Kantitatif (niceliksel) yöntemlerde, heyelana neden olabilecek çok sayıdaki parametre dikkate alınarak, değerlendirmeler çoğunlukla bilgisayar destekli olarak yapılmaktadır. Ayrıca bu yöntemlerde, çalışma alanına ilişkin koşullar ile heyelanların oluşumu arasındaki ilişki, sayısal olarak ortaya konulabilmektedir (Aleotti ve Chowdhury, 1999).

Kantitatif yöntemler, kalitatif yöntemlere göre daha çok matematiksel işlemlerin uygulandığı, istatistiksel yöntemleri, jeoteknik yöntemleri ve özellikle son yıllarda kullanımı yaygınlaşan yapay zeka yöntemlerini içermektedir.

1.8.2.2.1. İstatistiksel Analizler

Kalitatif yöntemlerle ilgili asıl sınırlama (dezavantaj), yamaçların duraylılığını kontrol eden çok sayıdaki faktöre ağırlık değerleri atanırken yaşanan kişisel değerlendirmeleri dikkate alan özneliktir. Bu problemin çözümü, heyelanların konumsal dağılımı ile faktörler arasında istatistiksel yaklaşımlar kurularak sağlanmaktadır. Bu yöntemde, öncelikle potansiyel duraysızlıkların nedenlerinin belirlenmesi gereklidir. Bu işlem, geçmişte meydana gelmiş olan heyelanlara neden olan faktörlerin belirlenmesi ile gerçekleştirilir. Çünkü heyelanlar geçmişte hangi nedenlere bağlı olarak geliştirse, gelecekte benzer faktörlerden etkilenecektir.

İstatistiksel analizlerde, geçmişte meydana gelmiş heyelanlara neden olan faktörler, istatistiksel olarak değerlendirilmekte ve sayısal olarak ifade edilebilmektedir. Özellikle son yıllarda bilgisayar teknolojisi, coğrafi bilgi sistemi ve uzaktan algılama tekniklerindeki gelişmelere paralel olarak, farklı disiplinlerde sayısal tabanlı haritaların üretimi büyük oranda artmıştır. Bu gelişmeler heyelan duyarlılık haritalarının da, bilgi teknolojisini kullanarak hazırlanmasına olanak sağlamış ve istatistiksel yöntemlerin kullanımını da arttırmıştır (Carrara vd., 1991; Maharaj, 1993; Guzzetti vd. 1999; Lee vd. 2000; Rautella ve Lakhera, 2000; Lee ve Min, 2001; Baeza ve Corominas, 2001; Dai ve Lee, 2001; Dai vd., 2001a; Zhou vd. 2002; Clerici vd., 2002; Dai ve Lee, 2002; Ercanoğlu vd., 2003; Ohlmacher ve Davis, 2003; Süzen ve Doyuran, 2004a,b; Santanaca vd., 2003; Van Westen vd., 2003; Remondo vd., 2003; Çevik ve Topal, 2003; Lee, 2004; Ayalew ve Yamagishi, 2005; Lee, 2005; Yeşilnacar ve Topal, 2005; Dağ vd., 2006; Akgün ve Bulut, 2007).

1.8.2.2.1.1. İki Değişkenli İstatistiksel Analizler

Bu yöntemin temeli, her bir faktörün heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Parametreler heyelanlarla ilişkilendirilip, ağırlıklı değerleri her bir sınıftaki heyelanlı piksel ve toplam piksellere dayanarak belirlenmektedir. Bu tür analizlerde:

- 1- Heyelan oluşumuna neden olabilecek faktörlerin seçimi, haritalanması ve uygun sınıflar altında gruplandırılması
- 2- Mevcut heyelanların haritalanması (envanter haritasının oluşturulması)
- 3- Envanter haritasıyla her bir parametre haritasının karşılaştırılması
- 4- Her bir parametre için heyelan yoğunluğunun bulunması ve ağırlıklı değerinin belirlenmesi
- 5- Ağırlıklı değerlerin farklı parametre haritalarına atanması
- 6- Duyarlılık hesaplamaları yapılarak, sonuç haritasının hazırlanması

gibi bir dizi işlemler gerçekleştirilir (Aleotti ve Chowdhury, 1999).

İki değişkenli istatistiksel analiz, yer bilimciler tarafından yaygın olarak uygulanmakta ve litoloji, yamaç eğimi, yükseklik, arazi kullanımı, ana faylara olan mesafe, drenaj yoğunluğu vb. çok sayıda parametre değerlendirilmektedir.

1.8.2.2.1.2. Çok Değişkenli İstatistiksel Analizler

Çok değişkenli istatistiksel analizlerin amacı, diğer istatistiksel işlemlerle benzer olup, herhangi bir konu ile ilgili olarak yapılan çalışmaların sayısal olarak ifade edilebilen sonuçlarının özetlenmesi, yorumlanması ve konu ile ilgili olarak karar verilirken bu sonuçların kullanılmasının sağlanmasıdır (Tatlıdil, 2002). Bu tür istatistiksel işlemlerde, birbiriyle ilişkili ya da ilişkisiz çok sayıdaki değişken göz önünde bulundurularak, değişkenler arasındaki bağımlılık yapısı analiz edilmektedir. Çok değişkenli istatistiksel analizlerin heyelan değerlendirmelerinde kullanımı, Neuland (1976) ve Carrara vd. (1978) ile başlamıştır. Aslında daha önce, Brabb vd., (1972) tarafından sadece şev açısı ve şevi oluşturan malzeme özellikleri dikkate alınarak bölgesel ölçekte heyelan duyarlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Ancak sadece şev açısı ve şevi oluşturan malzemenin litolojik özelliklerine bağlı olarak geliştirilen duyarlılık haritalarının ne derece yeterli olacağı tartışılır bir durumdur. Daha sonraki çalışmalarda daha fazla parametrenin kullanıldığı çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Carrara, 1983 ve 1988; Carrara vd., 1990, 1992, 1995 ve 1999; Guzzetti vd. 2000). Bu tür çalışmalarda, çalışma alanı grid tabanlı birimlere ayrılmakta, çalışma alanının ayrıldığı bu alt bölgelerde heyelanın varlığı ve yokluğunun belirtildiği matris oluşturulmaktadır. Daha sonraki adımda ise heyelan oluşumuna neden olan faktörlere ilişkin ağırlıklı değerler, bilgisayar ortamında istatistiksel yazılım programları kullanılarak, bir dizi çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri ile

belirlenmektedir. Bu yöntemle, heyelanlara ilişkin özelliklerin homojen olduğu veya heyelan türünün farklılık göstermediği bölgelerde oldukça güvenilir sonuçlar alınmaktadır (Aleotti and Chowdhury, 1999).

Bu yöntemin başarısı için, son derece ayrıntılı bir veri tabanına gereksinim duyulmaktadır. Geniş bir veri tabanı ile çalışılmasından ötürü veri toplama ve veri işleme süreçleri uzun ve zaman alıcı olsa da, gerek ayrıntılı verilerle çalışılması gerekse uygulamada nesnel olması açısından diğer yöntemlere göre daha üstündür. Dolayısıyla üretilen duyarlılık haritaları daha hassas ve incelenen alanla ilgili koşulları daha iyi yansıtmaktadır.

Çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri kullanılarak heyelan duyarlılık haritaları üretilirken genel olarak şu işlemler gerçekleştirilmektedir:

- 1- Çalışma alanı grid tabanlı alt alanlara bölünür.
- 2- Çalışma alanında heyelan oluşumu açısından etkili olabilecek faktörler belirlenir ve her bir parametreye ait harita oluşturulur (sayısal veri girişine uygun olmayan litoloji ve bitki örtüsü gibi parametrelerin, sayısal kodlamalar yapılarak sayısal formata dönüştürülmesi gereklidir).
- 3- Çalışılan alana ait heyelan envanter haritası oluşturulur.
- 4- Çalışma alanında tanımlanan her bir parametre için, sınıf değerlerinin temel alındığı parametre haritaları birleştirilir.
- 5- Çok değişkenli istatistiksel analizler gerçekleştirilir. Bu işlem için, istatistiksel yazılımlar kullanılarak, eldeki veriler değerlendirilir.
- 6- Gruplandırılan birimler, ağırlıklı parametre değerlerinin atanması ile yeniden sınıflandırılır.
- 7- Heyelana neden olabilecek farklı parametrelerin sayısal olarak ifade edilip bir arada değerlendirilmesi sonucunda, elde edilecek matematiksel ilişki yardımıyla, her bir birim için (alt bölge, piksel vb. gibi) heyelana karşı duyarlılık elde edilir (Aleotti ve Chowdhury, 1999; Ercanoğlu, 2003).

1.8.2.2.2. Jeoteknik Yaklaşımlar

Jeoteknik yaklaşımın temelini, heyelanlarla ilgili güvenilir jeoteknik parametrelerin ve çalışılan alandaki duraysızlıkları doğru bir şekilde temsil eden duraysızlık modeli ve analiz yönteminin seçilmesi oluşturmaktadır.

1.8.2.2.2.1. Deterministik Analizler

Özellikle çalışma alanı boyutunun küçük olduğu, jeolojik özelliklerin homojenlik gösterdiği ve heyelan türünün değişiklik göstermediği durumlarda, kullanılan başarılı bir modeldir. Bu yöntemin asıl amacı, güvenlik sayısının hesaplanmasıdır. Özellikle geniş alanlarda yapılacak çalışmalarda, çalışılan alanın özelliklerini sağlıklı bir şekilde belirleyebilecek örnekleme ve deneysel çalışmaların hayli zaman alıcı ve güç olmasından ötürü, genellikle küçük alanlarda yapılan duyarlılık çalışmalarında kullanılmaktadır. Şevlerin analizini içeren bu yöntem, zemin mühendisliğinde şev çalışmaları açısından yaygın olarak kullanılmaktadır. Güvenlik sayısının hesaplanabilmesi ve yöntemin kullanılabilmesi için, geometrik veriler, malzemenin fiziksel özellikleri, kayma dayanımı parametrelerine ait veriler ve boşluk suyu basıncı ile ilgili bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle coğrafi bilgi sistemlerinin gelişimiyle beraber heyelan tehlike değerlendirmeleri ve duyarlılık haritalarının hazırlanması ile ilgili çalışmalarda bu yöntem, son derece kullanışlı bir hal almıştır.

1.8.2.2.2.2. Olasılık Yaklaşımı

Temel jeoteknik modellerin uygulanmasında, gerek deney metotları ve deneylerde kullanılan aletlerden kaynaklanan problemler, gerekse zeminlere ait fiziksel özelliklerin dar alanlarda gösterdiği değişim olasılık yaklaşımının kullanılmasında etkili olmaktadır. Olasılık yaklaşımı ile doğrusal davranış gösteren malzemelerdeki sistematik belirsizliklerin değerlendirilmesi sağlıklı bir şekilde yapılabilmeyle birlikte, doğrusal olmayan davranış gösteren doğal malzemelerdeki belirsizliklerin tanımlanması, hatalı sonuçlara yol açabilmektedir. Olasılığa dayalı yaklaşımın heyelan değerlendirmelerinde kullanımı çoğunlukla heyelanları tetikleyici parametrelerin değişiminin ortaya konulması şeklindedir (Ercanoğlu, 2003).

1.8.2.2.3. Yapay Zeka Yöntemleri

Yapay zeka, düşünme ve yorumlama gerektiren işlemlerin, bilgisayar tarafından yapılmasını sağlayacak araştırmaların gerçekleştirilmesi ve yeni yöntemlerin

geliştirilmesini esas alan bir bilim dalıdır. Bu kavram, düşünme, anlama, kavrama, yorumlama ve öğrenme yapılarının programlamayla taklit edilerek problemlerin çözümüne uygulanması olarak da tarif edilebilir (Sağıroğlu vd., 2003). Yapay zeka kavramı içerisinde farklı amaçlara yönelik olarak kullanılan yöntemler mevcuttur. Bunlardan bulanık mantık (fuzzy logic) ve yapay sinir ağları (artificial neural networks) yöntemleri özellikle son yıllarda heyelan değerlendirmelerinde giderek artan bir şekilde kullanılmakta ve başarılı sonuçlar alınmaktadır (Juang vd. 1998, Aleotti ve Chowdhury, 1999).

1.8.2.2.3.1. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) Yaklaşımı

Bulanık mantık kavramı ilk kez 1965 yılında Prof. Lotfi Asker Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Belirsizliklerin anlatımını ve belirsizliklerle çalışabilmeyi mümkün kılan bir matematiksel düzen olarak tanımlanmaktadır. Gerçek hayatta çözümler genelde kısmen doğru veya belli bir olasılıkla doğru veya yanlış olarak değerlendirilmektedir. Bulanık mantık adından da anlaşılacağı gibi mantık kurallarının esnek veya bulanık bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır. Klasik mantıktaki doğru ve yanlış, var ve yok ya da 1 ve 0 gibi ani geçişleri yumuşatmaktadır. Bu iki değer arasında da değerler bulunduğu, insan hayatına ve kararlarına bakıldığında hemen hemen hiç bir şeyin kesinlikle doğru veya kesinlikle yanlış olmadığı gözönüne alınır, böyle bir yaklaşımın farklılığı daha açık ortaya çıkmaktadır. Bu yeni yaklaşıma klasik mantığın dünya problemlerini çözmede yeterli olmadığı durumlar dolayısıyla ihtiyaç duyulmuştur (Sağıroğlu vd., 2003). Özellikle mühendislik çalışmalarının karar verme aşamalarında deterministik yaklaşımların yanı sıra, karmaşık sistemlerin doğasından kaynaklanan bazı belirsizliklerin giderilebilmesi için, klasik mantık temelli matematiksel yaklaşımlardan farklı bir takım yeni mantıksal ve matematiksel yaklaşımlara gereksinim duyulmuştur (Ercanoğlu, 2003). Bulanık mantık kuramı, elektronik, makine, bilgisayar mühendisliği vb. dallarda son derece geniş bir kullanım alanı bulmuş ve ticari anlamda birçok projede kullanılmıştır. Bununla birlikte, özellikle son yıllarda heyelan değerlendirmelerinde etkili bir yöntem olarak farklı araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır (Binaghi vd.1998, Juang vd., 1998, Aleotti ve Chowdhury, 1999, Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002, Tangestani, 2003, Remondo vd., 2003, Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2004).

Heyelanlarla ilgili değerlendirmelerde, istatistiksel olarak yeterli ve güvenilir bir veri tabanı oluşturulmasının mümkün olmadığı durumlarda, bir uzman görüşü yardımıyla

birlikte bulanık mantığın kullanımının önemli katkılar sağlayabileceği vurgulanmaktadır (Juang vd., 1998).

1.8.2.2.3.2. Yapay Sinir Ağlarının (Artificial Neural Network) Kullanımı

Yapay sinir ağları, birçok basit işlemci elemandan oluşan yapılardır. Bu elemanlar farklı şekilde ifade edilebilen sayısal verileri taşıyan bağlantılar veya ağırlıklar ile birbirlerine bağlıdır. Genel olarak matematiksel modelleri oluşturulamayan veya matematiksel modelleri çok zor tanımlanabilen problemlerin çözümü için kullanılmaktadır. Geniş veri gruplarının yorumlanması istenen çalışmalar ve girdi-çıkı verileri belli olmasına rağmen bu veriler arasındaki ilişkilerin net olarak ortaya konulmadığı durumlarda bu yöntem etkili olarak kullanılmaktadır.

Son yıllarda yapay sinir ağları kullanılarak yapılan heyelan değerlendirme çalışmalarının sayısında giderek bir artma gözlenmektedir (Lee vd., 2001, Lee vd., 2003, Ermini vd., 2004, Gomez ve Kavzoğlu, 2004, Yeşilnacar ve Topal, 2005). Özellikle heyelan değerlendirme çalışmalarında kullanımı yeni yeni yaygınlaşan bu yönteme ait uygulamaların sayısının zaman içerisinde artacağı düşünülmektedir.

Günümüzde heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde her ne kadar farklı yöntemler kullanılsa da, bu yöntemlerin hepsinde ortak olan noktalar;

- 1- Mevcut heyelanların haritalanması,
- 2- Yamaç duraylılığı ile direk ya da dolaylı olarak ilişkisi olan faktörlere ait bir dizi haritanın hazırlanması,
- 3- Bu faktörlerle duraysızlık arasındaki ilişkinin belirlenmesi,
- 4- Bu ilişkiler temelinde, farklı heyelan duyarlılığına ait alanların sınıflandırılmasıdır (Clerici vd., 2002).

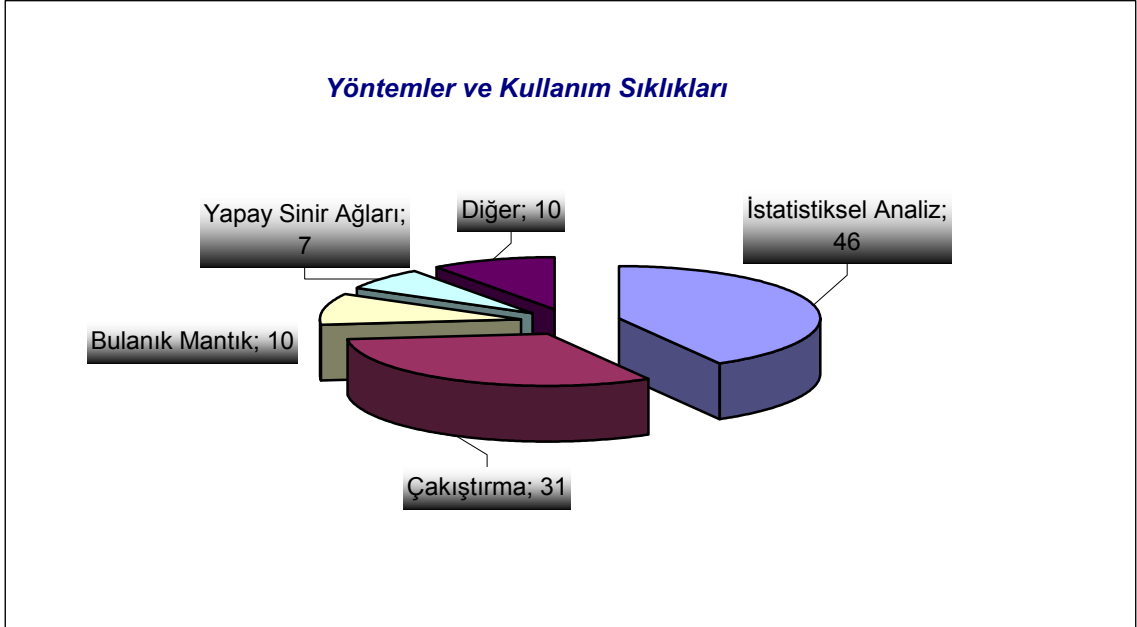
Bu çalışma kapsamında, mevcut çalışmalar içerisinde heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik olarak hazırlanmış 97 adet çalışma incelenerek, bu çalışmalarda kullanılan yöntemlere ilişkin genel bir değerlendirme yapılmıştır (Şekil 6). Özellikle son onbeş yıllık dönemi içeren bu çalışmaların değerlendirmesi ile şu sonuçlara varılmıştır;

a- Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde, son yıllarda en fazla kullanılan yöntem istatistiksel yöntemlerdir. Bunun gerekçesi bu yöntemin kullanılmasının veri değerlendirmede diğer yöntemlere oranla daha objektif olması ve coğrafi bilgi sistemleri

ile bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler yardımıyla bu tür işlemlerin daha sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmesidir.

b- Parametre haritalarının çakıştırılması ile duyarlılık haritalarının hazırlanması yöntemi, daha önceki yıllarda olduğu gibi yaygın olarak kullanımı devam etmektedir.

c- Duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmalarda, kullanımı diğer yöntemlere göre daha yeni olmasına rağmen, yapay zeka yöntemleri (bulanık mantık ve yapay sinir ağları) ile hazırlanan duyarlılık haritalarının sayısı da dikkat çekecek düzeyde olup, gelişen bilgisayar teknolojisi ile beraber bu sayının daha da artacağı düşünülmektedir.



Şekil 6. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan yöntemlerin genel bir değerlendirmesi.

1.8.3. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Ölçekler

Heyelan duyarlılık haritaları hazırlanırken, dikkate alınması gereken diğer bir konu, kullanılan ölçektir. Heyelan duyarlılık haritaları hazırlanırken kullanılması gereken ölçekler seçilirken, çalışılan alanın büyüklükleri de gözönüne alınmaktadır. Heyelan değerlendirmelerinde bölgesel, orta ve büyük ölçekler kullanılmaktadır (Tablo 4).

Bölgesel ölçekte yapılan çalışmalar, büyük mühendislik projelerinin yapılacağı alanlarda, muhtemel duraysızlıkların belirlenmesine yönelik olarak gerçekleştirilmektedir.

Bu haritalar bölgesel planlamalar amaçlı olarak şirketler için tasarlanmıştır. İncelenen alanlar çok geniş olup, 1000 km² ya da daha büyüktür. Bölgesel ölçekli çalışmalarda haritaların detayı azdır. Bu haritalar, şehir, kırsal alan ve altyapı projeleri için tehlike oluşturan büyük kütle hareketi problemlerinin olabileceği bölgeleri belirler. Bölgesel ölçekteki duyarlılık analizleri için 1/100.000 den küçük ölçek kullanılır.

Orta ölçekte yapılacak çalışmalar, özellikle yerleşim bölgelerinin planlamasına yönelik çalışmalarla, baraj, karayolu, demiryolu vb. mühendislik projeleri çalışmalarını içermektedir. Çalışma yapılacak alanın büyüklüğü birkaç 100 km²'lik alanı kapsamaktadır. Orta ölçekteki duyarlılık haritaları (1/25000 ölçek), belediye ve şirketler tarafından yapılır. Bu ölçekte bölgesel ölçeğe oranla daha fazla ayrıntı gerekir. Bu haritalar kentleşme için uygun alanların seçimi ya da altyapı inşaatı için uygun koridorların seçiminde faydalı olabilir. Bu ölçekte yapılan çalışmalarda kaymaya neden olan değişik faktörleri haritalamak mümkündür. Orta ölçekli çalışmalarda, parametre haritalarının birçoğu hava fotoğraflarının yorumlanması ile elde edilebilmektedir. Arazi modelleri ve kütle hareketlerindeki değişiklikleri değerlendirmek için, farklı zamanlara ait hava fotoğraflarının kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Orta ölçekli çalışmalarda, heyelanlar ve heyelana neden olan faktörler istatistiksel olarak analiz edilmektedir. Geçmişte heyelan oluşumuna neden olan koşullar değerlendirilir ve gelecekte heyelana duyarlı alanların tahmininde bu kritik değerlendirmelerden yararlanır (Van Westen, 1993).

Büyük ölçekli duyarlılık haritaları (1/10000 ölçeğinde) esas olarak detaylı altyapı planlamaları, kooperatif yapıları ve endüstri projelerinin tasarım aşamalarında yer seçimi için ya da bir şehirde riskin değerlendirmesine yönelik çalışmalar için hazırlanır. Çalışma alanı birkaç 10 km²'yi kapsamaktadır. Bu ölçekte yapılan çalışmalarda, çalışılacak alan küçük olduğundan daha fazla detaylı çalışma yapılmaktadır. Güvenlik sayısı ve yeraltı su seviyesi ölçümleri değerlendirilerek, deterministik yöntemin uygulaması için önemli bilgi sağlamalıdır.

Tablo 4. Heyelan değerlendirmelerinde kullanılan ölçekler (IAEG, 1976)

Ölçek Türü	Ölçek
Ulusal Ölçek	< 1/1.000.000
Bölgesel Ölçek	1/100.000-1/500.000
Orta Ölçek	1/25.000-1/50.000
Büyük Ölçek	1/5.000-1/15.000

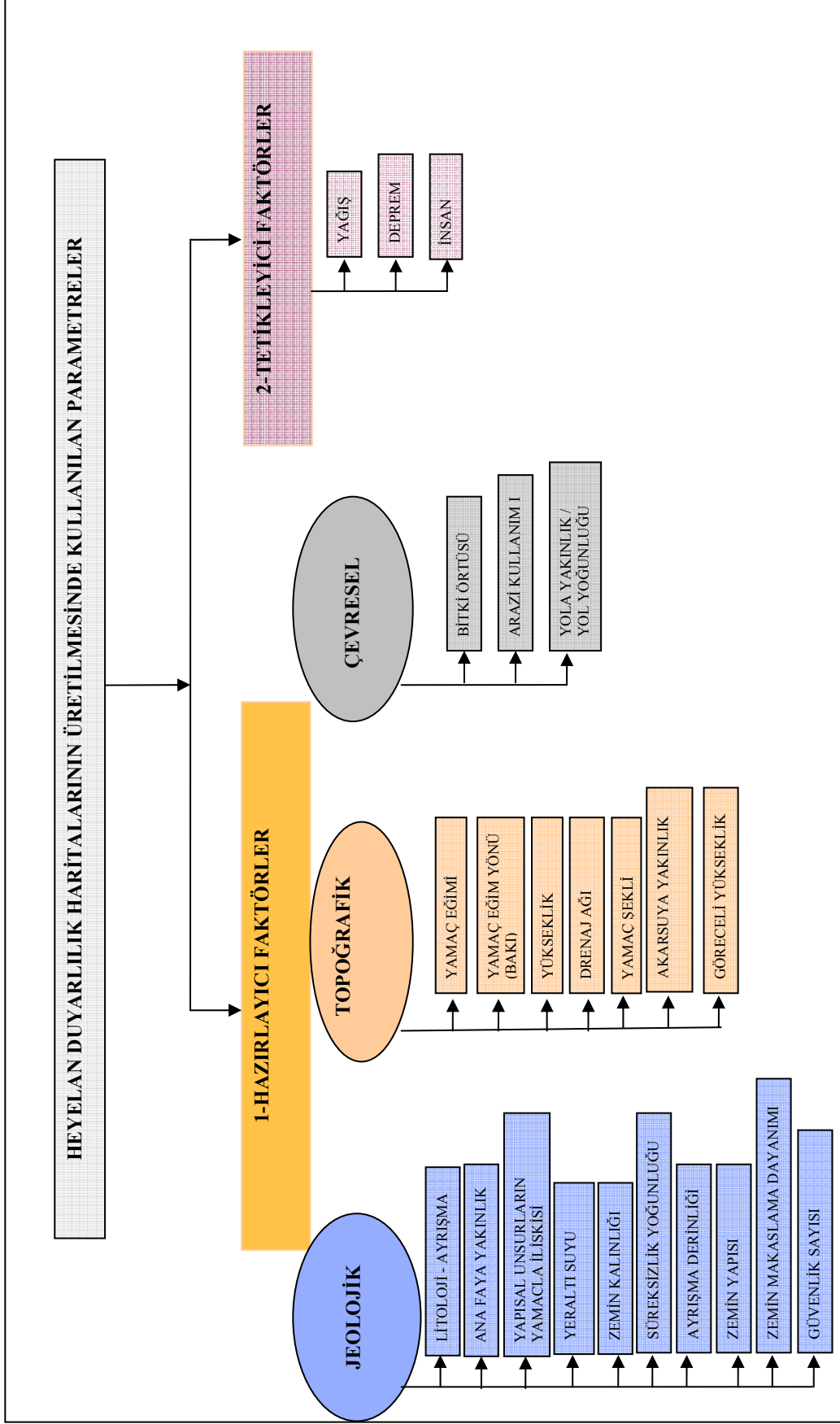
Heyelan değerlendirmeleri ile ilgili çalışmalarda, bazı araştırmacılar tarafından (Lee vd., 2001; Anbalagan ve Singh, 1996) farklı ölçek aralıkları kullanılmıştır. Ancak bunların diğer çalışmalarda kullanılmamasından dolayı, literatürde fazla kabul görmediği düşünölmektedir.

1.8.4. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametreler

Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri ile ilgili çalışmaların ilk aşamasını heyelan envanter ve duyarlılık haritalarının hazırlanması oluşturmaktadır. Duyarlılık haritaları hazırlanırken, heyelana neden olan birçok parametre kullanılmaktadır (şekil 7). Bu parametrelerin ortak özelliklerini kısaca şu şekilde belirtmek mümkündür;

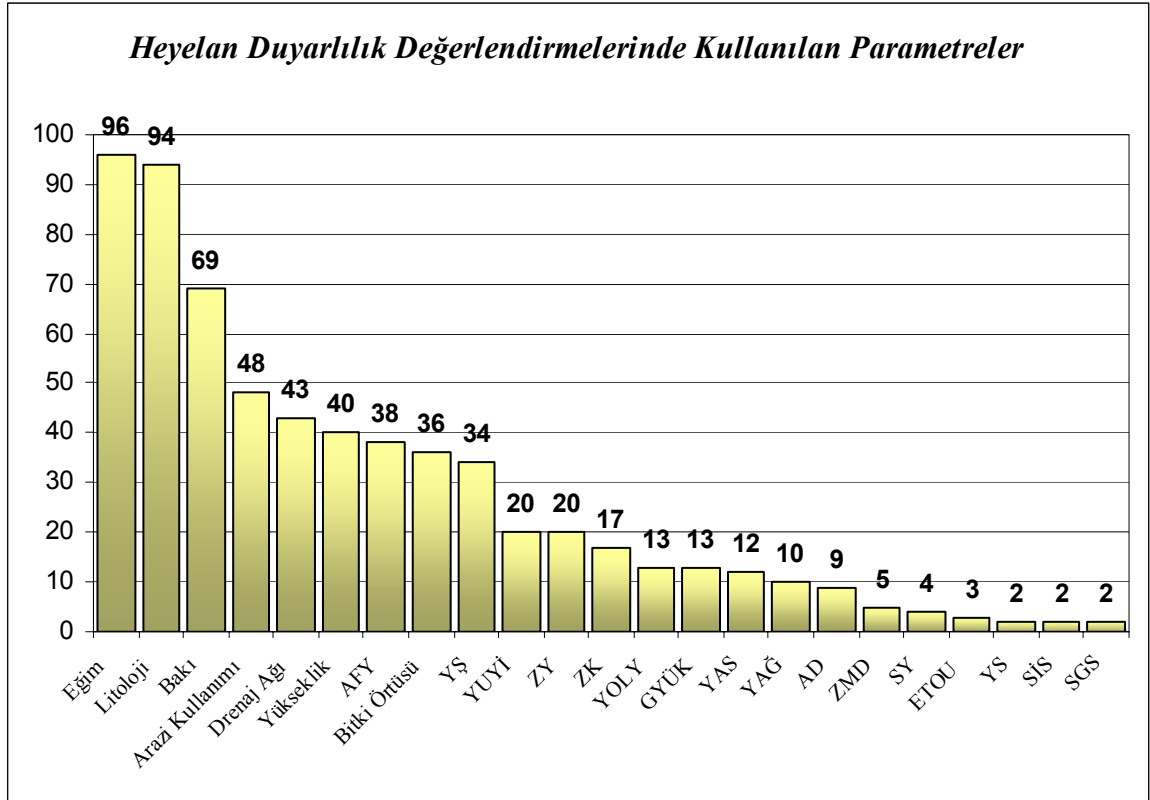
- a- Parametreler heyelanların meydana gelmesinde etkili olmalıdır.
- b- Parametrelerin her biri haritalanabilir nitelikte olmalıdır.
- c- Parametreler çalışılan bölgenin özelliklerini yansıtmalıdır.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretimindeki artışa rağmen, uygulayıcılar arasında harita üretimi yöntemlerinde olduğu gibi, parametre seçimi ile ilgili olarak da henüz bir görüş birliğine varılmamıştır. Farklı alanlarda değişik parametrelerin etkili olması, kullanıcılar tarafından parametrelerin farklı değerlendirilmesi gibi nedenler bu konuda ortak bir görüşe ulaşılamamasında etkili olmuştur (Yalçın, 2005).



Şekil 7. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametreler.

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelerin belirlenmesine ilişkin, literatürde yayımlanmış çok sayıda çalışmanın genel bir değerlendirmesi yapılmıştır. Bu çalışmalarda, litoloji-ayrışma, ana faylara yakınlık, yapısal unsurların yamaçla ilişkisi, yeraltı su durumu, zemin kalınlığı, süreksizliklerin yoğunluğu, ayrışma derinliği, zemin yapısı, makaslama dayanımı, güvenlik sayısı, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü (bakı), yükseklik, drenaj ağı, yamaç şekli, akarsuya yakınlık, yola yakınlık, göreceli yükseklik, arazi kullanımı, bitki örtüsü, yol yoğunluğu, yağış, deprensellik olmak üzere 23 adet farklı parametre kullanılmıştır. Bu parametrelerin duyarlılık çalışmalarındaki kullanım yüzdelerine ait histogram Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelerin kullanım sıklıkları.

Şekil 8’de; AFY-Ana faylara yakınlık, YŞ-Yamaç şekli, YUYİ-Yapısal unsurların yamaçla ilişkisi, ZY-Zemin yapısı, YOLY-Yola yakınlık, GYÜK-Göreceli yükseklik, YAS-Yer altı su durumu, YAĞ-Yağış, AD-Ayrışma derinliği, ZMD-Zemin makaslama dayanımı, SY-Süreksizlik yoğunluğu, ETOU-En yakın tepeye olan uzaklık, YS-Yüzey süreçleri, SİS-Sismisite, SGS-Statik güvenlik katsayısı

Şekil 8 incelendiğinde, eğim, litoloji, yamaç eğim yönü (baki), arazi kullanımı parametreleri konusunda araştırmacılar arasında hemen hemen bir görüşbirliği sözkonusudur. Eğim parametresi (Gupta ve Joshi, 1990; Yeşilnacar ve Topal, 2005; Duman, vd., 2005), litoloji ise (Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002; Binaghi, 1998; Lee vd., 2003; Zhou vd., 2002; Lee ve Dan, 2005) dışındaki tüm çalışmalarda kullanılmıştır. Ayrıca arazi kullanımı ve bitki örtüsü parametrelerinin de benzer nitelikte olduğu düşünüldüğünde (beraber değerlendirildiği takdirde) eğim ve litolojiden sonra en fazla değerlendirilen parametre olduğu görülmektedir.

Bunların dışında kalan diğer parametreler ise, çalışılan bölgenin özelliklerine bağlı olarak ayrıntıya yönelik olarak değerlendirilen parametrelerdir. Bu tür parametreler belli bölgeler için büyük önem taşımakla birlikte az kullanılıyor olmaları, heyelan oluşumunda önemsiz oldukları anlamına gelmemektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001).

Bu bölümde araştırmacıların üzerinde ortak fikirde oldukları ve heyelan duyarlılık çalışmalarında diğer parametrelere oranla daha sık kullanılan bazı parametrelerin genel bir değerlendirmesi yapılmıştır.

1.8.4.1. Yamaç Eğimi

Yamaç ya da şevlerin eğimi, heyelanların oluşumunda direk etkili olup duraylılık çalışmalarının esasını oluşturmaktadır. Yamaç eğimi kayma yüzeyindeki kayma ve normal gerilmeleri etkileyen asıl duraylılık faktörüdür. Ayrıca bu parametrenin kolaylıkla haritalanabilir nitelikte olması, eğim açısının duyarlılık çalışmalarında sıkça kullanılan bir özellik olmasının başlıca nedenlerindedir. Duyarlılık çalışmalarında çok yaygın olarak kullanılan bu parametre üzerinde, araştırmacılar arasında bir fikir birliği oluşmuştur. Araştırmacılar arasındaki genel eğilim, yamaç eğiminin artmasıyla, heyelana karşı duyarlılığın da artacağı yönündedir (Bulut vd., 1995; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Lee ve Min, 2001; Donati ve Turruni, 2002; Lee vd., 2002; Zhou vd., 2002; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002; Dai ve Lee, 2002; Santacana vd., 2003; Ohlmacher ve Davis, 2003; Ayalew vd., 2004; Lee, 2005; Yalçın, 2005; Dağ vd., 2006). Bu durum orta derecede eğim değerine sahip (20^0 - 45^0) yamaçlar için geçerlidir. Bu tür yamaçlarda artan eğim değeri zeminin kayma gerilmesini artıracığından, yamaçların duraylılığını olumsuz olarak etkilemektedir. Eğim değerinin 45^0 'yi geçtiği yüksek eğim değerine sahip yamaçlar zemin özelliğindeki ayrılmış malzemeden ziyade, sağlam kayalardan oluşmaktadır ve bu tür

kayalarda stabilite açısından duraylıdır (Santacana vd. 2003). Çok düşük eğim değerine sahip alanlarda kayma gerilmeleri daha düşük olacağından dolayı, bu eğim değerleri heyelan açısından daha az duyarlıdır (Dai vd., 2001b). Buna rağmen düşük eğim değerindeki yamaçlarda da heyelanların oluştuğunu gösteren çalışmalar mevcuttur. Örneğin Temesgen vd. (2001) ve Ayalew ve Yamagishi (2005) tarafından yapılan çalışmalarda heyelanların çoğunlukla 20°'nin altında, düşük eğime sahip yamaçlarda gerçekleştiği belirtilmektedir. Yamaç eğiminin kullanımı ile ilgili değerlendirmelerde dikkat çeken bir başka husus, çalışmaların büyük bir çoğunluğunda eğim değerlerine ait sınıf aralıklarının farklı alınmasıdır. Bu durumun araştırmacılara özgü olduğu ve çalışma alanındaki heyelanların yoğunlukları dikkate alınarak sınıf aralıklarının belirlendiği düşünülmektedir.

1.8.4.2. Litoloji-Ayrışma

Heyelanların oluşabileceği jeolojik malzemenin özellikleri, duraysızlık modellerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle yapılacak olan değerlendirmeler duraysızlık modelleri gözönünde bulundurularak gerçekleştirilmelidir. Yamaç ya da şevlerin duraylılığını etkileyen en önemli parametrelerden biri de litolojidir. Çünkü farklı litolojik birimlerin kayma gerilmeleri ve su iletme özellikleri birbirinden farklıdır. Dolayısıyla bu birimlerin kaymaya karşı duyarlılığı da farklı olacaktır.

Litolojik özellikler iki türde değerlendirilir. Bunlardan birincisi doğrudan saha gözlemlerini dikkate alan, kişiye özgü değerlendirmeleri içeren nitel değerlendirmelerdir (Pachauri ve Pant, 1992; Maharaj, 1993; Nagarajan vd., 2000). Diğer bir değerlendirme de daha az hata oranına sahip olan nicel değerlendirmelerdir. Nicel değerlendirmelerde yamacı oluşturan malzemenin jeoteknik özellikleri saptanır ya da istatistiksel değerlendirmeler yapılarak çalışma alanındaki heyelanların hangi litolojik birimler içerisinde dağılım gösterdiği belirlenebilmektedir. Nicel değerlendirmeleri içeren çalışmalar nitel değerlendirmeleri içeren çalışmalara oranla çok daha fazladır (Carrara vd. 1991; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Guzzetti vd., 1999; Baeza ve Corominas, 2001; Lee ve Min, 2001; Donati ve Turruni, 2002; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002; Yeşilnaçar ve Topal, 2005; Çan vd., 2005; Dağ vd., 2006; Akgün ve Bulut, 2007).

Litolojik anlamda değerlendirilen önemli bir diğer durum da ayrışmadır. Çünkü litolojik olarak birim aynı olsa bile farklı ayrışma derecelerinde farklı duraylılığa sahip

olmaktadır. Dolayısıyla ayrışma durumu da kaymayı etkileyen önemli faktörlerden biri olarak dikkate alınmalı ve değerlendirilmelidir. Nitekim Bulut vd. (1995) tarafından Rize (Fındıklı) yöresinde yapılan çalışmalarda yaklaşık 25 km²'lik bir çalışma alanında, gözlenen heyelanların % 85 gibi büyük bir kısmı tamamen ayrıışmış kayaçlar içerisinde meydana geldiğini, ayrışmanın heyelan oluşumunda son derece etkili olduğunu ve tamamen ayrıışmış kayaçlarda kil içeriğinin artmasının, heyelan sayısında da artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Yine Dağ vd., (2006) tarafından Rize (Çayeli) yöresinde yapılan benzer bir çalışmada da mevcut heyelanların % 87'sinin tamamen ayrıışmış kayaçlar içerisinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ayrıca ayrıışmış malzemenin derinliği de değişiklik gösteren bir özellik olarak heyelan oluşturan faktörler arasında incelenmiştir (Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002).

Zemini oluşturan malzemelerin tane boyu büyüdükçe, taneler arası boşluk artmaktadır. Bu durum yağışın fazla olduğu bir anda zeminin daha fazla su içermesine ve kayma olasılığının artmasına neden olmaktadır.

Bu değerlendirmeler dikkate alındığında, heyelan duyarlılık haritaları üretilirken çalışma alanındaki litoloji ve ayrışma durumu titizlikle değerlendirilmeli, arazi gözlem ve incelemeleri hassas bir şekilde yapılmalıdır.

1.8.4.3. Yamaç Eğim Yönü (Bakı)

Yamaç eğim yönü (bakı), arazi yüzeyinin yönünü gösterir ve yüzeyin herhangi bir noktasındaki teğet düzleminin baktığı yön ile ifade edilir. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması ile ilgili çalışmalarda eğim yönü, sıkça kullanılan önemli bir parametredir. Birçok çalışmada araştırmacılar yaptıkları istatistiksel değerlendirmelerde heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaştığını saptamışlardır (Van Westen ve Bonilla, 1990; Koukis ve Ziourkas, 1991; Anbalagan, 1992; Pachauri ve Pant, 1992; Mahajar, 1993; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Fernandez vd., 1999; Guzetti vd. , 1999; Luzi ve Pergalani, 1999; Jakob, 2000; Nagarajan vd., 2000; Lee ve Min, 2001; Dai vd., 2001; Lee vd., 2002; Temesgen vd., 2001; Baeza ve Corminas, 2001; Donatti ve Turruni, 2002; Ayalew vd., 2004; Ayalew ve Yamagishi, 2005; Lee, 2005; Yalçın, 2005). Bu araştırmacılardan Koukis ve Ziourkas, (1991), Gökçeoğlu ve Aksoy, (1996), Dai vd., (2001a) ve Lee vd., (2002) heyelanların belirli yönelimlerde yoğunlaşmasının nedenini ağırlıklı olarak yağışla ilişkilendirirken, Pachauri ve Pant (1992) ile Ayalew ve Yamagishi

(2005) bu durumu sahanın genel morfolojik eğilimi ile ilişkilendirmektedir. Heyelanların belli yönelimlere sahip yamaçlarda yoğunlaşmasında, özellikle bölgenin genel yağış yönü, sahanın genel morfolojik yapısı, güneş ışığını daha fazla alması gibi meteorolojik olaylar etkili olmaktadır. Yoğun yağış alan yamaçlar, değişik nedenlerden dolayı (topoğrafik eğim, zeminin türü, geçirgenlik, gözeneklilik, nem ve organik madde içeriği, bitki örtüsü ve yağışın meydana geldiği mevsim) daha az yağış alan yamaçlara oranla doyunluğa daha çabuk ulaşmaktadır. Zemin içerisinde oluşan boşluk suyu basınçları, bu tür yamaçları heyelana karşı daha duyarlı hale getirmektedir. Bu nedenle yamaç eğim yönü parametresinin kullanımında, yoğun yağış alan yamaçlar daha duyarlı olarak tanımlanmaktadır.

1.8.4.4. Arazi Örtüsü

Literatürde araştırmacılar heyelan değerlendirmeleri ile ilgili çalışmalarda, ya bitki örtüsünü ya da arazi kullanım potansiyelini parametre olarak kullanmaktadırlar. Aslında bu iki parametre benzer özellikleri (yerleşim alanları, tarım alanları, ormanlık alanlar, yoğun ve seyrek bitki örtüsü içeren alanlar vb.) değerlendirmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada bu parametreler ortak kabul edilip, arazi örtüsü başlığı altında değerlendirilmiştir.

Bitkilerin bir yamacın duraylılığı üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri vardır. Özellikle güçlü ve büyük kök sistemleri ile bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlar yamaç duraylılığını olumlu etkilemektedir. Ağaç ya da bitkilerin yaprakları sayesinde suyu emmesi ve buharlaştırması, yağışın süzülme etkisini azaltmaktadır. Yine ağaç ya da bitkiler kökleri sayesinde, zemin boşluklarındaki suyu azaltarak, terleme yoluyla buharlaştırır. Ancak, kök ve gövdeler zemin yüzeyinin geçirgenliğini artırarak, yüzey sularının zemin içerisine doğru girmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca zemindeki nem oranının azalmasına bağlı olarak gelişen kuruma çatlakları da zemine giren yağış suları ve boşluk suyu basıncının artmasına neden olabilmektedir. Bu durumlarda yamaç duraylılığını olumsuz yönde etkilemektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Ancak araştırmacıların büyük bir kısmı, (Gupta ve Joshi, 1990; Anbalagan, 1992; Juang vd., 1992; Pachauri ve Pant, 1992; Bulut vd., 1995; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Fernandez vd., 1999; Guzetti vd., 1999; Nagarajan vd., 2000; Baeza ve Corominas, 2001; Dai vd., 2001a; Temesgan vd., 2001; Zhou vd., 2002; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002; Santacana vd., 2003) özellikle ağaç türündeki bitkilerin duraylılık üzerindeki etkilerinin olumlu olduğunu kabul etmişlerdir. Bulut vd. (1995)'e göre bitki örtüsünün tahrip edilmesi ve bu alanların yerleşim yeri ya da

tarım alanları olarak kullanılması heyelanların oluşumunda önemli ölçüde etkili olmaktadır. Bitki örtüsünün yoğun olduğu ormanlık alanlar, seyrek bitki örtüsüne sahip alanlara ya da tarım ve yerleşim alanlarına oranla heyelanlardan daha az etkilenmektedir. Ancak farklı bir değerlendirme Lee ve Min, (2001) tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar yaptıkları çalışma neticesinde ormanlık alanlarda yerleşim alanlarına oranla daha fazla oranda heyelan meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Bunun nedenini yerleşim alanlarının düz, ormanların ise daha eğimli dağlık arazilerde olması ve heyelanların genel olarak eğimli arazilerde meydana gelmesine bağlamışlardır.

1.8.4.5. Yükseklik

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmalarda, deniz seviyesinden olan yüksekliği temel alan topoğrafik yükseklik parametresi sıkça kullanılmaktadır. Genel olarak çok düşük yükseklikler (0-150 m), yamaç eğiminin az ve kalın örtü malzemesi içermesi nedeniyle, heyelanlara karşı daha az duyarlı olarak değerlendirilmektedirler. Orta yüksekliklerdeki alanlar (150-400 m), daha yüksek alanlardan gelen malzeme ve ayrışma dolayısıyla oluşacak toprak örtüsü nedeniyle, heyelanlara karşı daha duyarlı olarak değerlendirilmektedir. Yüksek kotlardaki alanlar ise (> 400 m), kayaç türü malzemelerden oluştuğu ve daha alt kotlardaki malzemelere göre daha yüksek dayanıma sahip oldukları için, heyelanlara karşı daha az duyarlı oldukları kabul edilmektedir.

Ancak bu durumun aksine, Koukis ve Ziourkas (1991), tarafından yapılan çalışmada heyelanlar en fazla 600-1000 m arasında yükseklik değerine sahip alanlarda gözlenmiştir. Araştırmacılar bu durumu, dağlık bölgelerdeki yüksek kesimlerin, daha fazla yağış alması ile ilişkilendirmiştir. Oysa Ercanoğlu vd. (2003), çalışmalarında 500m'nin üzerindeki yüksekliklerde meydana gelen heyelan sayısında bir azalmanın olduğunu belirlemişlerdir. Bu durumu, 500 m'nin üzerindeki alanların yoğun ormanlık alanlar olması ile ilişkilendirmiştir.

Yapılan araştırmalar değerlendirilecek olursa; yükseklik parametresi, duyarlılık haritalarının hazırlanmasında çok kullanılan bir parametre olmasına rağmen, morfoloji, bitki örtüsü ve yağış gibi diğer bazı parametrelerle ilişkilendirilerek değerlendirilmektedir. Dolayısıyla herhangi bir bölgede meydana gelecek heyelanların hangi yüksekliklerde

olacağıının belirlenmesi, çoğu araştırmacı için sadece bir ön fikir verebilecek nitelikte veri olarak kabul edilmektedir.

1.8.4.6. Drenaj Ağı

Yamaçların drenaj ağına yakınlığı duraylılık açısından önemli bir faktördür. Çünkü akarsular, yamaç topuğunu erozyona uğratarak ya da yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesinin altındaki kesimini suya doymun hale getirerek, yamaçların duraylılığını bozmaktadır. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik birçok çalışmada araştırmacılar saha gözlemlerinden yararlanarak akarsu yataklarına yakınlığı, heyelan değerlendirmelerinde bir parametre olarak kullanmışlardır (Choubey ve Litoria, 1990; Choubey vd., 1992; Guillande vd., 1993; Mejia-Nevarro ve Wohl, 1994; Fernandez vd., 1999; Luzi ve Pergalani, 1999; Nagarajan vd., 2000; Peloquin ve Gwyn, 2000; Baeza ve Corominas, 2001; Barnard vd., 2001; Dai ve Lee, 2001; Dai vd., 2001a; Lee vd., 2003). Ancak, drenaj ağını oluşturan ana akarsu veya kollarının, heyelan oluşumu üzerindeki etkisinin belirlenmesinde, hangi uzaklıkların ne şekilde kullanılacağı konusu belirsizdir.

1.8.4.7. Ana Faylara Yakınlık

Ana faylara yakınlık, jeolojik parametreler içinde değerlendirilen yapısal özelliklerdendir. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik, özellikle sismik aktivite açısından önemli olan bölgelerde yapılan çalışmalarda sıkça kullanılan bir parametredir. Araştırmacıların çoğu haritalama yapılan bölgede yer alan ana fayları yapısal unsur olarak değerlendirip, faylara yakınlığı dikkate almışlardır. Gupta ve Joshi (1990), fay zonlarından uzaklaştıkça, heyelanlarda bir azalmanın söz konusu olduğunu, faylara yakın olan alanların heyelandan daha fazla etkilendiğini belirtmişlerdir. Faylara yakın olmanın kayalarda parçalanmaya neden olacağını ve bu durumun da yamaçların duraylılığını olumsuz yönde etkileyeceğini ifade etmişlerdir. Yine, Gökçeoğlu ve Aksoy (1996), arazi gözlemleri neticesinde, heyelanların büyük bir çoğunluğunun faylara çok yakın alanlarda gerçekleştiğini belirtmiş duyarlılık için 0, 50, 100, 150, 200 ve 200 m den büyük uzaklıkları esas alan bir sınıflama önermişlerdir. Benzer şekilde Temesgen vd. (2001) ve Lee (2005), yaptıkları çalışmalarda, farklı uzaklıkları esas alan sınıflamalar kullanarak, faylara yakınlığı bir parametre olarak kullanmışlardır. Bu parametreyi heyelan duyarlılık analizlerinde kullanan tüm araştırmacıların üzerinde görüş birliğinde oldukları nokta, faylardan uzaklaştıkça meydana gelen heyelan sayısında bir azalmanın olduğudur. Bu

araştırmalar, ana faylara yakınlık parametresinin, depremselliği yüksek olan bölgelerde yapılacak heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmalarda kullanılabileceğini göstermektedir.

1.9. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), genel olarak konuma dayalı gözlemlerle elde edilen grafik ve grafik olmayan bilgilerin (verilerin) toplanması, saklanması, işlenmesi ve kullanıcıya sunulması işlevlerini bir bütünlük içerisinde gerçekleştiren bir bilgi sistemidir (Yomralıoğlu, 2000). CBS aynı zamanda konuma dayalı bilgi ile direkt veya dolaylı olarak ilişkili meslek alanlarının daha hızlı, verimli ve ekonomik çalışmalar yapabilmek amacıyla kullandıkları bir sistemdir. Aslında harita yapımı ya da coğrafik verilerin analizi CBS teknolojilerinin gelişim sürecinden daha önceki yıllarda da gerçekleştirilmekteydi. Ancak CBS ile bu tür işlemler daha hızlı ve daha başarılı bir Şekilde yapılabilmektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri sahip olduğu donanım ve yazılım ürünleri sayesinde veri girişi ve bu verilerle ilgili işlemler yapabilmektedir. Ayrıca veri depolama, gerekli durumlarda bu veri tabanında güncelleme, ayıklama, transfer gibi işlemler ile veri dönüşümleri ve analiz yapabilme özelliklerine sahiptir. Son rn özelliğindeki veri sunumları ise, haritalar, istatistiksel bulgular ya da tablosal dökümanlar aracılığı ile yapılabilmektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemlerinden en iyi Şekilde faydalanmak, CBS'nin sahip olduğu bileşenlerin bir bütün olarak, organize bir Şekilde kullanılması ile mümkündür. Bu bileşenler içerisinde en fazla zaman ve maliyet gerektiren veri elde edilmesidir. Bu yüzden özellikle çalışma yapılan alanın geniş olması durumunda veri toplama aşaması daha da büyük önem kazanmaktadır. Veri toplama işlemleri için harcanacak zaman ve maliyet gibi durumlar dikkate alındığında, veri toplama aşamasında yapılması gereken işlemlerin belirli bir sistematik ve belirli metotlara göre yapılması gerektiği dşnlmektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde konumsal veriler, çeşitli yöntemlerle toplanmaktadır. Bu yöntemler Şu Şekilde sıralanabilir;

- ✓ Yersel lme yöntemleri
- ✓ Fotogrametrik yöntem
- ✓ Uzaktan algılama tekniği

- ✓ Global konum belirleme (GPS)
- ✓ Mevcut verilerin değerlendirilmesi ile bilgi aktarımı
- ✓ Mevcut haritaların sayısallaştırılması
- ✓ Tarama sistemleriyle otomatik sayısallaştırma

Konumsal veriler bazı durumlarda, haritalar gibi mevcut verileri içermektedir. Dolayısıyla kullanılacak veriler bu gibi durumlarda direk sayısallaştırma işlemleri yapılarak elde edilir. Ancak konumsal verilerin mevcut olmayan verileri içermesi durumunda ise diğer veri toplama yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Gerekli olan veri, çalışma koşulları ve imkanlara göre, arazide yapılan yersel ölçümler, küresel konum belirleme, fotogrametrik yöntemle harita üretimi ve uydu fotoğraflarından yararlanarak elde edilebilir (Yomralıoğlu, 2000)

Coğrafi Bilgi Sistemlerinde kullanılan verinin özelliklerine göre de bir takım farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıkların başında, farklı konumsal veri modelleri gelmektedir. Veri modeli bir plana göre verinin mantıksal organizasyonu olarak bilinmektedir. CBS’de farklı yollarla organize edilen konumsal veri modelleri, vektörel (vector) ve hücreli (raster) veri modelleri olmak üzere iki şekildedir.

Vektörel veri modelleri; harita görünümüne sahip coğrafi verilerdir. Bu veri modelinde noktalar; sabit alanların çok küçük boyutlu şekillerini, çizgiler; süreklilik ve alan özelliği gösteren çok küçük boyutlu coğrafi unsurları ve poligonlar ise; homojen yapıya sahip bütünlük özelliği gösteren coğrafi öğeleri temsil etmektedir. Vektörel veri modelleri sayısallaştırma işlemi ile elde edilebilir. Vektörel veri modelinde coğrafi unsurlara ait her konum bir (x,y) koordinat değerine sahiptir. Gerçek durumun veri yapısına doğrudan yansımaları, veri yapısının bütünlük göstermesi ve grafik ve grafik olmayan veriye ulaşma, güncelleme işlemlerinin mümkün olması vektörel veri modellerinin avantajları arasında yer almaktadır. Buna rağmen veri yapılarının karmaşıklığı, poligon özelliğine sahip vektör ve raster şekillerin üst üste bindirilmesinde yaşanan zorluklar da vektörel veri modelinin dezavantajlarından (Yomralıoğlu, 2000).

Hücreli (raster) veri modelleri; Coğrafi özelliklerin mevcut olduğu herhangi bir görüntü bütünüün piksellerle ifade edildiği veri modelidir. Her bir piksel satır ve sütun numarası ile koordinatlandırılmaktadır. Hücreli veri modelinde, nokta tek bir hücre ile, çizgi, lineer haldeki pikseller dizisi ile alan ise komşu piksel grupları ile temsil edilmektedir. Farklı özellik gösteren coğrafi unsurlar arasında vektörel gösterimdeki gibi bir sınır söz konusu değildir. Hücreli veri gösterimde, farklı özelliklerin ayrımı komşu

piksellerin farklı renk değerleri veya tonlamasıyla olur. Haritadaki coğrafi öğelerin hassasiyeti, piksel boyutuna ve çözünürlük gücüne bağlı olarak değişir. Bu veri modelinin avantajları arasında veri yapısının basit olması ve uydu görüntüleri ile haritaların kombinasyonunun kolay olması sayılabilir. Ancak grafik verilerin çok geniş hacimler gerektirmesi, ağ yapılandırması ve objeler arası bağlantı oluşturulmasının oldukça güç olması ve raster haritaların görünümünün hassas çizilmiş haritalara oranla çok daha kötü olması gibi bir takım dezavantajları mevcuttur (Yomralıoğlu, 2000).

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin önemli bir işlevi de veri tabanının oluşturulmasıdır. Veri tabanı yönetim sistemi, bir veri tabanını kurma ve yaşatma amacıyla geliştirilmiş programlar bütünüdür. Veri tabanı genel olarak, tanımlama, oluşturma ve üzerinde işlem yapma yeteneği olan bir yazılım sistemidir. Veri tabanının tanımlanması, veri tabanını oluşturan verilerin tip ve uzunluklarının belirlenmesidir. Veri tabanının oluşturulması, VTYS kontrolü altında, verilerin bir depolama ortamına yüklenmesidir. Veri tabanı üzerinde işlem yapma (manipulation) ise, belirli bir verinin sorgulanması, veriler üzerinde meydana gelen değişiklikleri yansıtmak üzere veri tabanının güncellenmesi ve verilerden rapor üretilmesi işlemlerinin gerçekleştirilmesidir (Reis, 2003).

Coğrafi Bilgi Sistemleri'nde ham verinin yararlı bilgiye dönüştürülmesi ve kullanıcıya sunulması bir dizi konumsal analizleri gerektirmektedir. Konumsal analiz, dönüşümler, işlemler ve coğrafi veriye değer atayan, kararları destekleyen ve açık olarak belli olmayan örnekleri ortaya çıkaran metotlardır. Coğrafi alanların, potansiyel yapılarının değerlendirilmesi, konumsal olayların çevreye etkilerinin tahmin edilmesi ve bu olayların yorumlanıp anlaşılır hale dönüştürülmesi gibi uygulamalar tamamı ile konumsal analiz kapsamına girmektedir. Konumsal veri tabanına ait katmanlardan yararlanarak farklı disiplinlerin kullanabileceği çeşitli analizler yapılabilir. Yerleşime uygun alanların belirlenmesi, heyelana duyarlı alanların tespiti ya da farklı tarımsal üretim alanlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar bu tür analizlere örnek olarak verilebilir (Reis, 2003).

1.9.1. Uzaktan Algılama

Uzaktan algılama birçok şekilde tanımlanabilmektedir. Sesören (1998), uzaktan algılamayı, yeryüzünden belirli uzaklıklara, atmosfer ya da uzaya yerleştirilen platformlara monte edilmiş ölçüm aletleri ile yeryüzünün doğal ve yapay objeleri konusunda bilgi alma ve değerlendirme tekniği olarak tarif etmektedir. Yomralıoğlu (2000), ise uzaktan

algılamayı nesne veya varlıklarla her hangi bir fiziksel temasta bulunmadan, belli bir mesafeden bilgi tedarik etme bilim ve sanatı olarak tanımlamaktadır. Her iki tanımlamada da ortak vurgular; algılamanın yeryüzüne dönük olarak havadan ya da uzaydan yapılması ve algılamanın nesnelere temasa geçilmeden gerçekleştirilmesidir.

Uzaktan algılamanın temelinde cisimlerin yaymış oldukları elektromanyetik enerjinin değerlendirilmesi yatmaktadır. Elektromanyetik enerji 3×10^8 m/sn lik ışık hızında hareket eder ve bütün enerji şekillerini kapsar. Görünür ışık, radyo dalgaları, morötesi ve x ışınları elektromanyetik dalgaın birer çeşididir. Dünya çevresinde çeşitli yörüngeler üzerinde hareket eden uyduların algılayıcıları amaçlarına göre elektromanyetik alanın farklı bölümleri aracılığı ile sağlanan bilgiyi sayısal olarak depolamaktadır. Çeşitli yer istasyonları tarafından sinyaller halinde alınıp kullanıcıların işleyebileceği duruma getirilen yeryüzü ile ilgili sayısal veriler, görüntü işleme ve analizler yardımı ile değerlendirilerek kullanıcı hizmetine sunulur (Sabins, 2000).

Günümüzde, yeryüzünün fiziksel yapısı hakkındaki pek çok bilgi uzaktan algılama teknikleri ile elde edilmektedir. Yeryüzünü etkileyen önemli jeodinamik olaylardan olan erozyon ve heyelanlar ile jeolojik ve jeomorfolojik çalışmalar içerisinde yer alan litolojik tanımlamalar, jeolojik amaçlı haritalama çalışmaları, jeomorfolojik haritalama, mineral zonları ve alterasyon alanlarının belirlenmesi, çizgisel unsurların haritalanması gibi çalışmalar uzaktan algılamanın uygulama alanları içerisinde yer almaktadır.

Uzaktan algılama tekniğinin temel veri kaynağını hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri oluşturmaktadır. Bu tür veriler için kullanıcı ihtiyacı her geçen gün artmakta ve özellikle gelişmekte olan ülkeler doğal kaynaklarının aydınlatılması yönünde yapılacak çalışmalarda bu tür verilere büyük önem vermektelerdir.

1.9.1.1. Hava Fotoğrafi

Özellikle fotogrametrik yöntemle harita yapımında kullanılmakla birlikte, çeşitli mühendislik çalışmaları ve foto-yorumlama yöntemi ile doğal kaynakların bulunmasında kullanılmaktadır. Yine erozyon ve heyelan alanlarının belirlenmesine yönelik olarak yapılan büyük ve orta ölçekli çalışmalarda hava fotoğrafları ve dijital fotogrametri uygulamaları etkili olarak kullanılmaktadır.

Hava fotoğrafları ile ilgili fotogrametrik işlemler, çeşitli platformlardan fotoğraf çekimiyle başlar. Çekilen fotoğrafların daima düşey olması istenir. Analog olarak alınan

fotoğraflar banyo işlemleri ile diapositif hale getirildikten sonra fotogrametrik değerlendirme aletleri yardımı ile değerlendirilir. Burada asıl amaç, elde edilen görüntülerden istenen biçimde bilgi almak ve ölçüm yapabilmektir (Yomralıoğlu, 2000).

Hava fotoğrafları siyah beyaz veya renkli olabilmektedir. Özellikle hava fotogrametrisi amacıyla çekilen fotoğraflar enine % 25, boyuna ise % 60 oranında fotoğrafik bindirmelere sahiptir. Bu bindirme işleminde amaç, değerlendirilecek olan detayında içinde bulunduğu bir stereo model elde etmektir (Yalçın, 2005).

Bir uzaktan algılama verisi olan hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ile karşılaştırıldığı zaman bir takım avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

Hava fotoğraflarının avantajları;

- ✓ Çok eski tarihli görüntüler elde edilebilir.
- ✓ Uçuş hatlarının seçimi esnektir.
- ✓ Konumsal ve dönemsellik çözünürlük yüksektir.
- ✓ Stereoskopik görüntü alınabilir.

Dezavantajları;

- ✓ Spektral çözünürlükleri düşüktür.
- ✓ Fotoğraf çekiminden kaynaklanan kaymalar oluşabilir.
- ✓ Koordinat bilgisi mevcut değildir.
- ✓ Kayma etkisi ve koordinat bilgisinin sağlanması için ortorektifikasyon işlemi gerekmektedir.

- ✓ Sonuç haritası kullanıcının kişisel yorum, bilgi ve deneyimine bağlıdır.

1.9.1.2. Uydu Görüntüleri

Uzaktan algılamanın bir diğer veri kaynağını uydu görüntüleri oluşturmaktadır. Uydu görüntüleri en çok yeryüzü şekillerinin tanımlanması, yerlerinin belirlenmesi ve haritalanması işlemlerinde kullanılmaktadır. Uydu görüntüleri ile harita oluşturulması, aynı haritanın arazi çalışmasıyla yapılmasına oranla çok daha kısa süre almaktadır.

Uydu görüntülerinin bir başka uygulama alanı arazi örtüsü haritalarının hazırlanmasıdır. Bu tür haritaların hazırlanması, değişik uzaktan algılama yazılımlarındaki sınıflandırma fonksiyonları kullanılarak, özellikle çok bantlı uydu görüntülerinde uygulanabilmektedir. Bu haritalar ormancılıktan, yerbilimlerine ve çevre bilimlerinde doğal kaynakların değerlendirilmesi ile ilgili değişik bilim dalları ve uygulama alanları için tercih edilmektedir.

Aynı alan içerisinde zamanla meydana gelen değişikliklerin takibi, farklı zamanlarda algılanmış, aynı alanı kapsayan uydu görüntüleri ile yapılabilmektedir. Bu işlemde mevcut görüntüler koordinatlara çakıştırıldıktan sonra birbirine karşılık gelen piksellerdeki değerler karşılaştırılarak hangilerinde değişim olduğu belirlenir. Orman tahribatlarını takip etmek, yerleşim alanlarının büyümesini ortaya çıkarmak ya da farklı zamanlara ait heyelan envanterleri hazırlamak için uydu görüntülerinden bu şekilde faydalanılabilir.

Bunlardan başka uydu görüntüleri vektörel verilerin güncellenmesi işlemlerinde de yararlı bir veri kaynağıdır. Mevcut haritalar üzerinde güncel olmayan bir dizi yanlış bilgiler, yeni tarihli uydu görüntüleri üzerinde tespit edilerek, kullanılan yazılımlar sayesinde haritaya ilave edilebilir. Yeni yapılan yollar buna örnek olarak verilebilir. Günümüzde mevcut haritaları, uydu görüntüleri sayesinde bu şekilde güncellemek mümkündür.

Hava fotoğraflarıyla karşılaştırıldığında uydu görüntülerinin de sahip olduğu avantaj ve dezavantajlar bulunmaktadır.

Uydu görüntülerinin avantajları;

- ✓ Çok daha geniş alanları tarama imkanına sahiptir.
- ✓ Geniş spektral aralığa sahiptir.
- ✓ Özellikle günümüz şartlarında kolay ulaşılabilir.
- ✓ Kayma etkisi yoktur.
- ✓ Koordinatlandırma için yalnızca jeoreferanslamaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Uydu görüntülerinin dezavantajları

✓ Düşük konumsal çözünürlüğe sahiptir.

✓ Aynı çözünürlükteki hava fotoğrafı ile kıyaslandığında daha yüksek maliyet içermektedir.

- ✓ Sınırlı stereo görüntüleme olanağı mevcuttur.
- ✓ Değişik nedenlerden dolayı kullanıcı imkanı kısıtlıdır.

1.9.1.2.1. Uydu Verilerinin Analizi

Uydu verilerinin işlenmesi ve yorumlanarak anlamlı bilgilerin elde edilmesi sayısal görüntü işleme olarak adlandırılmaktadır. Sayısal görüntü işlemenin ilk aşaması görüntü düzeltme işlemidir. Görüntü düzeltmede amaç, görüntü çekiminden kaynaklanan çarpıklık ve kalite düşüklüğünden görüntüyü kurtarmak ve yeryüzüne ait daha kaliteli görüntü elde

etmektedir. Görüntü düzeltme işlemi ile algılayıcı platformun yüksekliği, davranışı veya hızındaki değişimlerden kaynaklanan bir takım geometrik bozukluklar ortadan kaldırılarak en yüksek geometrik doğruluk sağlanmaktadır (Lillesand ve Kiefer, 2000). Geometrik düzeltme işleminden sonra görüntü piksel değerlerinin birtakım yöntemlerle hesaplanması ile yeniden örnekleme işlemi yapılmakta ve görüntü düzeltme işlemi tamamlanmaktadır.

Uydu verilerinin analizi ile ilgili önemli işlemlerden birisi de görüntü zenginleştirme işlemidir. Görüntü zenginleştirme işleminde amaç, görüntüdeki detaylar arasındaki görüntü farklılıklarını daha belirgin bir şekilde anlaşılır hale getirmek sureti ile görüntü üzerinde yorum yapma imkanını daha da geliştirmektir (Reis, 2003). Görüntü zenginleştirme işlemleri, genel olarak kontrast zenginleştirme, filtreleme ve çok bantlı zenginleştirme gibi bir dizi işlem adımlarından oluşmaktadır.

Sayısal görüntü işlemenin en son adımı görüntü sınıflandırma işlemidir. Sınıflandırma işleminde amaç, görüntü üzerindeki aynı spektral özellikleri (yansıma değerlerini) taşıyan pikselleri arazi sınıflarına veya konularına göre otomatik olarak sınıflara ayırmaktır. Benzer piksel gruplarının bir araya toplanması ile oluşturulan sınıflar uydu görüntüsü üzerindeki bölgeleri şekillendirmektedir. Bu sayede kullanıcı dijital (sayısal) görüntü üzerinden sembol veya renk ile tanımlanan düzenli sınıf görüntülerini, analiz işlemlerinde kullanabilmektedir (Campbell, 2000; Reis, 2003). Uydu görüntülerinin sınıflandırmasında başlıca iki yöntem mevcuttur. Bunlar; kontrollü sınıflandırma ve kontrolsüz sınıflandırma yöntemleridir. Kontrollü sınıflandırmada arazi sınıflarının benzerlik veya konumları, arazi çalışmaları, hava fotoğraflarının analizi, mevcut haritalar ve kişisel deneyimler sayesinde önceden bilinmektedir. Arazi sınıflarından homojen olan eğitim alanları alınarak görüntü üzerine yerleştirilir. Sınıflandırma işlemi için uygun algoritma seçildikten sonra, sınıflar arasındaki en iyi ayrımı sağlayacak bantlar seçilir. Son olarak sınıflandırma algoritması uygulanır ve sınıflandırma haritası elde edilir (Reis, 2003). Kontrolsüz sınıflandırmada herhangi bir deneme alanı kullanılmamaktadır. Bunun yerine, kontrolsüz sınıflandırma görüntü içerisindeki bilinmeyen pikselleri inceleyen ve bunları görüntü değerlerinde mevcut doğal grup ve kümelere dayanarak bir dizi sınıflar içinde toplayan algoritmalar içermektedir. Kontrollü sınıflandırmada, ortalamaya en az uzaklık, paralel kenar ve en yüksek olabilirlik yöntemleri, kontrolsüz sınıflandırmada ise ISODATA yöntemi en yaygın kullanılan yöntemdir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

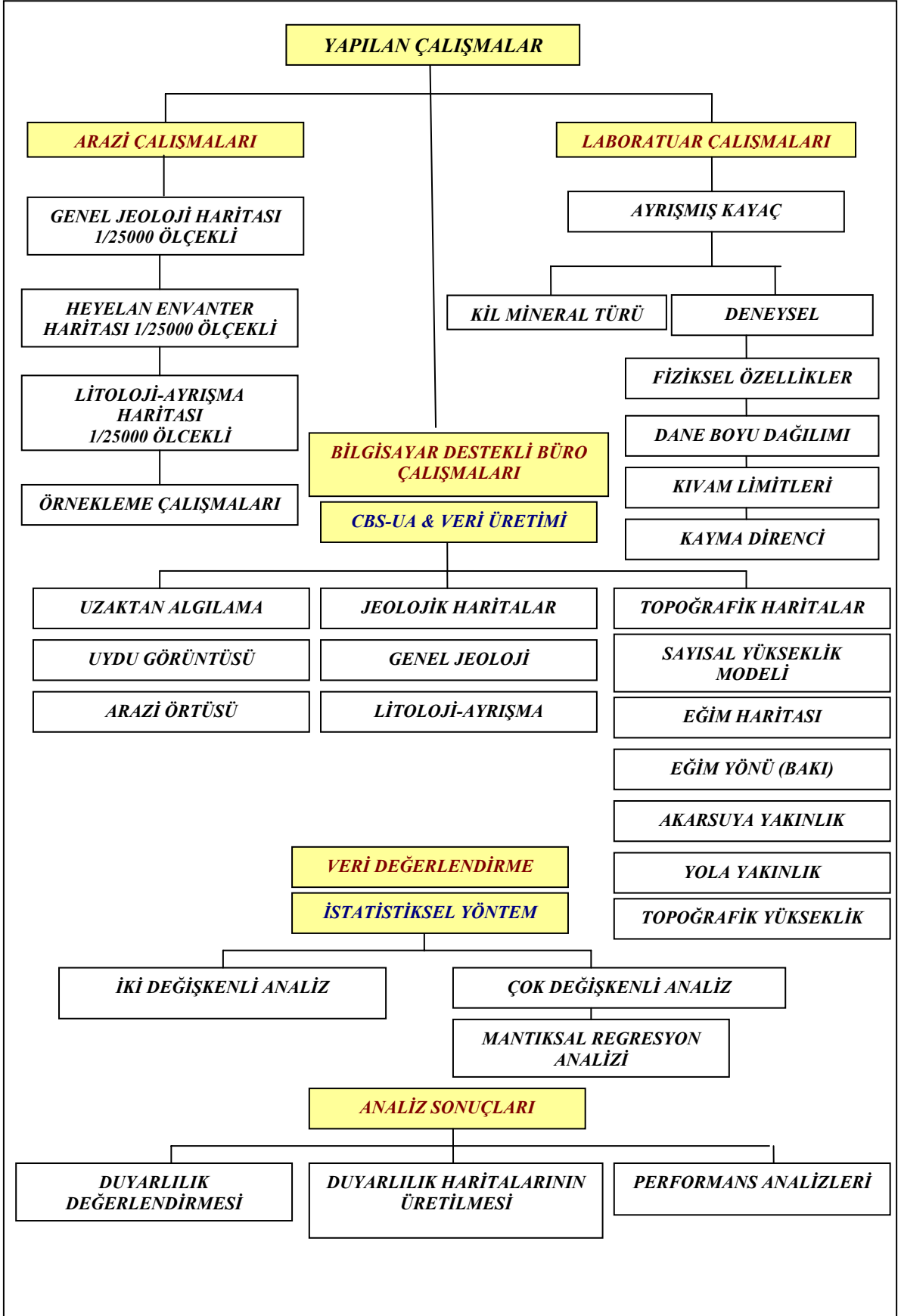
2.1. Giriş

Doğal afetlerin insan yaşamındaki olumsuz etkilerinin önlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar içerisinde heyelan afetine yönelik çalışmaların önemli bir yeri vardır. Bu konuda heyelanlardan etkilenen bölgelerde heyelan envanter ve duyarlılık haritalarının hazırlanması yapılacak öncelikli çalışmaların başında gelmektedir. Bu çalışmalar özellikle yeni yerleşim alanlarının seçiminde, şehir ve bölge planlamalarının yapılacağı çalışmalarda ve de mühendislik yapılarına yönelik tasarım çalışmalarında büyük öneme sahiptir.

Çalışmanın bu bölümünde konuya yönelik yapılan çalışmalar arazi, laboratuvar ve bilgisayar destekli büro çalışmaları başlıkları altında çalışma detaylarına girmeden genel hatları ile özetlenmiş ve iş akış diyagramı (Şekil 9) ile belirtilmiştir. Çalışmanın değişik aşamalarında, farklı işlemler için kullanılan yöntem, materyal ve elde edilen bulgular bir sonraki bölümde daha ayrıntılı bir şekilde ulaşılan sonuçları ile birlikte verilmektedir.

2.2. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmalarının ilk aşamasını 1/25000 ölçekli genel jeoloji haritasının hazırlanması oluşturmaktadır. Çayeli ve çevresinde, ilçede çıkarılan bakır madeninden dolayı, maden jeolojisine yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır. Dolayısıyla bu çalışmalar yörede genel jeoloji çalışmalarına ve yapılan çalışmaların amacına bağlı olarak değişik ölçeklerde jeolojik haritaların hazırlanmasına olanak sağlamıştır. 1960'lı yıllardan itibaren çoğu yersel olarak gerçekleştirilen bu çalışmalar zamanla daha geniş alanlarda yapılmaya başlamıştır. Nitekim Korkmaz ve Gedik (1988), tarafından Rize-Çayeli-Pazar-Ardeşen-Fındıklı ve Çamlıhemşin arasında kalan yaklaşık 850 km²'lik bir alanın 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış ve 1/100000 ölçekli komplikasyonu gerçekleştirilmiştir. Bölgede bu çalışma ile ilk defa birimler litostratigrafi esasına göre formasyon ölçeğinde adlandırılmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada, inceleme sahasına ait genel jeoloji haritası hazırlanırken değişik çalışmalara ait farklı ölçeklerde jeoloji haritaları derlenmesine rağmen, Korkmaz ve Gedik (1988), tarafından hazırlanan genel jeoloji haritası ve çalışmada kullanılan adlandırmalar dikkate alınmıştır.



Şekil 9. Yapılan çalışmalara ait iş akış diyagramı.

Birimlerin birbirleri ile dokanak ilişkileri arazi çalışmaları ile kontrol edilmiştir. Çalışma sahasının yoğun bir şekilde bitki örtüsü ile kaplı olması birim sınırlarının kontrolünü ve birimlerin ayrı ayrı haritalanması işlemini güçleştirmiştir. Dere vadileri, yol yarmaları gibi kayaç mostralarının izlenebildiği yüzeylerden arazi çalışmaları süresince faydalanılmıştır. Koordinat değerlerinin belirlenmesinde El GPS aletinden yararlanılarak, çok sayıda noktadan kayaç örnekleri alınmıştır. Bu şekilde hem birimlerin sınırları daha hassas bir şekilde haritalanmaya çalışılmış hem de formasyonlara ait birimlerin kayaç adlandırmalarının yapılabileceği ince kesitler için örnek alım işlemi yapılmıştır. Sonuç olarak Korkmaz ve Gedik (1988), tarafından hazırlanan harita esas alınarak, arazi çalışmaları ile formasyon sınırlarının kontrolü işlemi gerçekleştirilmiş ve 1/25000 ölçekli genel jeoloji haritası hazırlanmıştır.

Arazi çalışmaları ile gerçekleştirilen bir diğer işlem heyelan envanter haritasının hazırlanmasıdır. Heyelan duyarlılık haritası hazırlamada başarılı bir çalışma yapabilmek için öncelikli işlemlerden biri, mevcut heyelanların çalışma alanı içerisindeki alansal dağılımlarının belirlendiği envanter haritalarının hazırlanmasıdır. Çayeli ilçesi ve çevresinde özellikle 23 Temmuz 2002 ve takip eden birkaç gün içerisinde gerçekleşen aşırı ve şiddetli yağışların tetikleme sonucunda çok sayıda küçük boyutlarda heyelan meydana gelmiştir. Bu heyelanlar özellikleri itibarı ile çoğunlukla hızlı toprak akmaları ve dairesel kaymalar türünde gerçekleşmiştir. Dolayısıyla hazırlanan envanter haritası da özellikle bu tarihlerde meteorolojik anomali sonucu gerçekleşen, toprak akmaları ve dairesel kayma türündeki kütle hareketlerine aittir. Gerek mevcut heyelanlara ait alanların küçük olması gerekse bu alanların çabuk kapanması gibi nedenlerden dolayı heyelan envanter haritasının hazırlanmasında hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri gibi uzaktan algılama teknikleri yerine doğrudan arazi çalışmalarından yararlanılmıştır. Çalışma alanında gerçekleştirilen uzun süreli arazi çalışmaları ile 149 adet heyelan tespit edilmiştir. Bu heyelanlar için kayan malzemenin, hareketin başlangıç noktasından itibaren akma ucuna kadar gerçekleşen hareket mesafesi, genişliği, aynadan itibaren derinliği, kayma veya akma yüzeyinin eğim açısı, kayıt dönemindeki ortamın su durumu gibi gözlem ve ölçüme dayanan bir takım fiziksel özellikleri hazırlanan kayıt formlarına kaydedilmiştir. Hemen hemen her bir heyelan alanının fotoğrafı yine arazi çalışmaları esnasında çekilerek doküman olarak saklanmıştır. Çalışma alanında gerçekleşen heyelanların boyutları 1/25000 ölçekli topoğrafik haritada gerçek boyutları ile gösterilemeyecek kadar küçüktür. Bundan dolayı mevcut heyelanlar, ölçek göz önüne alınmaksızın, heyelan başlangıç bölgesinin koordinat

değerleri dikkate alınarak haritaya işaretlenmiş ve bu şekilde özellikle 23 Temmuz 2002 tarihinde meydana gelen aşırı ve şiddetli yağışların tetiklemesi ile gerçekleşen heyelanlara ait envanter haritası hazırlanmıştır.

Heyelan duyarlılık değerlendirmesine yönelik olarak yapılan bir başka arazi çalışması da litoloji-ayırışma haritasının hazırlanmasıdır. Litolojik olarak birim aynı olsa bile farklı ayırışma derecelerinde farklı duraylılığa sahip olmaktadır. İnceleme alanında litoloji-ayırışma parametresi ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi belirlemek için hazırlanan litoloji-ayırışma haritası için uzun dönemli arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları sırasında yapılan bir takım gözlem ve ölçüm işlemlerinden yararlanarak birimler farklı ayırışma derecelerinde tanımlanmıştır. Bu çalışmalar neticesinde litolojik birimler farklı ayırışma derecelerine göre sınıflandırılmıştır. Kayaçların ayırışma dereceleri ISRM (1981) tarafından önerilen ayırışma sınıflaması kullanılarak belirlenmiş ve çalışma alanı için 1/25000 ölçekli litoloji-ayırışma haritası hazırlanmıştır.

Yine arazi çalışmaları ile tamamen ayrılmış zemin özelliğindeki malzemenin indeks özellikleri, tane dağılımları, likit limit, plastik limit ve plastisite indisi gibi kıvam limitleri özellikleri ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı gibi kayma dayanımı özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla yapılacak deneyler için örselenmemiş numune alımı ile ilgili işlemler gerçekleştirilmiştir. Örselenmemiş numune alımında silindirik örnek alma tüplerinden yararlanılmış ve zemin örneğinin doğal halini muhafaza edebilmesi için alınan zemin örneğinin alt ve üst yüzeyi parafinlenmiş ve bu şekilde deneye hazır hale getirilmiştir. Örnek alma işlemleri andezit, bazalt, dasit ve granit türü kayaçların tamamen ayrılmış zemin özelliğindeki zonlarında gerçekleştirilmiştir. Ancak çalışma alanının büyüklüğü ve zemin özelliğinin çok dar alanlarda bile değişim gösteriyor olması nedeniyle, yapılan deneysel çalışmaların çalışma alanını temsil edici özellikte olması söz konusu değildir. Bu konuda gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları sadece zemin örneğinin alındığı alanlara yönelik olup genel olarak tanımlayıcı bilgi niteliğindedir.

Arazi çalışmaları süresince yapılan bir başka işlem ise yüksek derecede ayrılmış ve tamamen ayrılmış malzemelerin X-ışınları difraktogramları ile kil mineral türlerinin belirlenebilmesi için örnek alınmasıdır.

2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Arazi çalışmaları aşamasından sonra değişik amaçlar için (ince kesit, deney ve kil mineral tayini) alınan kayaç ve zemin örnekleri laboratuvar ortamlarında ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Arazide kayaç mostralarından alınan ayrışmamış taze kayaç numunelerinin ince kesitleri hazırlanarak polarize mikroskopta incelenmiş, kayaçların mineralojik-petrografik özellikleri tayin edilmiş ve kayaç adlandırmaları yapılmıştır. Yine bu işlemlerle ilişkili olarak kayaçlardaki önemli mineralojik ve petrografik özelliklerin gösterilmesi amacıyla ince kesit örneklerinden mikroskobik ölçekte fotoğraflar çekilmiştir.

Araziden alınan örselenmemiş örnekler üzerinde laboratuvarında bir dizi deney yapılarak zemin malzemelerinin indeks özellikleri, tane boyu dağılımları, kıvam limitleri ve kayma dayanımı parametreleri belirlenmiştir. Zemin numunelerinin özgül ağırlıkları piknometre deneyi yapılarak belirlenmiştir. Zemin numunelerinin tane boyu dağılımlarını belirlemek ve zeminleri sınıflandırmak için ASTM (1985) standartına göre yıkamalı elek analizi ve hidrometre yöntemi uygulanmıştır. Zemin özelliğinde davranış gösteren malzemelerden alınan numunelerin kıvam limitleri (likit limit, plastik limit ve plastisite indisi) Casagrande deneyi ile ASTM (1985) standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Tamamen ayrışmış zeminlerin kayma dayanım parametreleri olan kohezyon ve içsel sürtünme açıları laboratuvarında gerçekleştirilen kesme kutusu deneyi ile saptanmıştır. Deneyler konsolidasyonlu-drenajlı koşullarda ASTM (1990) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Arazi çalışmaları ile yüksek derecede ayrışmış ve tamamen ayrışmış malzemelerden alınan örneklerin kil mineral türlerinin tayini için XRD analizleri yapılmıştır. Gündoğdu ve Yılmaz (1984) tarafından önerilen yöntemler uygulanarak kayaç örneklerinde kil boyutundaki minerallerin türleri belirlenmiştir. Bu işlem ana hatları ile kırma, öğütme, kimyasal çözme ve kil fraksiyonunun kazanılması aşamaları ile yapılmıştır. Çekiç ile 2-3 cm boyutlarında kırılan kayaç örnekleri çeneli kırıcıda 0.5-1cm boyutlarına indirilmiştir. Daha sonra öğütücü ile 5-10 μ 'un altına düşmeyecek şekilde öğütülmüştür. Kimyasal çözme yoluyla karbonatlar, organik madde ve amorf silis gibi, kil olmayan mineraller örnek içerisinde uzaklaştırılmıştır. Yıkama işlemi gerçekleştirilerek kil boyutu malzeme elde edilmiştir. Kil boyutundaki malzemedan yaklaşık 1 gr. alınarak, XRD aletinin örnek kalıbına konulmuş ve bastırılarak sıkıştırılmıştır. Bu şekilde hazırlanmış

örnekler $3 - 70^\circ$ (2θ) aralığında ölçülmüştür. Örneklerin grafikleri Rigaku Dmax 3C model difraktometre aletinde çekilmiş ve bu şekilde kil mineral türleri tayin edilmiştir.

2.4. Bilgisayar Destekli Büro Çalışmaları

Çalışmada konumsal verilerin toplanmasına yönelik işlemler başlıca iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Bunlar vektör ve raster yapıdaki verilerin toplanması şeklindedir. Vektör yapıdaki verilerin temelini 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalar oluşturmaktadır. Bu çalışmada öncelikle çalışma alanını kapsayan 1/25000 ölçekli topoğrafik paftalar taranarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Daha sonra bilgisayar ortamında Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımları kullanılarak eşyükseklik eğrileri 10 m aralıkla sayısallaştırılmıştır. Resim koordinatlarında elde edilen vektörel veriler, afin dönüşümü ile UTM (Universal Transverse Mercator) koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Daha sonra bu eğrilere yükseklik değerleri girilerek TIN (Triangulated Irregular Network) veri yapısında çalışma alanının üç boyutlu sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. Daha sonra yine Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımları sayesinde heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılacak olan parametrelerden yamaç eğimi, yamaç eğim yönü (bakı) ve yükseklik parametrelerine ait haritalar sayısal yükseklik modelinden hareketle üretilmiştir. Vektör yapıdaki diğer veriler ise litoloji-ayırışma, yola yakınlık ve akarsuya yakınlık parametrelerine ait haritalardır. Bu haritalar da gerekli sayısallaştırma ve dönüşüm işlemleri yapılarak bilgisayar ortamına aktarılmış ve analize hazır hale getirilmiştir.

Raster yapıdaki veri kaynağını ise uydu görüntüleri oluşturmaktadır. İnceleme alanına ait arazi örtüsü haritasının hazırlanmasında 15x15 m çözünürlüğe sahip olan ASTER L3A uydu görüntüsünden yararlanılmıştır.

Verilerin toplanmasından sonra raster ve vektör veri yapısında elde edilen bilgilerin entegrasyonu yapılarak konumsal sorgulama ve analiz türlerine göre gerekli dönüşümler gerçekleştirilmiştir.

Heyelan duyarlılık analizinde kullanılacak parametrelerin haritaları üretildikten sonra, her bir parametrenin heyelan oluşumundaki etkisini belirlemek için iki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi uygulanmıştır. Heyelan yoğunluklarını hesaplamak için, raster veri yapısında hazırlanan parametre haritaları heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritasının hazırlanmasında iki değişkenli istatistiksel analiz ve çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden mantıksal regresyon analizinden yararlanılmıştır. İki değişkenli istatistiksel analizde her bir parametre heyelan envanteri ile karşılaştırılmış ve heyelan yoğunluğu % değerlerinden yararlanılmıştır. Mantıksal regresyon analizi için önce veri matrisi oluşturulmuştur. Daha sonra bağımlı değişken olarak seçilen mevcut heyelanlarla, bir dizi bağımsız değişken arasındaki bağımlılık yapısı analiz edilmiştir. Analizler, istatistik yazılımı olan SPSS programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde heyelan meydana gelme olasılığı formüle edilmiştir. Sonra analiz sonuçları gerekli dönüşüm işlemleri yapılarak uygun biçimde CBS ortamına aktarılmış ve duyarlılık haritası üretilmiştir.

Son olarak oluşturulan haritaların güvenilirliği performans analizleri yapılarak test edilmiş ve haritaların birbirleri ile uyumu karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Bölgesel Jeoloji

Rize ilinin de içerisinde yer aldığı Doğu Karadeniz Bölümü çok geniş anlamda Alpin dağ oluşumuna bağlı olarak Jura-Pliyosen zaman aralığında gelişmiş adayayı dizisinin bir parçasıdır. Jeolojik evrime bağlı olarak, yörede volkanik kayalar egemendir. Sedimanter kökenli kayalar çok az ve genellikle arakatlı şeklinde gelişmiştir.

Bölgede yüzeyleyen en yaşlı birim, kumtaşı, marn ve kırmızı kireçtaşı arakatmanları içeren andezit, bazalt, dasit ve piroklastlarından oluşan Santoniyen-Maastrihtiyen yaşlı Hemşindere Formasyonu'dur. Bölgesel olarak geniş yayılım gösteren bu formasyon yer yer bazik ve asidik intrüzifler tarafından kesilmiştir. Hemşindere Formasyonu üzerine Rize yöresinde, beyaz-bordo renkli marn, kiltası ve kireçtaşı aralanmasından oluşan Rize Formasyonu gelmektedir. Formasyon'un yaşı Geç Kretase-Paleosen olup kalınlığı 325 m dir (Gedik vd., 1992). Bu birimin üzerine uyumsuzlukla gelen Kaplıca Formasyonu Erken-Orta Eosen yaşlı olup, litolojik olarak kalın katmanlı ve iri taneli kumtaşı ve marnlardan oluşmaktadır. Kaplıca Formasyonu'nun üzerine masif ve kötü katmanlanma gösteren, çoğunlukla bazaltik, yer yer andezitik tüf ve aglomeralardan oluşan Melyat Formasyonu gelmektedir. Kaplıca Formasyonu ile geçişli ve uyumlu olan Melyat Formasyonu'nun yaşı Orta Eosen'dir (Korkmaz ve Gedik, 1988). Bu Formasyon'un üzerine, tabanda çakıllı kil ile başlayıp üste doğru kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve gri renkli marn aralanması içeren Sarmasiyen (Orta-Geç Miyosen) yaşlı Pazar Formasyonu gelmektedir. 30-100 m kalınlıkta olan formasyon alttaki bütün birimleri açısız uyumsuzlukla örtmektedir (Korkmaz ve Gedik, 1988). Birimin üst kısımlarında kum, çakıl ve kayalar parçaları içeren kırmızımsı kil ve kiltaları yer almaktadır. Çakıllar kötü boylanmalı olup, volkanik kayalardan türemişlerdir. Kırmızımsı kiltası ve çamurlar daha yaşlı volkanik kayaların ayrışmasıyla oluşmuşlardır. Pliyo-Kuvaterner yaşlı Hamidiye Formasyonu uyumsuz olarak Pazar Formasyonu'nun üzerine gelmektedir. Kum ve kil mercekleri içeren gevşek çimentolu çakiltaslarından oluşan birimin kalınlığı yaklaşık 50 m dir (Gedik vd., 1992). Kuvaterner yaşlı taraça ve alüvyonlar bölgenin en genç çökellerini oluşturmaktadır (Şekil 10).

3.2. Çayeli ve Çevresinin Genel Jeolojisi

Bu araştırmada, “Korkmaz ve Gedik, (1988)” tarafından Rize-Çamlıhemşin arasındaki alanda yapılan ve bölgede birimlerin ilk defa formasyon ölçeğinde ayırtlanarak adlandırıldığı çalışma esas alınmıştır. İnceleme alanında yüzeylenen litostratigrafi birimleri yaşlıdan gence doğru şöyledir;

- 1- Hemşindere Formasyonu (Santoniyen-Maastrichtiyen)
- 2- Kaçkar Granitoyidi (Geç Maastrichtiyen)
- 3- Melyat Formasyonu (Erken-Orta Eosen)
- 4- Pazar Formasyonu (Sarmasiyen)
- 5- Taraça ve Alüvyon (Kuvaterner) (Şekil 11).

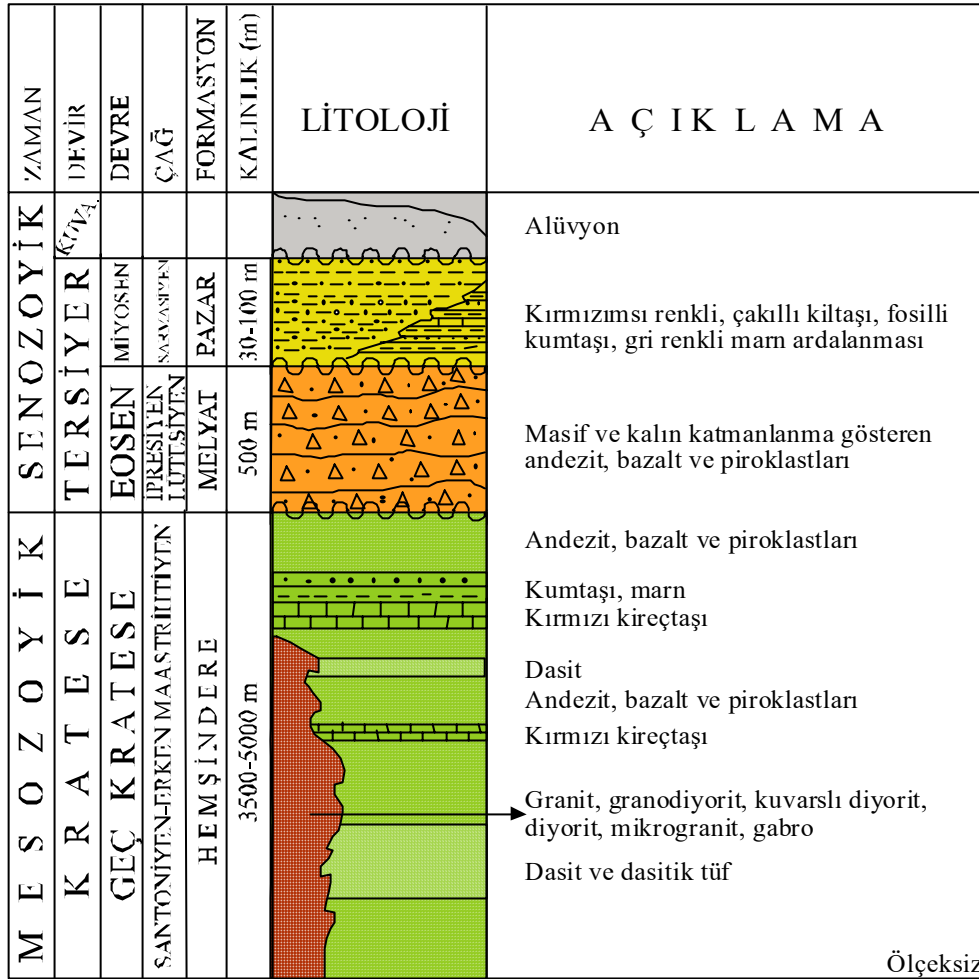
3.2.1. Hemşindere Formasyonu

İnceleme alanında yüzeyleyen en yaşlı birimi Hemşindere Formasyonu oluşturmaktadır. Birim tipik olarak Hemşindere vadisi boyunca yüzeylendiği için Hemşindere Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Korkmaz ve Gedik, 1988). Bu Formasyon sadece inceleme alanında değil, aynı zamanda bölgesel olarak da geniş bir yayılım göstermektedir. İnceleme alanında başlıca, Büyükköy, Madenli belediyeleri ile Ketenli, Yenihisar, Gürgenli, Maltepe, Kaynarca, Tüysüzler ve Kazancılar mahallelerinde yüzeylenmektedir (Şekil 12).

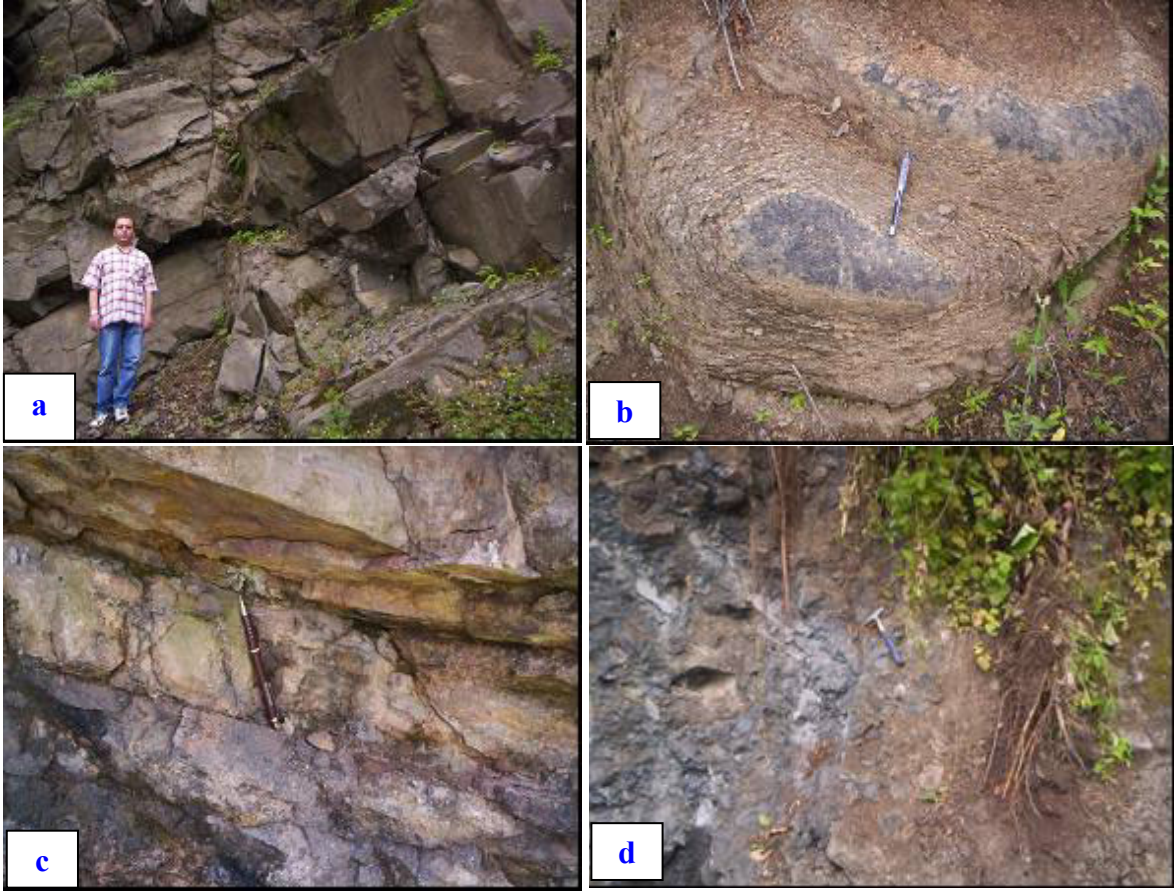
Bu birime ait kayaçlar, yoğun bir şekilde hidrotermal ve yüzeysel ayrışmaya uğramışlardır. Bu durumdan dolayı makroskobik olarak birbirlerine benzemektedirler. Bunlara ilave olarak inceleme alanının yoğun bir bitki örtüsü ile kaplı olması birimlerin ayrı ayrı haritalanmasını güçleştirmiştir. Santoniyen-Maastrichtiyen yaşlı olan Hemşindere Formasyonu yer yer bazik ve asidik intrüzifler tarafından kesilmiştir. Formasyon, yer yer kırmızı renkli kireçtaşı, kumtaşı ve marn arakatmanları içeren dasit, andezit-bazalt ve piroklastlarından oluşmuştur. Formasyonu oluşturan kaya türlerinin litolojik özellikleri kısaca şöyledir:

Andezit-bazalt ve piroklastları: Hemşindere Formasyonu'nun en yaygın kayaç grubunu oluşturmaktadır. Bunların renkleri genellikle gri ile siyah arasında değişmektedir (Şekil 13a). Bazaltlarda yer yer spilitleşme gözlenmektedir. Yine bazaltlarda ayrışmadan dolayı küresel ayrışma (eksfolyasyon) yapılarına rastlanmaktadır (Şekil 13b). Ayrıca

killeşme ve serizitleşme görülmektedir. İntrüzif kayaçlarla olan dokanaklarında hidrotermal ayrışmalar sonucunda piritleşme ve killeşme izlenmektedir. Bazı andezitlerdeki piroksenler arazide makroskobik örnekler üzerinde gözlenebilmektedir. Özellikle Madenli yöresindeki andezitlerde bol miktarda saçınım halde pirit ve masif kalkopirit mineralleri mevcuttur. Andezit ve bazaltlarda yer yer çatlaklar mevcut olup, çatlak yüzeyleri boyunca limonitleşme ve kükürtleşme gözlenmektedir. Kalın bazaltik kayaçlar arasında 10-20 cm kalınlığında, ince seviyeler halinde piroklastik kayaçlar yer almaktadır (Şekil 13c). Aglomeralar andezit ve bazalt çakıllarından oluşmuştur. Çapları 2 ila 30 cm arasında değişen çakıllar belli seviyelerde yoğunlaşmakta ve daha ince taneli volkanik malzeme ile bağlanmaktadır (Şekil 13d).



Şekil 11. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (Korkmaz ve Gedik, 1988).



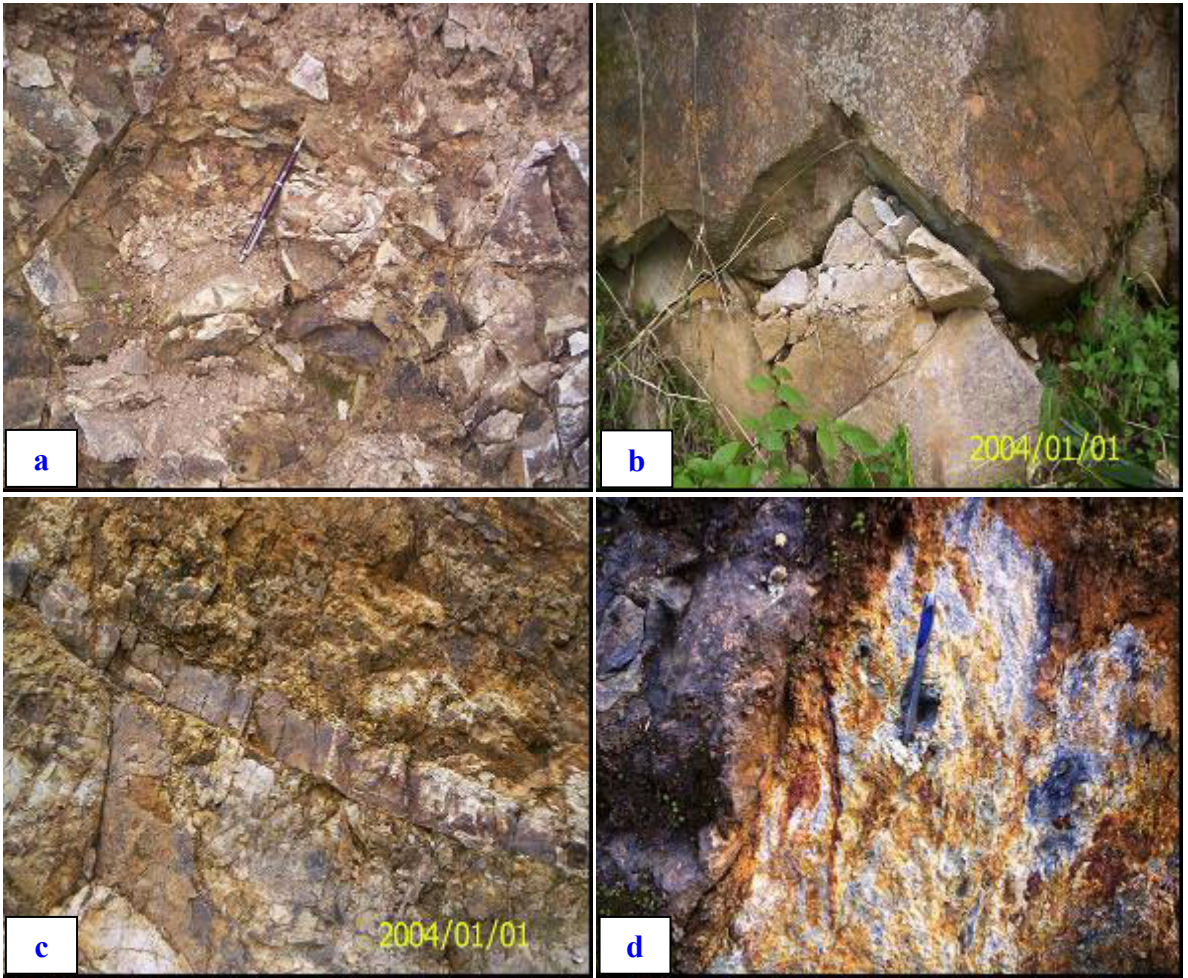
Şekil 13. (a,b,c,d) Hemşindere Formasyonu'na ait andezit-bazalt ve piroklastlarının görünümü.

Dasit ve piroklastları: Andezit-bazalt ve piroklastları arasında bulunurlar. Başlıca dasit, tüf, aglomera ve breşlerden meydana gelmişlerdir (Şekil 14 a,b,c). Bu birim arazide turuncu, sarı ve sarımsı kahve gibi açık renk tonlarında görülmektedir. Dasit grubu kayaların yüzeylendiği alanlarda ayrışma çok daha belirgindir. Dasitlerde hidrotermal ayrışma yaygın olup, ayrışma ürünleri silisleşme, killeşme, serizitleşme, limonitleşme ve piritleşmedir (Şekil 14d). Demiroksit boyanmalarına ve saçınım halinde pirit tanelerine bol miktarda rastlanmaktadır. Ayrışmanın az olduğu örneklerin bazılarında kuvars ve plajiyoklastlar makroskobik olarak gözlenebilmektedir. Bölgenin yoğun bitki örtüsü ile kaplı olması ve masif sülfid yataklarının bulunduğu bölgelerde görülen yoğun alterasyon bu birimlerin ayrı ayrı haritalanmasını güçleştirmiştir.

Kırmızı renkli kireçtaşları: İnceleme alanında Madenli ve Kalyoncular civarında yüzeylenmektedir. Bu kireçtaşları ince tabakalı olup, kırmızı renkleri ile diğer birimlerden kolayca ayırtebilirler. Yoğun bitki örtüsü nedeniyle yanal devamlılığı gözlenememiştir. Andezitler ve dasitler içerisinde mostra veren birimin kalınlığı 1-1.5 m ve 10-20 m

arasında değişmekte ve sahada çok geniş olmayan yüzeylenmeler vermektedir. Birim kendi içerisinde ince seviyeler halinde alttan üste doğru koyu gri-siyah, açık gri-sarımsı, daha kalın seviyeler halinde kırmızı renkli olmak üzere fasiyes değişiklikleri gösterir. Kırmızı kireçtaşları ince ve orta katmanlı, çatlaklı olup, çatlaklar kalsit dolguludur.

Kumtaşı-marn ardalanması: Birim tipik olarak Hemşindere vadisi Suçatı köyü civarında yüzeylenmektedir. İnceleme alanı içerisinde fazla yüzeylenmemekle beraber, Kaynarca ve Kalyoncular civarında görülmektedir. Orta katmanlı, gri-beyaz renkli kumtaşı arakatmanlı marnlardan oluşmuştur.



Şekil 14. (a,b,c,d) Hemşindere Formasyonu'na ait dasit ve piroklastlarının görünümü

Hemşindere Formasyonu'nu oluşturan kayaçların mikroskobik tayinleri sonucunda andezit, bazalt, dasit ve kireçtaşları tespit edilmiştir.

Andezitlerin mikroskobik incelemesinde camsı porfirik doku gözlenmektedir. Plajiyoklaslar öz ve yarı öz şekilli, hem iri hem de küçük kristaller halinde bulunur. Küçük kristaller çoğunlukla albit ikizlenmesi göstermektedir. Bazı plajiyoklas kristalleri zonlu yapıya sahip olup, hamurda da ince kristaller halinde bulunur. Yapılan cins tayininde (010'a dik kesit) cinsinin andezin (An_{38}) olduğu belirlenmiştir. Çoğunlukla ayrıışmış olan plajiyoklaslar kalsit ve serizite dönüşmüştür. Amfiboller öz ve yarı öz şekillidir. Bazı mineralleri ikizlenme göstermektedir. Nadir olarak plajiyoklas ve opak mineral kapanımları içeren amfiboller mevcuttur. Pleokroizma renkleri farklı yönlerde yeşil ile sarı arasında değişmektedir. Sönme açıları yaklaşık 38^0 olup cinsi hornblenddir. İkincil mineraller çoğunlukla kalsit ve serizitten oluşurlar. Bunlar ayrıışma ürünü ve çatlak dolgusu şeklindedirler. Opak mineraller değişik büyüklükteki taneler halindedir. Hamur, plajiyoklas, hornblend ve opak minerallerin çok küçük kristallerinden oluşmaktadır (Şekil 15a).

Bazaltların mikroskobik incelemesinde mikrolitik porfirik doku gözlenmektedir. Plajiyoklaslar açık renkli minerallerin tümünü oluşturmaktadır. Hem mikrolitler halinde hem de çok iri kristaller halinde gözlenmektedir. İri plajiyoklas kristallerinin bazılarında zonlanma görülmektedir. Küçük kristallerde albit, iri kristallerde de polisentetik ikizlenme belirgindir. Plajiyoklaslardaki anortit içeriği % 52-56 arasında değişmekte olup, plajiyoklas cinsi labradordur (010'a dik kesit). En yaygın ayrıışma ürünleri serizitleşme ve kalsitleşme olup epidotlaşma bunlara eşlik etmektedir. Ayrıışma daha ziyade kristalin merkezine yakın kesimlerde görülmektedir. Ojit yarı öz şekilli kristaller halinde bulunur. Birbirine dik yönde dilinimlere sahip ojit kristallerinin dilinim yüzeyleri boyunca kloritleşmeler görülmektedir. İkincil mineraller, serizit, kalsit, epidot ve klorit minerallerinden oluşmaktadır. Bu mineraller ayrıışma ürünü ve çatlak dolgusu şeklinde ikincil olarak gelişmişlerdir. Opak mineraller bol miktarda, irili ufaklı taneler halindedir. Hamur, plajiyoklas, ojit ve opak minerallerin çok küçük kristallerinden oluşmaktadır (Şekil 15b).

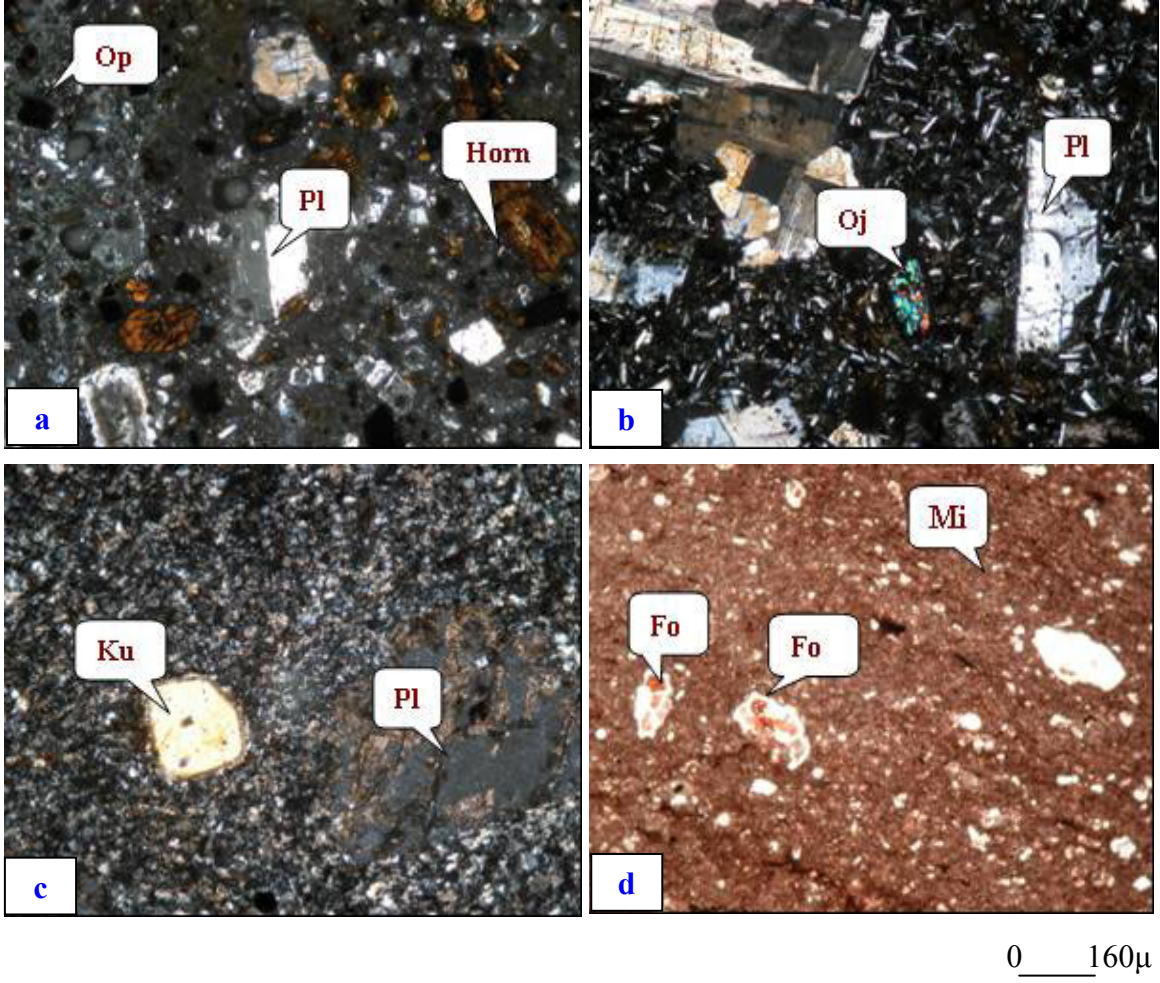
Dasitlerin mikroskobik incelemesinde çoğunlukla sferolitik doku bazılarında ise mikrogranüler porfirik doku gözlenmektedir. Açık renkli bileşenler kuvars, plajiyoklas ve çok az miktarda ortozdan, koyu renkli mineraller ise hornblendten oluşmaktadır. Kuvars, yarı öz şekilli ve öz şekilsiz kristaller halinde ve hamurda mikrokristaller halinde bulunmaktadır. Bazen çatlak dolgusu olarak ikincil kuvars gözlenmiştir. Kuvarslar,

kenarları boyunca hamur tarafından yenmiştir ve çoğunlukla bol kırık içermektedir. Bazı kuvarsların etrafında reaksiyon haleleri bulunmaktadır. Plajiyoklas, yarı öz şekilli kristaller halinde, hem de hamurda mikrokristaller şeklinde bulunmaktadır. Plajiyoklasların ayrışması ile serisit, kil mineralleri, epidot ve bazen de kalsit gelişmiştir. Feldispat yarı öz şekilli olup, karbonatlaşmış ve serizitleşmiş olarak görülmektedir. Biotitler, dilinimleri ve kenarları boyunca altere olarak klorit ve opak minerallere dönüşmüşlerdir. Hamur, genellikle kuvars, plajiyoklas ve bazen biyotit ve camsı malzemedir oluşmaktadır. Ayrıca, hamur ayrışma ürünü olarak klorit, silis, kalsit ve opak minerallerini de içermektedir (Şekil 15c).

Kireçtaşlarından farklı iki seviyeden alınan örneklerden yapılan paleontolojik incelemeler sonucu, kırmızı renkli seviyelerde *Marginotruncana pseudolinneiana* (PESSAGNO) ve *Radiolaria sp.*; açık grimsi-sarı seviyelerde *Radilaria sp.*, *Globigerinelloides sp.*, *Marginotruncana pseudolinneiana* (PESSAGNO) ve *Dicarinella sp.* fosillerinin varlığı belirlenmiştir (Tayin: S. ÖZGÜR). Biyomikritler (Folk, 1962) tümüyle pelajik fosillerden meydana gelmiştir. Kalsit, çimento içerisinde dağılmış küçük kristaller şeklinde ve kırık hatları boyuncadır. Çimento içerisinde az oranda kloritleşme görülmektedir. Çimento mikritten oluşmaktadır (Şekil 15d).

Hemşindere Formasyonu içindeki kırmızı kireçtaşının içerdiği mikrofosiller (*Radilaria sp.*, *Globigerinelloides sp.*, *Marginotruncana pseudolinneiana* (PESSAGNO) ve *Dicarinella sp.*) ve önceki çalışmalardan (Korkmaz ve Gedik, 1988) elde edilen verilere dayandırılarak birime Santoniyen-Erken Maastrichtiyen yaşı verilmiştir. Hemşindere Formasyonu genel özelliklerinden dolayı, yoğun volkanizmanın egemen olduğu denizel bir ortamda çökelmiştir. Genellikle bazik karakterde olan bu volkanizmaya zaman zaman da asidik bir volkanizma eşlik etmiştir. Kırmızı kireçtaşı, kumtaşı ve marn seviyeleri ise volkanizmanın durduğu dönemlerde çökelmiştir.

Hemşindere Formasyonu; Ordu-Ünye yöresindeki Mesudiye ve Fatsa Formasyonları (Terlemez ve Yılmaz, 1980), Hopa-Borçka arasındaki Subaşı Sırtı Formasyonu (Çapkinoğlu, 1981), Artvin-Ardanuç yöresindeki Kanlı, Ziverağa ve Makenet Formasyonları (Özsayar vd., 1982), Giresun Espiye yöresindeki Kızılkaya Formasyonu ve Trabzon Çağlayan beldesindeki Çağlayan Formasyonu (Güven, 1993), ile deneştirilebilir özelliktedir.



Şekil 15. (a,b,c,d) Hemşindere Formasyonundan alınan kayaçlara ait ince kesit fotoğrafları.
a: Andezit, **b:** Bazalt, **c:** Dasit, **d:** Biyomikrit
 Pl: Plajiyoklas, Horn: Hornblend, Oj: Ojit, Ku: Kuvars, Fo: Fosil, Mi: Mikrit, Op: Opak

3.2.2. Kaçkar Granitoyidi

Asidik karakterli olan intrüzif kayalar inceleme alanında Santoniyen-Maastrichtiyen yaşlı Hemşindere Formasyonu'nu keserek yerleşmişlerdir. Daha genç formasyonları kesen bir intrüzife rastlanmamıştır. Bu nedenle intrüzif kayaların yaşı Geç Maastrichtiyen olarak kabul edilebilir. İnceleme alanında başlıca, çalışma alanının güney sınırlarında, Büyükköy, Gümüştaş ve Karaağaç yörelerinde yüzeylenmektedirler. Koyu gri grimsi siyah ve yeşilimsi renklerde olan granitoyidler değişik derecelerde ayrıışmışlardır (Şekil 16a). Çatlaklı yapılar sunarlar ve çatlaklar genellikle pirit dolguludur (Şekil 16b).



Şekil 16. (a,b) Kaçkar Granitoyidi'nin arazi görünümü.

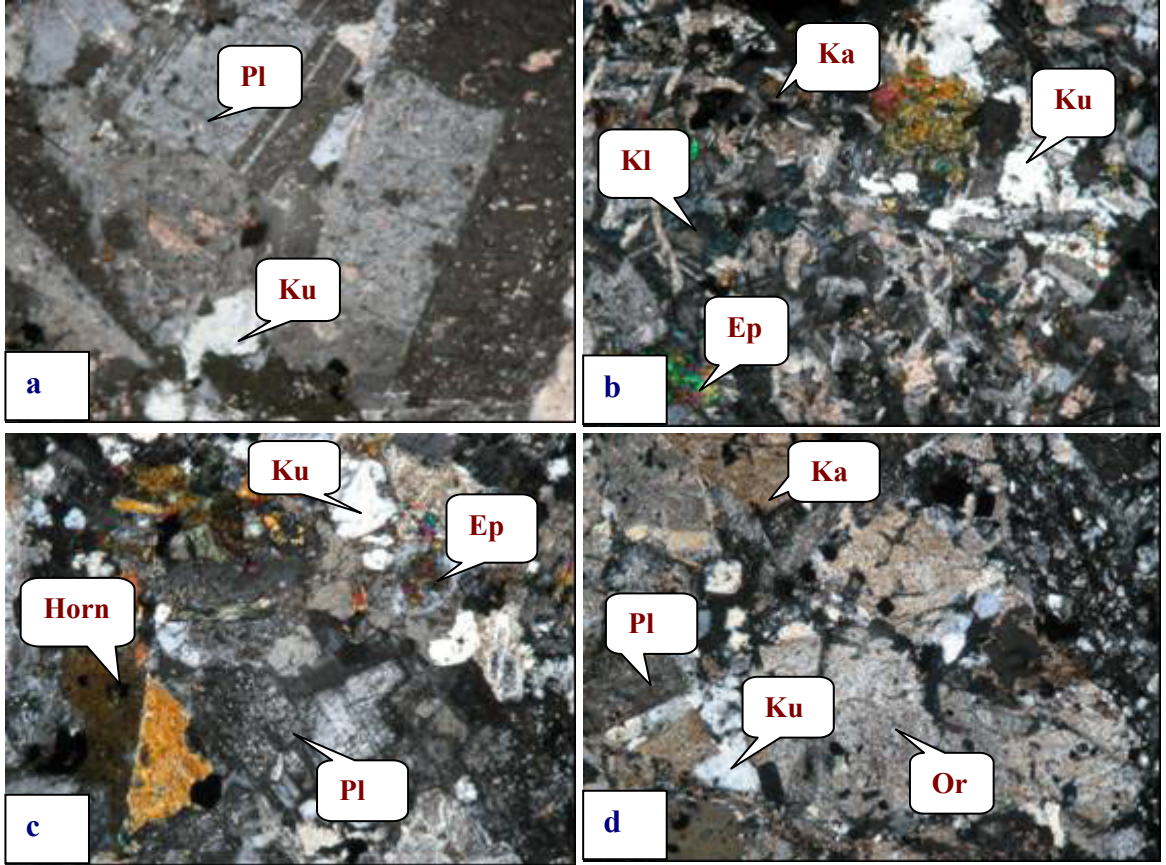
Kaçkar Granitoyidi'ni oluşturan kayaçların mikroskobik tayinleri sonucunda granodiyorit, kuvarslı diyorit, granit ve mikrogranodiyorit oldukları tespit edilmiştir.

Granodiyoritler, taneli doku göstermektedirler. Plajiyoklaslar yarı öz şekilli kristaller halindedir. Anortit içerikleri %38-46 arasında değişmekte olup cinsi andezindir. Plajiyoklasların büyük çoğunluğu albit ikizi göstermesine rağmen bazıları zonlu yapı sunmaktadır. Genellikle kırıklı bir yapıya sahip olup, kırıklar çoğunlukla uzun eksene dik yönde gelişmiştir. Yoğun ayrışmaya uğrayan plajiyoklaslarda, ayrışma sonucu serizit, kil ve kalsit oluşmuştur. Ortoklaslar öz şekilsiz kristaller, orta ve nadiren de iri taneler halindedir. Ayrışma sonucu kil ve kalsite dönüşmüştür. Bazıları pertitik özellik sunmaktadır. Taze olan, ayrışmamış örneklerde karlsbad ikizi rahatlıkla izlenmektedir. Kuvars, öz şekilsiz kristaller halindedir ve değişik yönlerde çatlak sistemleri mevcuttur. Yer yer dalgalı sönme göstermektedir. Amfibol kristalleri tamamen ayrışarak kloritleşmiştir. Opak minerallerle birlikte gözlenen amfibollerde kloritleşmeden dolayı cins tayini yapılamamıştır. Tali mineral olarak zirkon ve apatit tespit edilmiştir. İğnemi çubuklar halinde görülen apatit genelde feldispatla beraber bulunur. Değişik geometrik şekillerde görülen opak mineraller rastgele dağılmışlardır. Özellikle amfibolün bulunduğu yerlerde zenginleşmiştir. Opak mineralleri çoğunlukla piritler oluşturmuştur. Serizit, kalsit ve kil plajiyoklas ve ortoklasların ayrışma ürünü olarak izlenirken, klorit hem amfibollerin ayrışma ürünü, hem de sonradan boşlukları dolduran ikincil ürün olarak gözlenmiştir (Şekil 17a).

Mikrogranodiyoritlerin mineral içerikleri, granodiyoritlerle aynı olup, kristal boyutları küçüktür. Kenar zonlardan alınan bu örneklerdeki küçük kristaller, ani soğumayı işaret eder (Şekil 17b).

Kuvarslı diyoritler, orta taneli doku göstermektedirler. Plajiyoklaslar öz ve yarı öz şekilli kristaller halindedir. Çoğunlukla albit ikizi gösteren plajiyoklasların tamamına yakını zonlu yapı sunmaktadır. Uzun eksenlerine dik yönde gelişmiş kırık ve çatlaklar mevcuttur. Ayrışma sonucu genellikle kil, kısmen de serizitleşme görülmektedir. Zonlu plajiyoklaslarda zon izleri boyunca kil minerali zenginleşmiştir. Ortoklas öz şekilsiz kristaller halinde olup, ayrışma oranı plajiyoklastan fazladır. Amfibol ve opak mineral enklizyonları içererek poikilitik doku sunmaktadır. Ortoklaslar yer yer karlspat ikizi göstermektedir. Amfibol yarı öz şekilli ve öz şekilsiz kristaller halindedir. Sönme açıları 20-25⁰ civarında olan amfibollerin, ayrışmaları sonucu klorit oluşmuştur. Kuvars, öz şekilsiz ve genellikle küçük kristaller halinde olup, boşlukları doldurur. Düzensiz kırıklara sahip olan kuvarslar, dalgalı sönme göstermektedir. Kayaç içerisinde tali mineral olarak, zirkon, apatit ve sifen bulunmaktadır. Serizit ve kil plajiyoklas ve ortoklasların, klorit ise amfibollerin ayrışma ürünü olarak izlenmektedir. Opak mineraller düzensiz geometrik şekillerde, amfibollerin bulunduğu yerlerde yoğunlaşmış olarak bulunurlar. Epidot küçük ve orta taneli olarak gözlenmektedir. Bazı alanlarda yoğunlaşması ile dikkat çekmektedir. Kontak metamorfizmayı işaret eden epidotların yoğunlaştığı bölgelerde, minerallerdeki ayrışma oranı da artmaktadır (Şekil 17c).

Granitler taneli doku göstermektedir. Plajiyoklaslar öz ve yarı öz şekillidir. Bazı plajiyoklaslar albit ikizi göstermektedir. Kırıklı bir yapıya sahip olup, kırıklar çoğunlukla uzun eksene dik yönde gelişmiştir. Plajiyoklaslar, ayrışma sonucu serizit ve kloritleşmiştir. Ortoklaslar yarı öz şekilli ve öz şekilsiz kristaller halindedir. Bazılarında karlspat ikizi gözlenmektedir. Yarı öz şekilli olan kuvars kristalleri, düzensiz kırıklara sahiptir. Bazı kesitlerde dalgalı sönme göstermektedirler. Biyotitler ayrışma sonucunda klorite dönüşmüştür (Şekil 17d).



Şekil 17. (a,b,c,d) Kaçkar granitoidinden alınan kayalara ait ince kesit fotoğrafları
a. Granodiyorit, **b.** Mikrogranodiyorit, **c.** Kuvarslı diyorit **d.** Granit
 Pl: Plajiyoklas, Horn: Hornblend, Oj: Ojit, Ku: Kuvars, Op: Opak, Or: Ortoklas,
 Ep: Epidot, Kl: Klorit

3.2.3. Melyat Formasyonu

Birim çok tipik ve yaygın olarak Melyat dere vadisi boyunca gözlemlendiği için Korkmaz ve Gedik (1988), tarafından Melyat Formasyonu olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanında başlıca, Balıkçılar, Konak, Limanköy, Demirhisar'ın kuzeyi, Şirinköy ve Özdemirler Mahalleleri civarında yüzeylemektedir.

Formasyon masif ve kötü katmanlanma gösteren andezit-bazalt ve piroklastlarından (tüf, breş ve aglomeralardan) oluşmaktadır. Birim içerisinde boyutları birkaç cm den 1m ye kadar değişen volkanik kökenli bloklar yer almaktadır. Bu Formasyon'a ait andezit ve bazaltlar Geç Kretase yaşlı volkaniklere oranla daha sağlamdır. (Şekil 18 a,c). Volkanik kayaların çoğu, gözle görülebilir büyüklükte ojit kristalleri içermektedir. Bazaltlar yer yer

kolonsu debi göstermektedir. Bu birimde piroklastlar yaygın olarak görülmektedir. Piroklastlar içerisinde ise aglomeralar tüflere nazaran daha boldur. Aglomera çakılları kısmen yuvarlağımsıdır (Şekil 18 b,d). Aglomeralar andezit ve bazalt çakıllarından oluşmuştur. Çakılların çapları 5 ila 30 cm arasında değişir. Çakıllar, volkanik malzemelerle birbirlerine bağlanmıştır. Piroklastik kayalara ait tüfler, aglomeralara nazaran daha dar bir alanda, yer yer onlarla aralanmalı ve karmaşık olarak yer almaktadır.

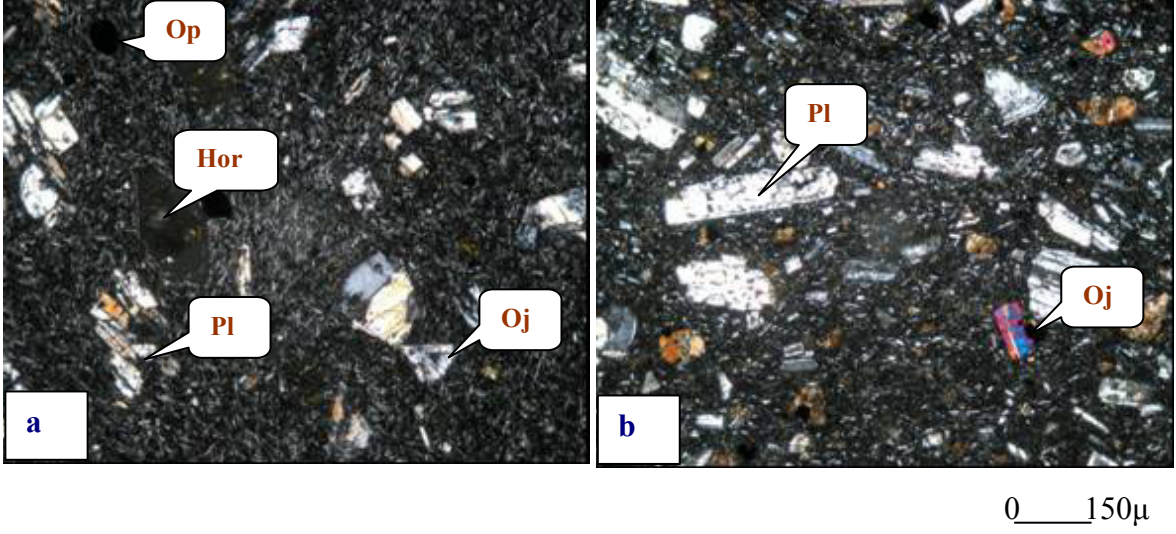


Şekil 18. (a,b,c,d) Melyat Formasyonu'na ait kayaların arazi görünümü

Melyat Formasyonu'nu oluşturan kayaların mikroskobik tayinleri sonucunda andezit ve bazalt oldukları tespit edilmiştir.

Andezitlerin mikroskobik incelemesinde mikrolitik porfirik doku gözlenmektedir. Plajiyoklazlar çoğunlukla öz ve yarı öz şekillidir. Açık renkli minerallerin hemen hemen tamamını oluşturmaktadır. Albit ikizi gösteren plajiyoklazlar, hem iri hemde küçük kristaller halinde ve hamur içerisinde rastgele dağılmış haldedir. Bu plajiyoklaz kristalleri yarı özşekilli olup, az oranda ayrışma gösterirler. Albit ikizine göre 010'a dik kesitlerde yapılan plajiyoklaz tayininde plajiyoklaz cinsi An_{38} içeriği ile andezin olarak belirlenmiştir. Bazı plajiyoklazlarda kırıklı yapılar ve çok az oranda da epidotlaşma görülmektedir. Amfiboller porfiri olarak çok az oranda bulunmaktadır. Kloritleşmeden dolayı cinsleri belirlenememiştir. Öz şekilli olan amfiboller hamurda da küçük kristaller halinde bulunmaktadır. Opak mineraller, az oranda küçük düzensiz şekilli taneler halindedir. Hamur, plajiyoklaz, amfibol ve opak minerallerin çok küçük tanelerinden oluşmaktadır (Şekil 19a).

Bazaltlar mikrolitik porfirik doku ve kısmen akıntı (fluidal) dokusu göstermektedir. Plajiyoklazlar iri, yarı öz ve öz şekilli kristallerden, hamurda da küçük kristallerden oluşmaktadır. İri plajiyoklaz kristallerinde kırıklı bir yapı mevcuttur. Albit ikizleri mevcut olup, ikiz düzlemleri boyunca kısmen karbonatlaşmalar gözlenmektedir. Plajiyoklazlarda yapılan cins tayininde, bunların An_{65} içeriği ile labrador olduğu tespit edilmiştir (010'a dik kesit). Piroksenler, öz ve yarı öz şekilli iri kristaller, hamurda da küçük kristaller halindedir. Klinopiroksenler kayadaki koyu renkli mineralleri oluşturmaktadır. Ojit, öz şekilli olup, yer yer kırıklı yapı göstermektedir. Maksimum sönme açıları (010) yüzeyine paralel kesitlerde $36-42^{\circ}$ arasındadır. Bazı minerallerde tek yönde, bazılarında ise birbirine dik yönde dilinimler belirgindir. Opak mineraller, yarı öz şekilli olup, koyu renkli mineraller ile birliktelik göstermektedir. Opak mineralleri manyetit ve pirit oluşturmaktadır. Örneklerin genelinde az oranda kalsitleşme ve hematitleşme görülmektedir. İkincil mineraller, serizit, kil, serpantin ve klorit minerallerinden oluşmaktadır. Hamur, plajiyoklas, ojit ve opak minerallerin çok küçük tanelerinden meydana gelmektedir (Şekil 19b).



Şekil 19. (a,b) Melyat Formasyonu'ndan alınan kayalara ait ince kesit fotoğrafları.

a. Andezit, **b.** Bazalt Pl: Plajiyoklaz, Horn: Hornblend, Oj: Ojit, Op: Opak

Melyat Formasyonu'nun alt sınırı normal istifte Kaplıca Formasyonu ile geçişli ve uyumludur. Ancak bu dokanak sadece Rize yöresinde görülmektedir. Faylanma nedeniyle Rize ve Kaplıca Formasyonları fay zonunda kaybolmuşlardır. Dolayısıyla inceleme alanında Melyat Formasyonu'nun alt sınırını Hemşindere Formasyonu oluşturmaktadır ve bu iki formasyon tektonik ilişkilidir. Melyat Formasyonu üzerine açılmal uyumsuzlukla Sarmasiyen yaşlı Pazar Formasyonu oturmaktadır. Formasyonun yaşını doğrudan verebilecek bir faunaya rastlanmamıştır. Ancak Erken-Orta Eosen yaşlı Kaplıca Formasyonu ile geçişli ve uyumlu olduğu için aynı yaşta kabul edilmiştir. Kötü katmanlanma gösteren ve piroklastlardan oluşan Melyat Formasyonu muhtemelen yoğun volkanik faaliyetlerin egemen olduğu denizel bir ortamda gelişmiştir. Melyat Formasyonu; Borçka-Hopa arasındaki Borçka volkanitleri (Çapkinoğlu, 1981) ve Gümüşhane yöresindeki Kabaköy Formasyonu (Güven, 1993) ile litolojik ve stratigrafik olarak denetirilebilir.

3.2.4. Pazar Formasyonu

Pazar (Rize), ilçesi dolaylarında en iyi yüzeylemesini veren Sarmasiyen yaşlı, çakıltaşı, kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve kireçtaşı arakatmanları içeren gri renkli marn ardalanmasından oluşan birim Korkmaz ve Gedik, (1988) tarafından Pazar Formasyonu

olarak adlandırılmıştır. Birim inceleme alanında, Yaka, Şairler ve Sabuncular Mah. civarında yüzeleme vermektedir.

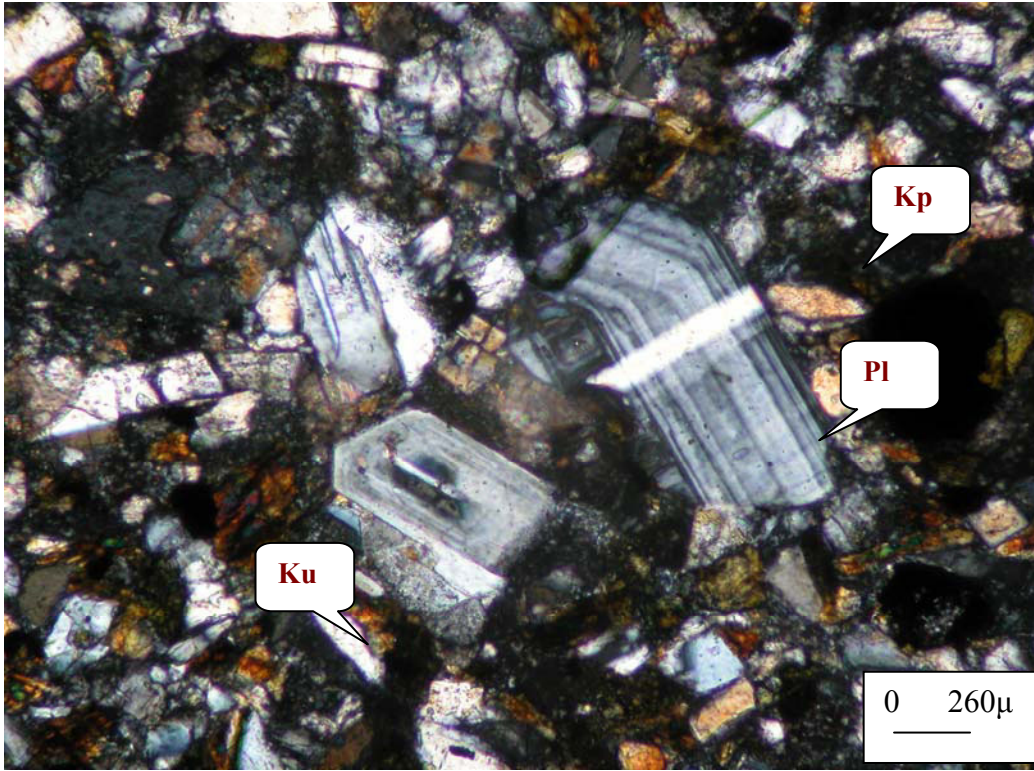
Pazar Formasyonu tabanda yer yer çakıltaşları ile başlayıp üste doğru kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve kireçtaşı arakatmanları içeren gri renkli marn ardalanmasıyla devam eder (Şekil 20 a,b). Birimin en üst düzeyleri ise kum, çakıltaşı ve kayaç parçaları içeren kırmızımsı renkli kıltaşları ile son bulur (Şekil 20 c,d). Çakıl boyutları birkaç cm ile 20-30 cm arasında değişmektedir. Çakıllar kötü boylanmalı olup alttaki volkanik kayalardan türemişlerdir. Kırmızımsı renk gösteren killer çoğunlukla volkanik kayaç ve tüflerin ayrışmasıyla oluşmuşlardır.



Şekil 20. (a,b,c,d) Pazar Formasyonu'na ait kayaçların arazi görünümü.

Pazar Formasyonu'nu oluşturan kayaçların mikroskobik tayinleri sonucunda kumtaşları tespit edilmiştir. İnceleme alanında Formasyon'u oluşturan diğer birimlerin hemen hemen tamamı volkanik kayalardan türeyen çakıltaşı ve kayaç parçalarını içeren kıltaşlarıdır. Andezit ve bazalt çakıllarından oluşan bu birimlerden kesit yapılmamıştır.

Kumtaşlarının mikroskobik tayinlerinde, kayaç içerisinde % 5 oranında kuvars mevcuttur (Şekil 21). Kuvars kristallerinin tamamı öz şekillidir. Taneler genellikle köşelidir. Kayaç içerisinde feldispat oranı % 22 civarındadır. Bunun % 7'si alkali feldispat, % 15'i ise plajiyoklazlardan ibarettir. Alkali feldispat tanelerinin boyutları hem kuvars hem de plajiyoklazlara göre daha iridir. Taneler köşeli ve yarı köşelidir. Kayaç parçaları genellikle bazaltdan türemiş olup, oranı yaklaşık % 52 kadardır. Taneler yarı yuvarlak, yarı köşelidirler. Boyutları diğer bileşenlere kıyasla daha iridir. Çimentosu genellikle kil ve demirdir. Bu verilere göre kayaç adı litarenit (feldispatlı kayaç kırıntılı kumtaşı) olarak tespit edilmiştir.



Şekil 21. Feldispatlı kayaç kırıntılı kumtaşının mikroskobik görünümü.

Pl: Plajiyoklas, Ku: Kuvars, Kp: Kayaç Parçası

Pazar Formasyonu açısız uyumsuzlukla Melyat Formasyonu üzerine oturur. Birimi taraça ve alüvyonlar uyumsuzlukla üstler. Pazar Formasyonu'nun kumtaşı, kireçtaşı ve marn seviyelerindeki faunaların paleontolojik incelemesi Özsayar (1977, 1980, 1983 ve 1984), tarafından yapılmış olup birime Sarmasiyen yaşı verilmiştir. Yine birim içerisindeki marnlı seviyelerden alınan örneklerin paleontolojik incelemesinden elde edilen verilerde (Tayin: A. İnal, 1985 ve G. Saraç, 1986) Formasyon'un yaşı Sarmasiyen olarak verilmiştir.

Pazar Formasyonu litolojik ve paleontolojik özelliklerinden dolayı gittikçe sığlaşan denizel bir ortamda çökelmiştir. Özellikle formasyonun üst düzeylerinde gözlenen yanal ve düşey yöndeki litolojik değişimler, birimin karasal (flüvyal) özellikteki çökellere geçtiğini ve Sarmasiyen sonunda tamamen karasal bir ortama dönüştüğünü göstermektedir.

3.2.5. Taraça ve Alüvyon

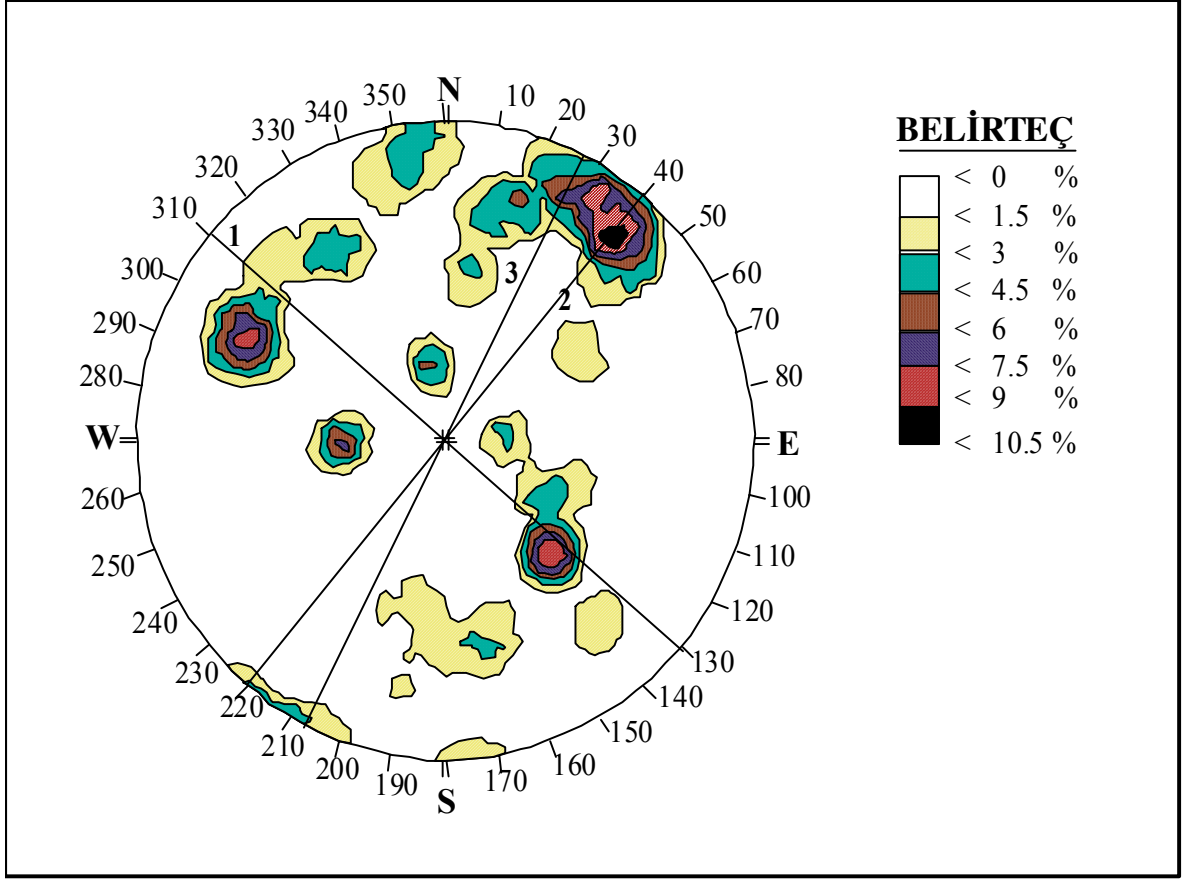
Jeolojik olarak en üstteki birimi taraça ve alüvyonlar oluşturmaktadır. Taraça ve alüvyonlar daha çok büyük dere yatakları ve denize yakın kesimlerde görülmektedir. Bunlar alttaki yaşlı birimlerden türeyen değişik boyuttaki volkanik kökenli kum ve çakıllardan oluşmuş, kötü boylanmalı güncel oluşuklardır. Çalışma alanında en geniş yayılımı Büyükdere (Sabuncular ve Beyazsu) alüvyonları göstermektedir. Bu alüvyonlar yaklaşık 250-500 m genişliğinde bir yayılım gösterirler. Alüvyonların kalınlığı yapılan rezistivite ölçümlerine dayanarak 40 m olarak belirlenmiştir (Dilek, 1979).

3.3. Yapısal Jeoloji

Pontid tektonik birliğinin kuzey zonunda yer alan inceleme alanında tamamen magmatik kayalardan oluşan birimler yüzeylemektedir. Bu nedenle büyük ölçekli kıvrımlı yapılar gelişmemiştir. Buna karşılık bölgede kırık tektoniği hakim olup, yaklaşık KD-GB doğrultulu büyük ölçekli faylar gelişmiştir. Bu faylanma nedeniyle inceleme alanında Geç Kretase yaşlı Hemşindere Formasyonu ile Eosen yaşlı Melyat Formasyonu tektonik dokanaktır.

İnceleme alanında tabakalı yapılar sadece Hemşindere Formasyonu'ndaki tortul birimlerde gözlenmiştir. Farklı alanlarda çok az yüzeyleme veren bu birimlerde tabakalanma çoğu kez belirsiz olup, kireçtaşı seviyelerinde 5-25 cm, kumtaşı ve marnlarda ise 30-50 cm kalınlığında tabakalara rastlanmıştır. Madenli ve Gölünpos Tepe (Kalyoncular) civarında gözlenen kireçtaşlarının tabaka doğrultuları KD-GB, eğimleri 22° - 35° KB'ya doğrudur. Hemşindere Formasyonu içerisindeki tüflerde yer yer tabakalı yapı gelişmiştir. Tabaka kalınlıkları 15-40 cm arasında değişmektedir. Tabaka duruşları yersel, çok küçük ölçekli kıvrımlanmalar nedeniyle değişiklik göstermektedir. Tabakaların doğrultuları $K30^{\circ}$ - 50° D, eğimleri ise 20° - 40° KB'dır.

Çalışma alanında geniş yayılım gösteren Hemşindere Formasyonu'ndan alınan çatlak ölçüleri kontur diyagramında değerlendirilerek, söz konusu birimlerde yaygın olan çatlak konumları belirlenmiştir (Şekil 22).



Şekil 22. Hemşindere Formasyonu'ndan alınan çatlak ölçülerinden yararlanarak çizilen çatlak kontur diyagramı (Alt yarı küre).

Şekil 22 incelendiğinde, hakim çatlak konumlarının $K48^0B/80^0GB$, $K38^0D/60^0KB$ ve $K27^0D/75^0GD$ olduğu görülmektedir.

İnceleme alanında daha az bir alanda yüzeyleme veren Melyat Formasyonu'nda aglomeraların yaygın olması nedeni ile, yeterli ölçü alınamadığından yaygın çatlak konumları belirlenememiştir.

3.4. Ayrışma

Ayrışma, yeryüzü ve yeryüzüne yakın derinliklerde fiziksel, kimyasal ve biyolojik olayların etkisiyle kaya ya da zemin malzemelerindeki parçalanma ve alterasyonu ifade etmektedir (Anon, 1995).

Aslında mineral ve kayalar oluştuğu çevresel koşullar değişmediği sürece dengededirler. Ancak çevresel koşulların jeolojik zaman süreci içerisinde büyük değişiklikler geçirmesi mineral ve kayaların duraylılığını etkilemekte ve değişen çevre koşullarına uymak için bir takım dönüşümler geçirmektedirler. Bu dönüşümler de ayrışma sürecini oluşturmaktadır.

Yeryüzüne yakın çevrede meydana gelen kimyasal koşullar ve gerilme, sırasıyla kayanın fiziksel olarak parçalanması ve kimyasal alterasyonu ile sonuçlanmaktadır. Fiziksel ve kimyasal koşullar üzerinde önemli bir etkiye sahip bir takım biyolojik süreçler de kayaların ayrışmasına eşlik etmektedir. Sıcaklık ve yağış gibi iklimsel faktörler ayrışmayı kontrol eden unsurlar arasındadır. Bu iklimsel faktörlerde meydana gelen değişiklikler de kayalardaki ayrışmayı etkilemektedir (Ollier, 1979).

Kimyasal ayrışmanın temel süreçlerinin tamamı suyun varlığına bağlıdır. Bunun yanında mineralojik bileşim ve doku da kimyasal ayrışmayı etkilemektedir. Genel olarak belirtmek gerekirse iyi derecelenmiş, yüksek poroziteli ve geçirimli kayalar, kötü derecelenmiş, düşük poroziteli ve nispeten geçirimsiz kayalara oranla ayrışmaya karşı daha hassastır.

Zamansal ölçek dikkate alındığında ayrışma, jeolojik süreçte ayrışma ve mühendislik zamanında ayrışma olarak ikiye ayrılmaktadır. Kayaların oluşumundan günümüze kadarki süreçte geçirdikleri değişimler jeolojik süreçte ayrışma olarak ifade edilmektedir. Mühendislik zamanındaki ayrışma ise, insan aktiviteleri, hidrosfer ve atmosfer etkisi altındaki yapı malzemesinin zaman içerisinde parçalanması ve bozunması olarak tanımlanmaktadır (Fookes, 1991).

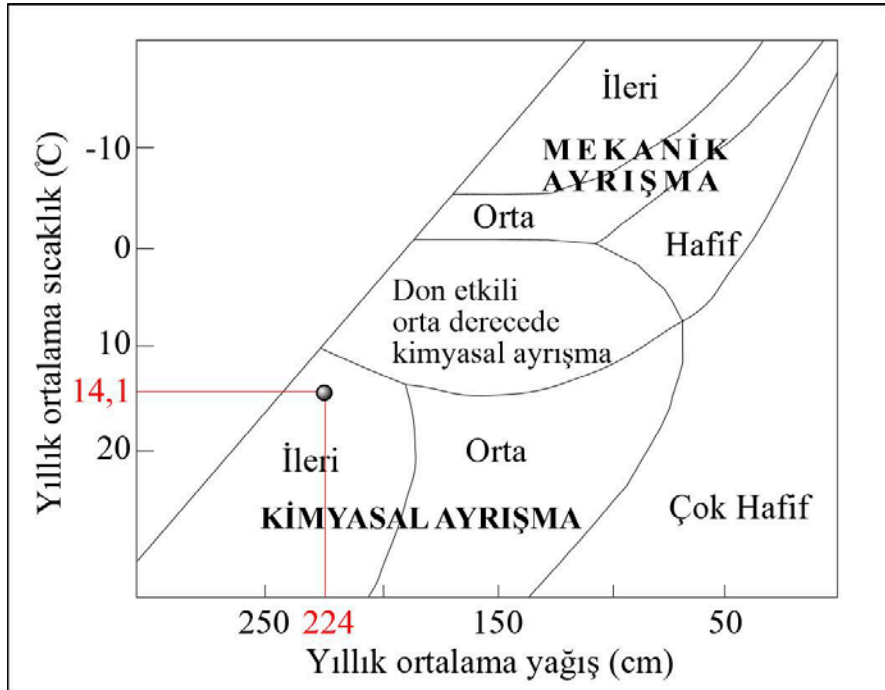
Jeolojik süreçteki değişiklikler, atmosfer ve hidrosferdeki yüzeysel etkilerle oluşan yüzeysel ayrışma ve hidrotermal sıvılar ve gazların etkisiyle oluşan hidrotermal alterasyon olarak ikiye ayrılmaktadır.

Yüzeysel ayrışma yeryüzü ya da yeryüzüne yakın derinliklerde kaya ve toprak malzemesinde yüzeysel etkilerle oluşan ve renk, şekil, doku, yapı ve bileşimde gözlenen değişimlerdir. Hidrotermal alterasyon ise, yeryüzünden derinlere sızan suların veya

magmatik kökenli su ve gazların etkisi ile mineral ve kayalardaki bozunmadır. Hidrotermal alterasyon derinden yüzeye doğru gelişirken, yüzeysel ayrışma yüzeyden derinlere doğru gelişmektedir (İrfan, 1981).

3.4.1. Çayeli ve Çevresindeki Kayaların Ayrışma Tanımlaması ve Sınıflandırılması

Jeomorfolojik amaçlı mühendislik jeolojisi çalışmalarında, kayaların tanımlanması ve amaca yönelik olarak sınıflandırılması son derece önemlidir. Özellikle iklimsel koşulların ön plana çıktığı çalışma alanında aşırı yağışların etkisiyle kayalarda yüzeysel ayrışma büyük öneme sahiptir. Dolayısıyla çalışma kapsamında inceleme alanındaki kayaların ayrışma durumlarının tanımlanması ve ayrışma sınıflandırmalarının yapılması gerekli görülmüştür. Öncelikle bölgedeki yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri olan iklimsel verilerden yararlanarak etkili olan ayrışma türü belirlenmiştir. Bu konuda Peltier (1950) tarafından önerilen ve günümüzde de geçerli olan (Fowler ve Peterson, 2004), diyagramdan faydalanılmıştır (Şekil 23).



Şekil 23. Peltier (1950) diyagramına göre çalışma alanında etkili olan ayrışma türü.

İnceleme alanında, meteorolojik verilere göre yıllık ortalama sıcaklık değeri 14.1 °C ve yıllık ortalama yağış 2238 mm dir. Bu değerler dikkate alındığında, inceleme alanında ileri derecede kimyasal ayrışmanın etkili olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada kayaçların ayrışma durumları arazide yapılan gözlemler ve basit fiziksel deneylerle (Schmidt Çekici) belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrışma durumlarının belirlenmesinde ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflandırma yöntemi dikkate alınmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. ISRM (1981) tarafından önerilen ayrışma sınıflandırması ve tanımlama kriterleri

Ayrışma Derecesi	Ayrışma Sınıfı	Tanımlama Kriterleri
I	Taze	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Kayanın orijinal durumunda bir değişiklik yoktur. ✓ Ayrışma belirtisi olarak bazı süreksizlik yüzeylerinde çok az renk bozulması görülmektedir.
II	Az Ayrışmış	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Kaya yüzeyinde hafifçe renk değişimi, kaya direncinde zayıflama.
III	Orta Derece Ayrışmış	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Kaya direncinde önemli ölçüde zayıflama, süreksizlik yüzeylerinde derine doğru renk değişimi. ✓ Devamlılık ve ara uzaklık önemli ölçüde azalmış.
IV	Yüksek Derece Ayrışmış	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Büyükçe kayaç parçaları elle kırılabilir. ✓ Kuru parçalar suya daldırıldığında kolayca dağılmazlar.
V	Tamamen Ayrışmış	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Kayaç direncinde önemli ölçüde zayıflama. ✓ Su içerisinde kolayca dağılma. ✓ Kayacın orijinal tekstürü kısmen görülmekte.
VI	Kalıntı Toprak	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Yerinde ayrışma ile toprak oluşumu. ✓ Kayacın orijinal doku ve tekstürü tamamen kaybolur.

Bu sınıflandırma sistemine göre kayaçlar altı sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar; “Taze”, “Az Ayrışmış”, “Orta Derecede Ayrışmış”, “Yüksek Derecede Ayrışmış”, “Tamamen Ayrışmış” ve “Kalıntı Toprak” tır.

İnceleme alanında kayaçlar ayrışma derecelerine göre sınıflandırılırken taze kayaç örneklerine rastlanamamıştır. Ayrıca tamamen ayrışmış ve kalıntı toprak sınıfları net olarak ayrılamadığı için bu iki sınıf beraber değerlendirilmiş ve tamamen ayrışmış olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 24).

Kayaların sınıflandırılması ve tanımlanması birbiriyle ilişkili olmasına karşın, temelde amaçları farklıdır. Sınıflandırmada ilk aşama, ilgili parametre ve özelliklerin belirlenmesi ve kayacın bu parametre ve özelliklere göre tanımlanmasıdır. Kayacın tanımlanması, kayacın o andaki durumunun belirlenmesi anlamını taşır. Ayrışmış kayacın mühendislik amaçları için tanımlanması, kayacın o andaki bozunma etkilerinin derecesi, kapsamı ve özelliklerinin tüm yönleriyle belirlenmesi anlamına gelmektedir. Tanımlamada kaydedilen bilgiler, ayrışmış kayacın mühendislik özellikleri hakkında sağlıklı yaklaşımda bulunulmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla, tanımlamaların mümkün olduğunca sayısal yapılması önerilmektedir (Hencher ve Martin, 1982; ISRM, 1981).

Ayrışmış kayaçların sınıflandırılması, kayaçların tanımlanması ile yapılabilmektedir. Ancak, arazide standart ayrışma ölçeklerinde bulunmayan özelliklere rastlanması, sınıflandırmaların kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Literatürde bulunan sınıflandırma yöntemlerinin aynı şekilde kullanılmadığı, kişiden kişiye değişen farklılıklar göstermesi, bu durumun incelenen arazideki ayrışma profilinin kalınlığına, kullanıcıların bilgi ve deneyimine bağlı olarak ele alındığını göstermektedir (Anon, 1995).



Şekil 24. İnceleme alanında kayalardaki farklı ayrışma dereceleri.

AA; Az ayrışmış, ODA; Orta derecede ayrışmış, YDA; Yüksek derecede ayrışmış, TA; Tamamen ayrışmış.

3.4.2. Ayrışmış Kayaçların Jeoteknik Özellikleri

İnceleme alanında tamamen ayrıışmış kayaç zonlarından alınan örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde laboratuarda deneyler yapılarak zemin malzemelerinin indeks özellikleri, tane boyu dağılımları, kıvam limitleri ve kayma dayanımı parametreleri belirlenmiştir.

Burada bir hususu özellikle belirtmek gerekmektedir. Zemin malzemesinin jeoteknik özellikleri çok dar alanlarda bile önemli derecede değişiklikler göstermektedir. Özellikle orta ve bölgesel ölçekli duyarlılık haritaları ile ilgili çalışmalarda alanı yansıtacak nitelikte yeterli bir jeoteknik çalışmanın yapılması zaman ve maliyet açısından değerlendirildiğinde hemen hemen imkansızdır. Dolayısıyla burada belirlenen özelliklerin benzer litoloji ve ayrışma derecesindeki tüm alanı göstermesi ya da temsil etmesi sözkonusu değildir. Bu belirlenen özellikler sadece örnek alınan alan için geçerli olup genel anlamda tanımlayıcı niteliktedir.

3.4.2.1 İndeks Özellikleri

Tamamen ayrıışmış kayaçların özgül ağırlığı (ρ), tane birim hacim ağırlığı (γ_s), doğal birim hacim ağırlığı (γ_n), doymun birim hacim ağırlığı (γ_d), kuru birim hacim ağırlığı (γ_k), su muhtevası (ω), porozite (n), boşluk oranı (e), doymunluk derecesi (S_r) gibi indeks özellikleri ASTM 1985 standardı kullanılarak laboratuarda yapılan deneylerle belirlenmiş ve elde edilen değerler Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Tamamen ayrıışmış kayaçların indeks özellikleri.

Litoloji ve Ayrışma Derecesi	İndeks Özellikleri							
	γ_s (gr/cm ³)	ω (%)	γ_n (gr/cm ³)	γ_d (gr/cm ³)	γ_k (gr/cm ³)	n (%)	e (%)	S_r (%)
TA-ANBA	2.47	44.76	1.49	1.68	1.14	53.84	117	95
TA-DA	2.52	43.35	1.67	1.75	1.25	50.39	102	106
TA-GR	2.51	26.6	1.85	1.91	1.51	39.84	66	101

TA-ANBA; Tamamen ayrıışmış andezit-bazalt ve piroklastları

TA-DA; Tamamen ayrıışmış dasit ve piroklastları

TA-GR; Tamamen ayrıışmış granit, granodiyorit

3.4.2.2. Tane Boyu Dağılımları

Çalışmada zemin örneklerinin tane boyutlarını belirlemek ve sınıflandırmak için yıkamalı elek analiz ve hidrometre yöntemi uygulanmıştır. Zemin örneği içerisinde ince ve iri taneli malzemenin birlikte bulunduğu göz önüne alınarak tane çapı 76.2 mm ile 0.074 mm arasında olan kısım yıkamalı elek analizine tabi tutulmuş, 200 No'lu elek (0.074 mm) altında kalan malzemenin mekanik olarak elenmesi mümkün olmadığı için bu malzemeye hidrometre analizi uygulanmıştır. Çalışmada ASTM (1985) tarafından önerilen standartlar kullanılmıştır.

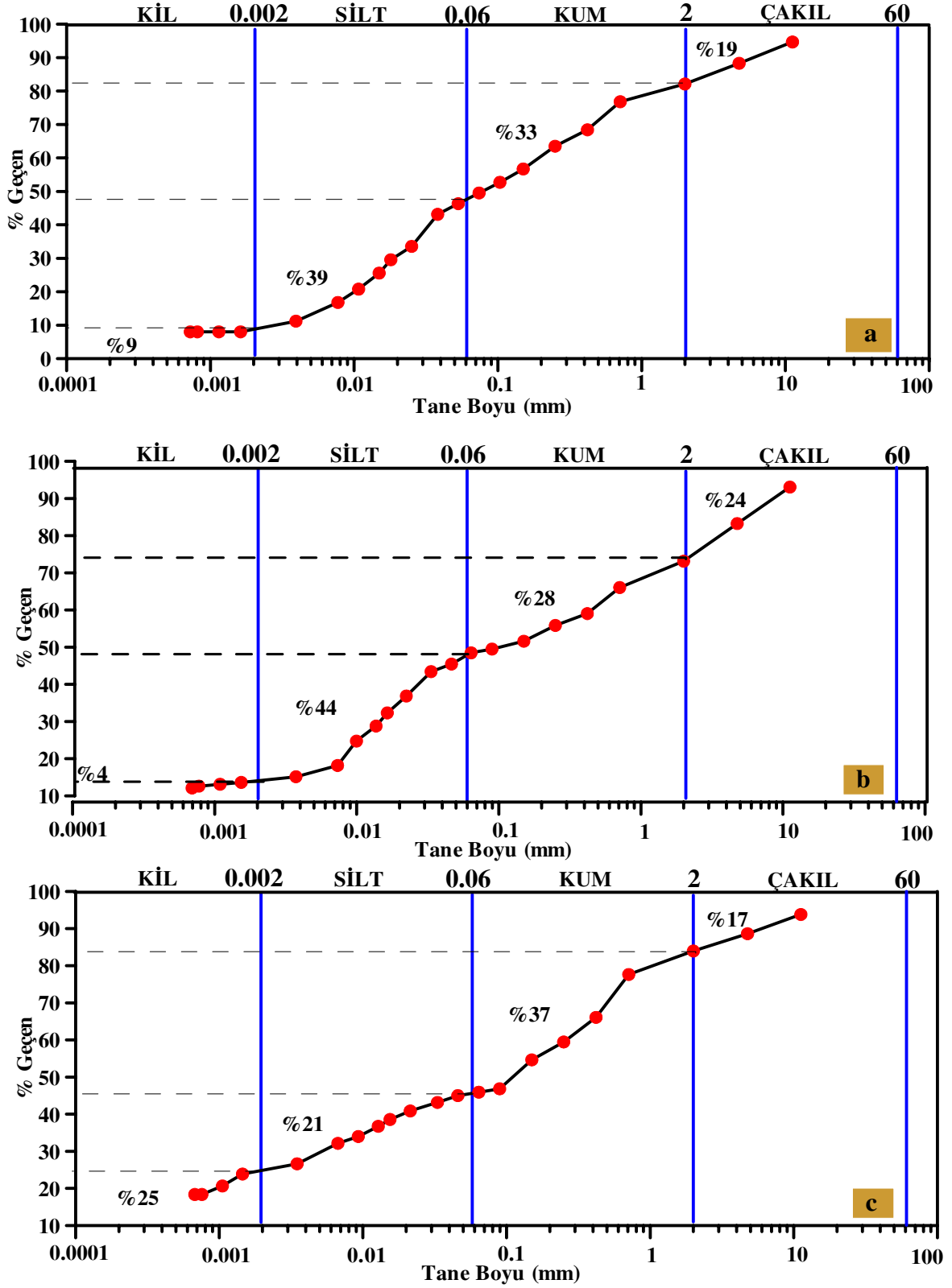
Elde edilen verilerden yararlanarak incelenen ayrıışmış zeminlere ilişkin tane boyu dağılım eğrileri hazırlanmış ve tane boyu dağılımları belirlenmiştir (Şekil 25).

3.4.2.3. Kıvam Limitleri

Kıvam, kohezyonlu zeminlerin sertlik-yumuşaklık durumunu ve zeminin su muhtevsındaki değişime göre davranışını ifade eden bir kavramdır. İnce taneli zeminler, artan su muhtevası değerine göre katı durum, yarı katı durum, plastik durum ve likit (akışkan) halde olabilirler. Zeminin katı halden likit hale geçtiği durumlara, dolayısıyla bunları ayıran su muhtevası değerlerine Atterberg (kıvam) limitleri adı verilir.

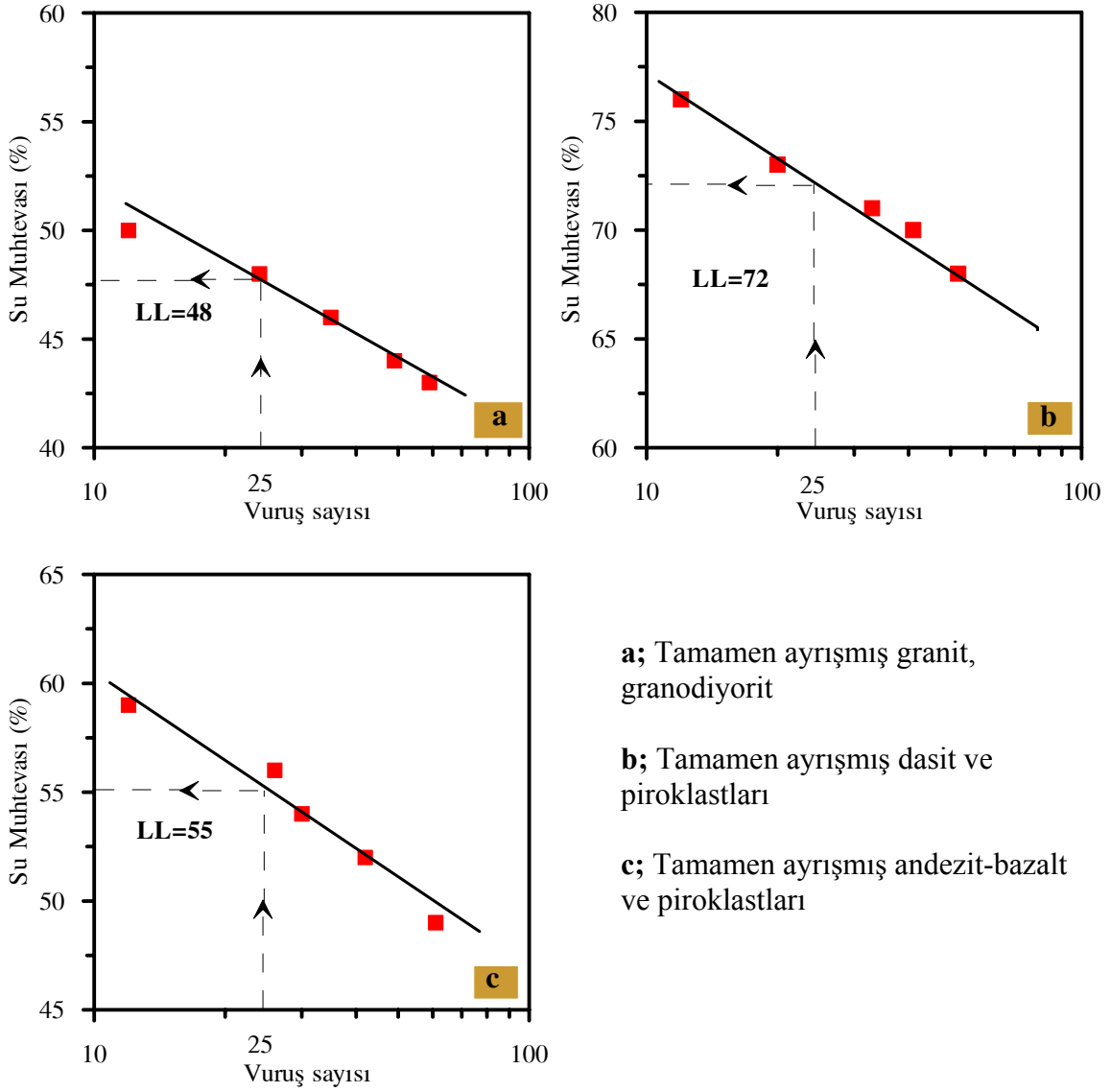
Çalışmada zemin özelliğinde davranış gösteren malzemelerden alınan numunelerin likit limitleri, Casagrande deneyi ile ASTM (1985) standartlarına uygun olarak yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 26'da verilmiştir.

Plastik limit deneyi her bir örnek için 3 defa tekrarlanmış ve belirlenen su muhtevası değerlerinin ortalaması alınarak plastik limit değerleri saptanmıştır (Tablo 8).



Şekil 25. İncelenen zemin malzemelerinin granülometri eğrileri.

- a; Tamamen ayrılmış granit, granodiyorit,
- b; Tamamen ayrılmış dasit ve piroklastları,
- c; Tamamen ayrılmış andezit-bazalt ve piroklastları.



Şekil 26. İncelenen zemin örneklerinin likit limit değerlerine ait grafikler.

Deney sonuçlarından elde edilen likit limit değerleri dikkate alınarak, IAEG (1976) tarafından önerilen likit limit değerine göre zemin sınıflandırma sistemi kullanılmış ve incelenen zeminler plastisite özelliklerine göre sınıflandırılmıştır (Tablo 7).

Tablo 7. IAEG'nin (1976) Likit limit değerine göre zemin sınıflaması.

Plastisite Özelliği	Likit Limit Değeri (%)
Düşük plastisiteli	<35
Orta plastisiteli	35-50
Yüksek plastisiteli	50-70
Çok yüksek plastisiteli	70-90
Çok daha yüksek plastisiteli	>90

Tablo 7’de verilen sınıflandırma sistemine göre, incelenen zemin örneklerinden tamamen ayrılmış granit ve granodiyoritler “orta plastisiteli”, tamamen ayrılmış dasit ve piroklastları “çok yüksek plastisiteli” ve tamamen ayrılmış andezit-bazalt ve piroklastları ise “yüksek plastisiteli” zemin olarak sınıflandırılmıştır.

Tamamen ayrılmış kayaçların tane boyutları ve kıvam limitleri esas alınarak, zemin malzemesi Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması Sistemi’ne (USCS) göre sınıflandırılmıştır (Tablo 8).

Tablo 8. Tamamen ayrılmış kayaçların (USCS)’e göre sınıflandırılması.

Litoloji ve Ayrışma Derecesi	200 nolu Elekten Geçen Zemin % si	4 nolu Elekten Geçen Zemin % si	LL	PL	PI	Zemin Sınıfı
TA-GR	46	88	48	23	25	SC
TA-DA	43	83	72	30	42	SC
TA-ANBA	47	89	55	26	29	SC

TA-GR: Tamamen ayrılmış granit, granodiyorit

TA-DA: Tamamen ayrılmış dasit ve piroklastları

TA-ANBA: Tamamen ayrılmış andezit-bazalt ve piroklastları

Tablo 8 incelendiğinde tamamen ayrılmış kayaçların killi-kum (SC) sınıfında yer aldığı görülmektedir.

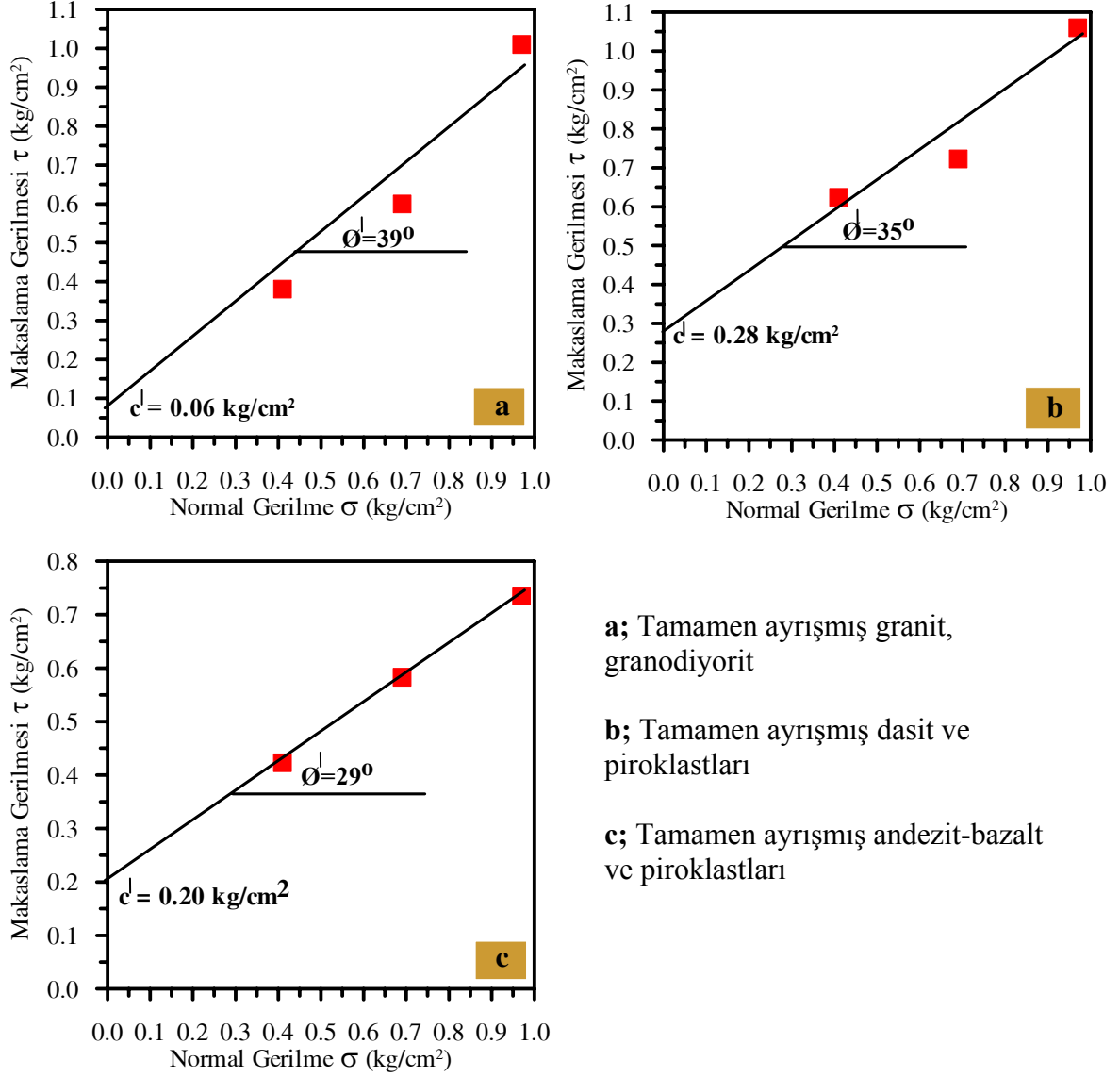
3.4.2.4. Kayma Dayanımı

Zeminlerin kayma dayanımı, zemine uygulanan yük altında zemin tanelerinin birbirine göre rölatif hareketlerine gösterdikleri direnç olup, özellikle şev duraylılığına yönelik çalışmalarda kullanılan önemli bir parametredir.

Tamamen ayrılmış zeminlerin kayma dayanım parametreleri olan kohezyon ve içsel sürtünme açıları laboratuarda gerçekleştirilen kesme kutusu deneyi ile belirlenmiştir. Deney konsolidasyonlu-drenajlı koşullarda yapılmış ve deneyde 0.05 mm/dak sabit makaslama kuvveti hızı uygulanmıştır. Kesme kutusu deneyi ASTM (1990) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Kare kesitli iki parçadan oluşan kutu içerisine yerleştirilen zemin önce konsolidasyona tabi tutulmuştur. Daha sonra sabit normal gerilme ve artan kesme kuvveti uygulanmıştır. Deney süresince numunenin ortasından geçen düzlem boyunca zemin

kaymaya zorlanmış ve kesilmesi sağlanmıştır. Deneyler 3 farklı düşey yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda elde edilen veriler kullanılarak grafikler hazırlanmış ve ayrılmış zemin malzemelerinin efektif kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri belirlenmiştir (Şekil 27).



Şekil 27. İncelenen zemin örneklerinin kayma dayanımı parametrelerini belirleme grafikleri.

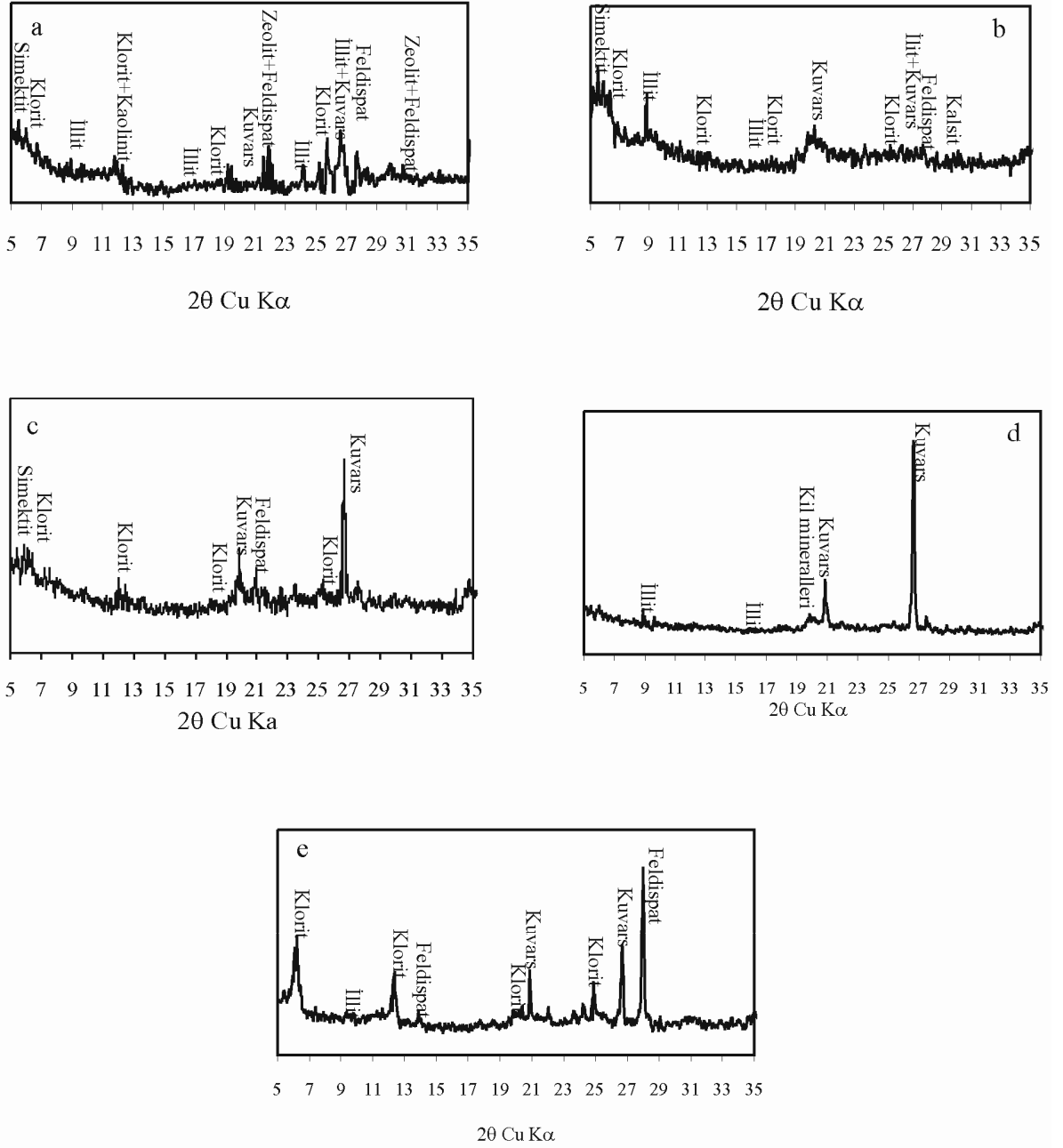
3.4.3. Ayrılmış Kayaçların Kil Mineral Türlerinin Tayini

Çalışma alanındaki kayaçların yüksek derecede ayrılmış ve tamamen ayrılmış kısımlarından alınan örneklerin x-ışınları difraktogramları çekilerek mineral bileşimleri

belirlenmiştir. Gündoğdu ve Yılmaz (1984) tarafından önerilen yöntemler uygulanarak kayaç örneklerinin kil boyutundaki mineralojik bileşimleri belirlenmiştir. Bu işlem ana hatları ile kırma, öğütme, kimyasal çözme ve kil fraksiyonunun kazanılması aşamaları ile yapılmıştır. Çekiç ile 2-3 cm boyutlarında kırılan kayaç örnekleri çeneli kırıcıda 0.5-1 cm boyutlarına indirilmiştir. Daha sonra öğütücü ile 5-10 μ 'un altına düşmeyecek şekilde öğütülmüştür. Kimyasal çözme yoluyla karbonatlar, organik madde ve amorf silis gibi, kil olmayan mineraller örnek içerisinde uzaklaştırılmıştır.

Yıkama işlemi gerçekleştirilerek kil boyutu malzeme elde edilmiştir. Kil boyutundaki malzemeden yaklaşık 1 gr. alınarak, XRD aletinin örnek kalıbına konulmuş ve bastırılarak sıkıştırılmıştır. Bu şekilde hazırlanmış örnekler 3-70° (2 θ) aralığında ölçülmüştür. Örneklerin grafikleri Rigaku Dmax 3C model difraktometre aletinde çekilmiş ve bu şekilde kil mineral türleri tayin edilmiştir (Şekil 28).

Andezit-bazalt ve piroklastlarından alınan örneklerin kil bileşenleri değişik araştırmacıların (Wilson, 1987; Esliger ve Pevear, 1988; Moore ve Reynolds, 1989) çalışmalarından da yararlanılarak, tamamen ayrılmış örnekte simektit, klorit, illit ve kaolinit olarak belirlenirken (Şekil 28a), yüksek derecede ayrılmış örnekte simektit, klorit ve illit belirlenmiştir (Şekil 28b). Kil minerallerinden illit minerali 10 Å (001) ve 5 Å'daki (002) temel yansımaları, klorit 14 Å, 7 Å, 4.72 Å ve 3.53 Å'daki temel yansımaları, kaolinit 7.15 Å (001) ve 3.57 Å (002)'daki temel yansımaları, simektit 15 Å'daki (001) temel yansımaları ile tanımlanmıştır (Şekil 28). Dasit ve piroklastların tamamen ayrılmış kısmından alınan örnekte simektit, klorit, kaolinit ve illit (Şekil 28c), yüksek derecede ayrılmış alanlarından alınan örnekte ise illit saptanmıştır (Şekil 28d). Granitik kayaçlardan alınan tamamen ayrılmış örnekte klorit ve illit tespit edilmiştir (Şekil 28e). Dolayısıyla, tamamen ayrılmış örneklerde kil minerallerinin yüksek derecede ayrılmış örneklere oranla fazlalık ve çeşitlilik gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 28. Yüksek derecede ve tamamen ayrılmış kayalardan elde edilen kil fraksiyonlarının yönsüz X-ışınları difraktogramları.

- a- Tamamen ayrılmış andezit-bazalt ve piroklastları,
- b- Yüksek derecede ayrılmış andezit-bazalt ve piroklastları,
- c- Tamamen ayrılmış dasit ve piroklastları,
- d- Yüksek derecede ayrılmış dasit ve piroklastları,
- e- Tamamen ayrılmış granit

3.5. Çayeli ve Çevresinin Heyelan Duyarlılık Analizi

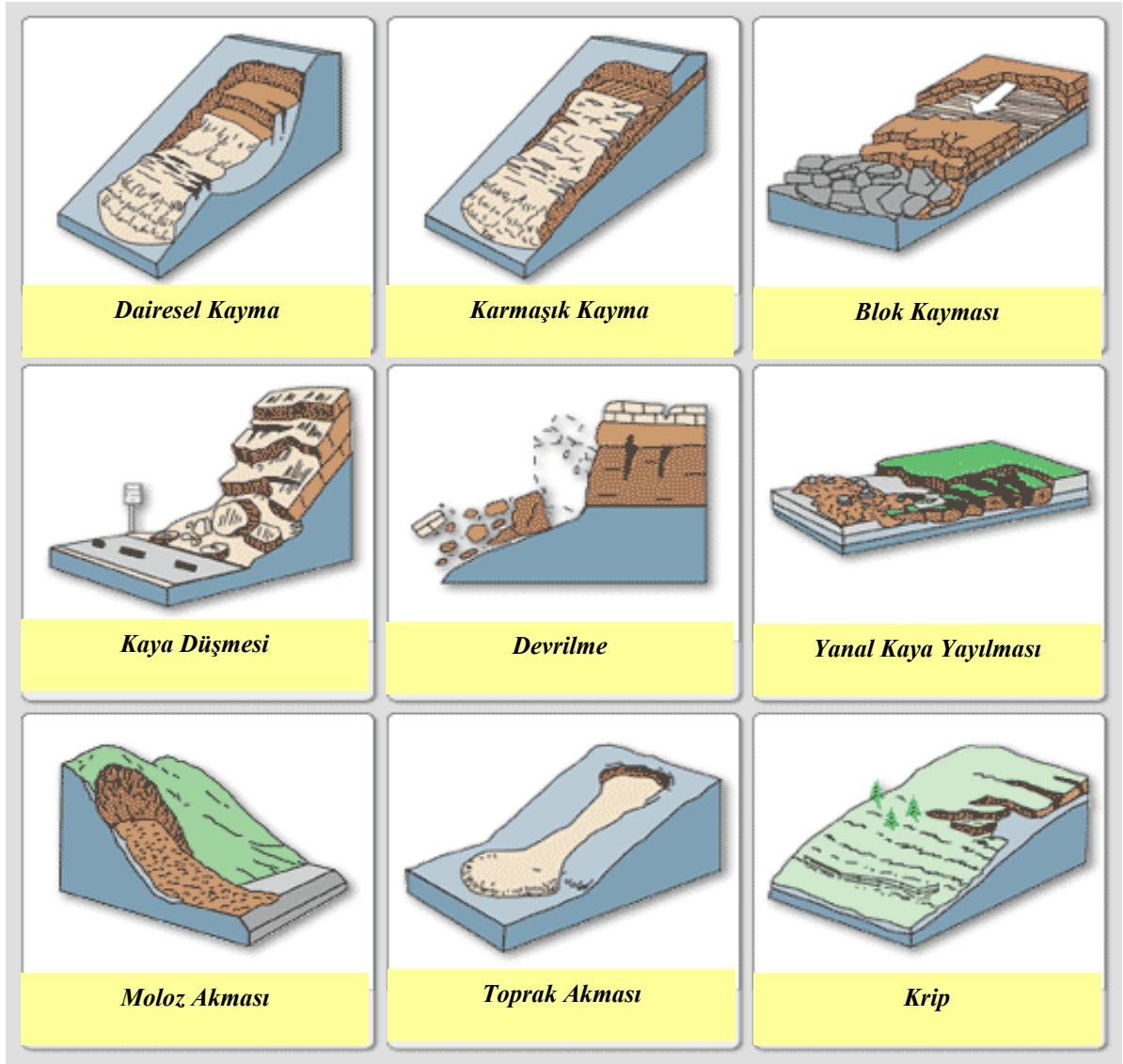
3.5.1. Kütle Hareketleri ve Genel Özellikleri

Heyelanlar ya da daha genel anlamda kütle hareketleri, jeolojik, jeomorfolojik, iklim vb. nedenler ve insan aktivitelerine bağlı olarak yamaç dengesinin bozulması sonucunda meydana gelmektedir. Literatürde heyelanlara ilişkin değişik tanımlamalar mevcuttur. Bunlar içerisinde yaygın olarak kullanılan ve genel kabul gören bir tanımlama Varnes, (1978) tarafından yapılmıştır. Bu tanıma göre heyelan, bir yamacı oluşturan kaya, toprak veya moloz türündeki malzemelerin farklı nedenlerden dolayı yer çekimi (gravite) etkisi ile yamaç aşağı doğru hareket etmesidir. Bu tanımlamadan da anlaşılacağı üzere kütle hareketlerinin esas nedeni yer çekimi etkisidir. Doğal ve insan aktiviteleri ile ilişkili diğer nedenler ise kütle hareketini hazırlayan, tetikleyen ve aynı zamanda türünü belirleyen etkenlerdir.

Farklı nedenler ve mekanizmalarla oluşan ve bir dizi olaylara bağlı olarak gelişen kütle hareketlerini sınıflandırmak çok da kolay değildir. Çünkü kütle hareketleri, hareketin hızı ve şekli, hareket eden malzemenin türü, kayma yüzeyinin şekli, hareketin nedenleri gibi özelliklere bağlı olarak farklı biçimde isimlendirilmektedir (Şekil 29). Konu ile ilgilenen araştırmacılar tarafından, kütle hareketlerinin belirtilen özellikleri esas alınarak, sınıflandırmalar yapılmıştır. En genel ve temel sınıflandırma Varnes (1978) ve ardından Hutchinson (1988) tarafından yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda EPOCH (European Community Programme) bu araştırmacıların yapmış oldukları sınıflandırmaları esas alarak 1993 yılında kütle hareketlerinin sınıflandırılmasına yönelik güncel sınıflama sistemini önermişlerdir (Tablo 9).

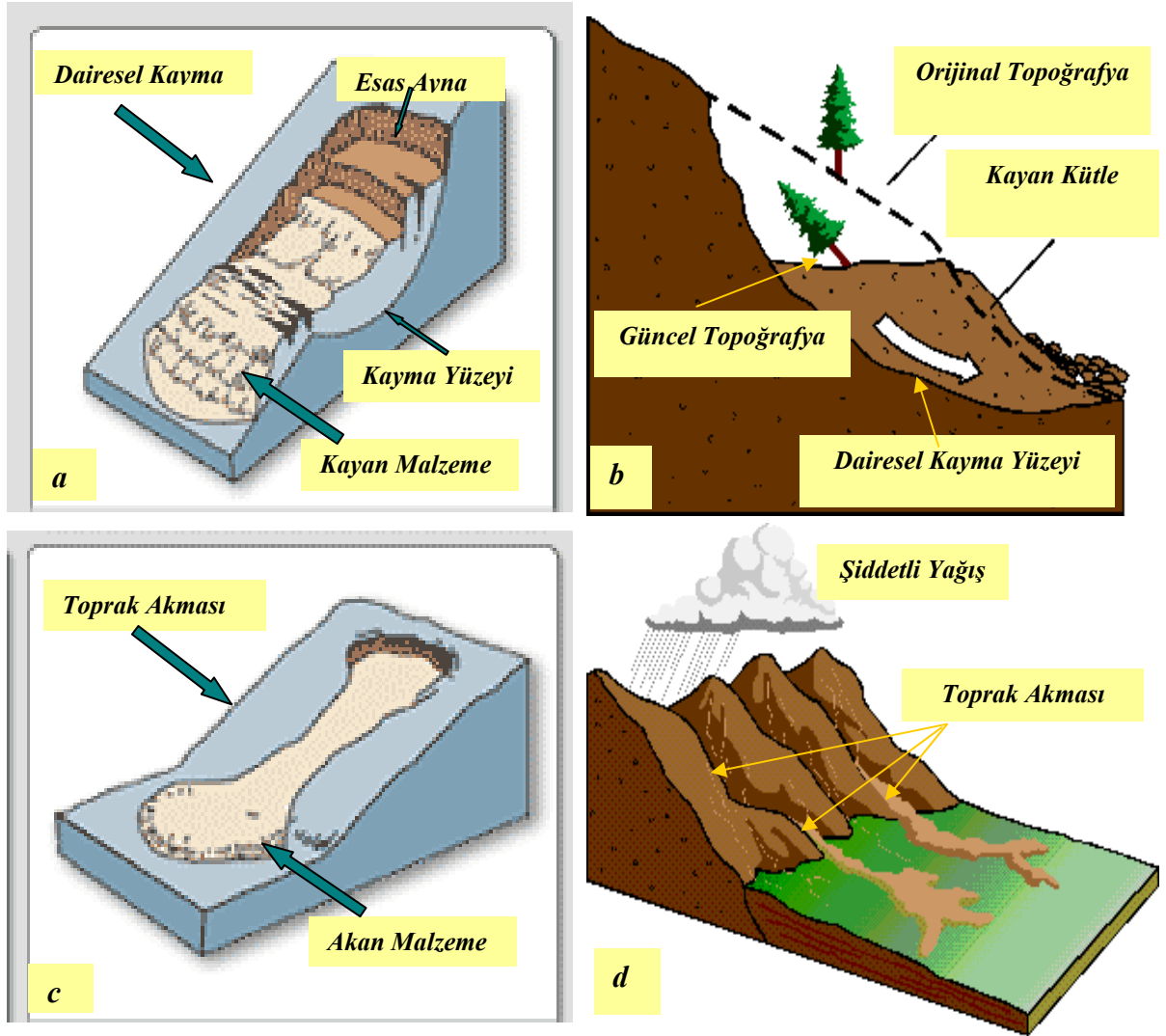
Tablo 9. Kütle hareketlerinin sınıflandırılması EPOCH (1993)

TÜR	KAYAÇ	MOLOZ	TOPRAK
Düşme	Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Toprak Düşmesi
Devrilme	Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Toprak Devrilmesi
Kayma (Dairesel)	Tekil Çoklu Ardışık	Tekil Çoklu Ardışık	Tekil Çoklu Ardışık
Kayma (Düzlemsel)	Kaya Kayması	Moloz Kayması	Toprak Kayması
Kayma (Düzlemsel Olmayan)	Blok Kayması	Blok Kayması	Dilimli Kayma
Yanal Yayılma	Kaya Yayılması	Moloz Yayılması	Toprak Yayılması
Akma	Kaya Akması	Moloz Akması	Toprak Akması
Karmaşık Kayma	2 veya daha fazla türdeki heyelan birlikte oluşmaktadır.		

Şekil 29. Farklı türlerde gelişen bazı kütle hareketlerine ait blok diyagramlar (<http://www.teara.govt.nz>).

sonra doymun hale geçmesi ile ya da akarsuların şev topraklarını aşındırıp, zayıflatması ve üstteki malzemenin aşağıya doğru hareket etmesi ile gerçekleşmektedir.

Çalışma alanındaki heyelanların çoğunu toprak akmaları oluşturmaktadır. Yapılan arazi çalışmaları ile bu tür heyelanların özellikle çaylık alanlar içerisinde, nispeten orta derecede eğimli ve ayrışma derinliğinin çok fazla olmadığı alanlarda geliştiği belirlenmiştir. Heyelanlar kil boyutundan silt, kum ve çakıl boyutlarında değişen taneler içeren malzeme içerisinde meydana gelmiştir. Yine saha gözlemleri ile çoğunlukla bu tür heyelanların hareket yönüne dik olarak su akışının mevcut olduğu belirlenmiştir. Aşırı yağışlardan sonra artan yüzey sularının bu tür heyelanların oluşumunda önemli derecede etkileri olduğu düşünülmektedir.



Şekil 31. Çalışma alanında gözlenen heyelan türlerine ait blok diyagram ve şematik şekiller (<http://www.em.gov.bc.ca/Mining/GeolSurv/Surficial/landslid/ls2.htm>).

3.5.3. Heyelan Duyarlılık Analizinde Kullanılan Parametreler

3.5.3.1. Heyelan Envanteri

Heyelan envanter haritaları, arazideki mevcut heyelanların alansal dağılımını gösteren haritalardır. Bu tür haritalarda heyelanların türleri, yerleri ve biliniyorsa oluşma zamanları belirtilmektedir. Heyelan duyarlılık, tehlike ya da risk haritaları hazırlamada başarılı bir çalışma yapabilmek için ilk aşamayı mevcut heyelan alanlarının tespiti oluşturmaktadır. Bu durum analiz için iyi bir veri tabanı gerektiren istatistiksel yöntemler açısından daha büyük önem taşımaktadır.

Çayeli yöresinde özellikle 23 Temmuz 2002 ve takip eden birkaç günlük sürede gerçekleşen şiddetli ve aşırı yağışlar neticesinde çok sayıda heyelan meydana gelmiştir. Bu kaymalar sonucunda Çayeli ve çevresinde önemli boyutta ekonomik zararlar ve can kaybı olmuştur. Yöre insanları ile yapılan ikili görüşmelerde yağışın daha güneybatıda bulunan Güneysu ilçesinden itibaren güneyden kuzeye doğru adeta belirli bir hat boyunca etkili olduğu ve heyelanlarında bundan dolayı özellikle bu hat boyunca sıralanan köy ve mahallelerde gerçekleştiği belirtilmiştir. Bu durum, arazi çalışmaları sırasında heyelan alanları tespit edilirken de açıkça görülmüştür. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen heyelan envanter haritası da bu tarihlerde meydana gelen heyelanları içermektedir.

İnceleme alanında yapılan saha çalışmaları sonucunda 149 adet heyelan belirlenmiştir. Bu heyelanların alanları 1/25000 ölçekli topoğrafik haritada gerçek boyutları ile gösterilemeyecek kadar küçüktür (Tablo 10). Bundan dolayı mevcut heyelanlar, envanter haritasında ölçek göz önüne alınmaksızın, el GPS aleti ile ölçülen, heyelan başlangıç bölgesinin koordinat değerleri dikkate alınarak haritaya işaretlenmiştir (Şekil 32).

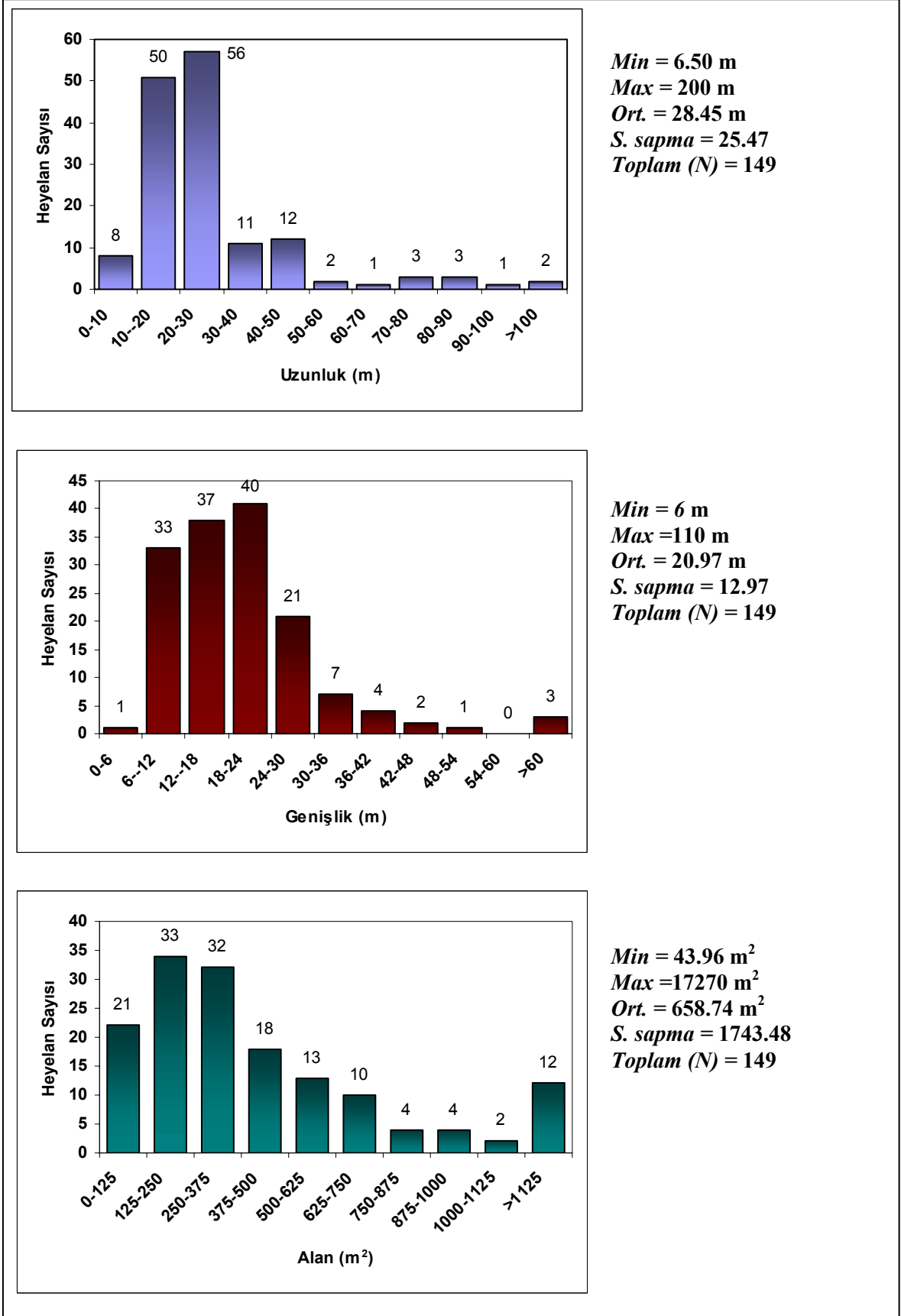
Heyelan alanlarının hesaplanmasında da, daha önce benzer uygulamalardan yararlanarak (Bulut vd., 1993) her bir heyelanın başlangıç ve kabarma bölgesi arasında kalan alan göz önüne alınmış ve bu alanın yaklaşık yarım elips şeklinde olduğu kabul edilmiştir.

Tablo 10. Çalışma alanında tespit edilen heyelanların alanları

No	Alan (m ²)	No	Alan (m ²)	No	Alan (m ²)	No	Alan (m ²)
1	469	39	883	77	236	115	303
2	922	40	397	78	277	116	80
3	2717	41	1837	79	413	117	256
4	256	42	942	80	1178	118	100
5	637	43	73	81	448	119	692
6	429	44	307	82	286	120	147
7	358	45	659	83	199	121	754
8	141	46	194	84	173	122	785
9	302	47	163	85	439	123	280
10	794	48	146	86	601	124	82
11	154	49	204	87	87	125	168
12	64	50	253	88	212	126	69
13	318	51	208	89	725	127	424
14	277	52	57	90	137	128	1319
15	11877	53	234	91	321	129	151
16	714	54	255	92	1005	130	366
17	522	55	2198	93	404	131	151
18	337	56	1620	94	423	132	1527
19	424	57	136	95	667	133	1531
20	572	58	91	96	604	134	126
21	44	59	445	97	110	135	286
22	114	60	332	98	339	136	314
23	188	61	207	99	1002	137	66
24	508	62	196	100	518	138	703
25	302	63	320	101	132	139	382
26	285	64	208	102	573	140	150
27	136	65	521	103	308	141	550
28	70	66	287	104	127	142	583
29	94	67	615	105	455	143	403
30	736	68	226	106	177	144	93
31	300	69	477	107	241	145	294
32	536	70	144	108	356	146	162
33	871	71	471	109	236	147	540
34	138	72	107	110	353	148	4337
35	440	73	191	111	633	149	707
36	365	74	282	112	103		
37	309	75	188	113	17270		
38	1397	76	920	114	392	Toplam	98151 m²

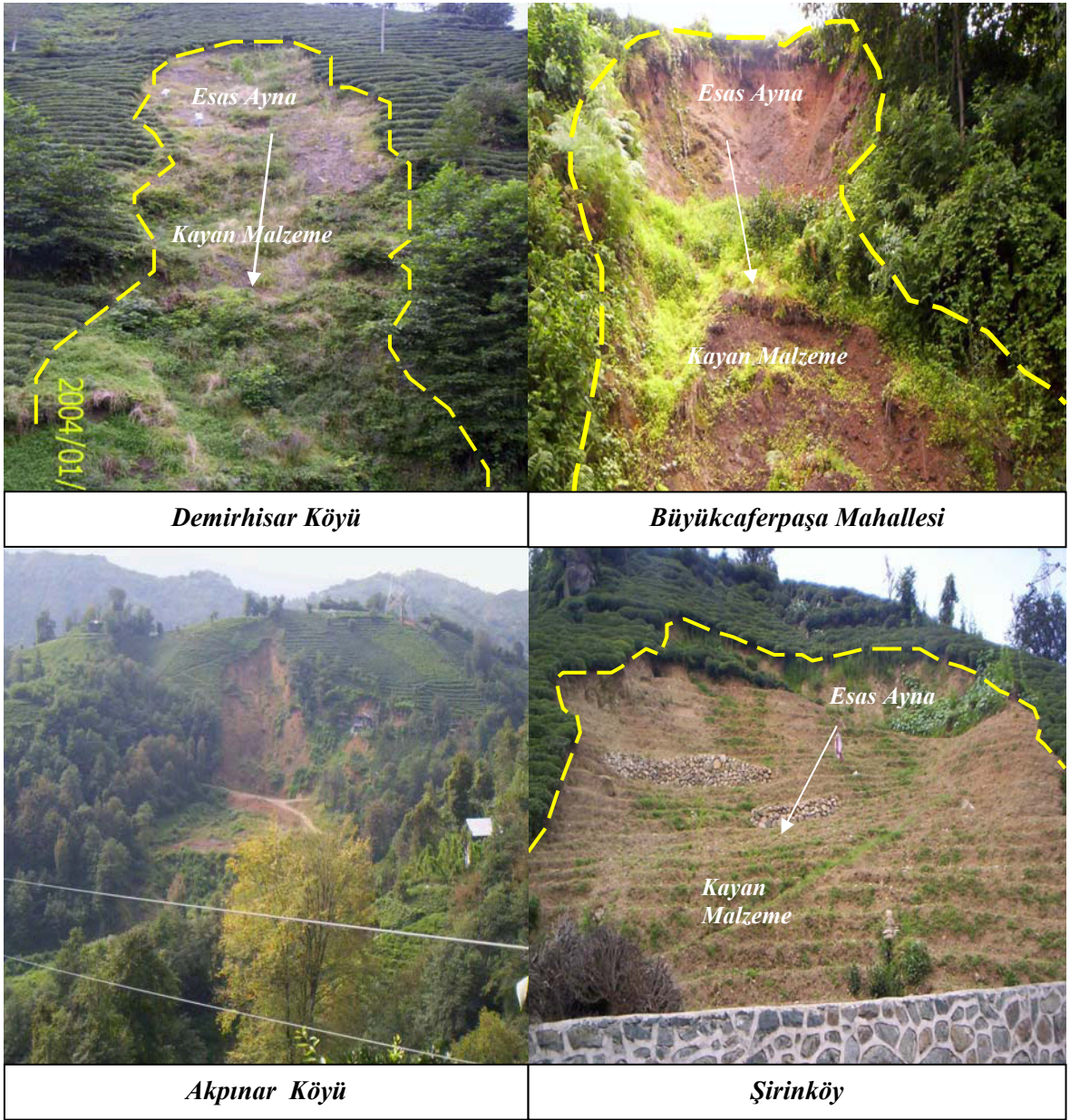
Arazi çalışmaları süresince mevcut heyelanların boyutları ölçülmüş, uzunlukları, genişlikleri ve alansal değişimleri hazırlanan histogramlarda verilmiştir (Şekil 33).

Şekil 33 incelendiğinde mevcut heyelanların yaklaşık % 80'inin 10-30 m arasında uzunluklara ve 6-24 m arasında değişen genişliklere sahip olduğu görülmektedir. Bütün ölçülen değerler dikkate alındığı durumda ortalama uzunlukları 28.45 m ve ortalama genişlikleri 20.97 m olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki tespit edilen 149 adet heyelanın alansal ortalamaları 658.74 m² ve toplam alanları 98151 m² olarak belirlenmiştir.



Şekil 33. Heyelanların uzunluk, genişlik ve alanlarına ilişkin histogramlar.

Çalışma alanı içerisinde tespit edilen heyelanlar, daha ziyade akma şeklinde olup hareket eden malzeme yüzeyden itibaren fazla derinliğe sahip değildir (Şekil 34). Çoğu çaylık alanlar içerisinde gelişen bu heyelanlı alanlar, çay bitkisinin kısa sürelerde yetişmesi dolayısıyla kapanmaktadır. Gerek mevcut heyelanlara ait alanların küçük olması gerekse bu alanların çabuk kapanması gibi nedenlerden dolayı heyelan envanter haritasının hazırlanmasında hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri gibi uzaktan algılama teknikleri yerine direk arazi çalışmalarından yararlanılmıştır. Bu şekilde heyelan envanter haritasının hazırlanması her ne kadar güç ve zaman alıcı olsa da, bu haritanın çalışma alanına ait koşullar dikkate alındığında daha yüksek veri kalitesi içerdiği düşünülmektedir.



Şekil 34. Çalışma alanındaki heyelanların görünümü

3.5.3.2. Litoloji-Ayrışma

Heyelanların oluşabileceği jeolojik malzemenin özellikleri, duraysızlık modellerini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle yapılacak olan değerlendirmeler duraysızlık modelleri gözönünde bulundurularak gerçekleştirilmelidir. Yamaç ya da şevlerin duraylılığını etkileyen en önemli parametrelerden biri de litolojidir. Çünkü farklı litolojik birimlerin kayma gerilmeleri ve su iletme özellikleri birbirinden farklıdır. Dolayısıyla bu birimlerin kaymaya karşı duyarlılığı da farklı olmaktadır.

Litolojik özellikler değerlendirilirken, ya doğrudan saha gözlemleri dikkate alınarak kişiye özgü, nitel değerlendirmeler yapılmakta ya da yamacı oluşturan malzemenin jeoteknik özellikleri belirlenerek nicel değerlendirmeler yapılmaktadır. Nicel değerlendirmelerin farklı bir türü de istatistiksel olarak çalışma alanındaki heyelanların hangi litolojik birimler içerisinde dağılım gösterdiğini belirlemektir.

Litolojik anlamda dikkate alınan önemli bir durum da kayaçların ayrışmalarıdır. Mineral ve kayaçlarda sonradan oluşan fiziksel ve kimyasal değişimleri ifade eden ayrışma, kaymayı etkileyen önemli faktörlerden biridir. Aynı litolojiye sahip birimler ayrışma derecelerindeki değişimlere göre farklı duraylılık özelliklerine sahiptir. Bu durum yapılan saha çalışmalarında açıkça görülmüştür. Arazide gözlenen mevcut heyelanlar çoğunlukla aynı litolojik birimlerin farklı ayrışma derecelerine ait sınıflarında farklılık sunmuştur. Özellikle tamamen ayrıışmış ve rezidüel zemin özelliğindeki malzemelerde heyelan sayısı, az veya orta derecede ayrıışmış litolojilere oranla çok fazladır.

Bu değerlendirmeler dikkate alınarak, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik olarak çalışma alanındaki litoloji ve ayrışma durumu titizlikle değerlendirilmiştir. Bu çalışmada kayaçların ayrışma durumları arazide yapılan gözlemler ve basit fiziksel deneylerle (Schmidt Çekici) belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrışma durumlarının belirlenmesinde ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflandırma yöntemi dikkate alınmıştır.

Litoloji ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi incelemek için litoloji-ayrışma haritası hazırlanmış ve bu harita üzerine arazide belirlenen heyelanlar işaretlenmiştir (Şekil 35).

Litoloji-ayrışma haritası litoloji ve ayrışma derecelerine göre farklı sınıflara ayrılmıştır. Daha sonra CBS yazılımları ArcView3.2 ve bunlara ait modüller kullanılarak çalışma alanındaki farklı ayrışma derecelerindeki birimlerin ve heyelanların kapladığı toplam alanların % dağılımı ile heyelan yoğunlukları (%) hesaplanmıştır (Tablo 11).

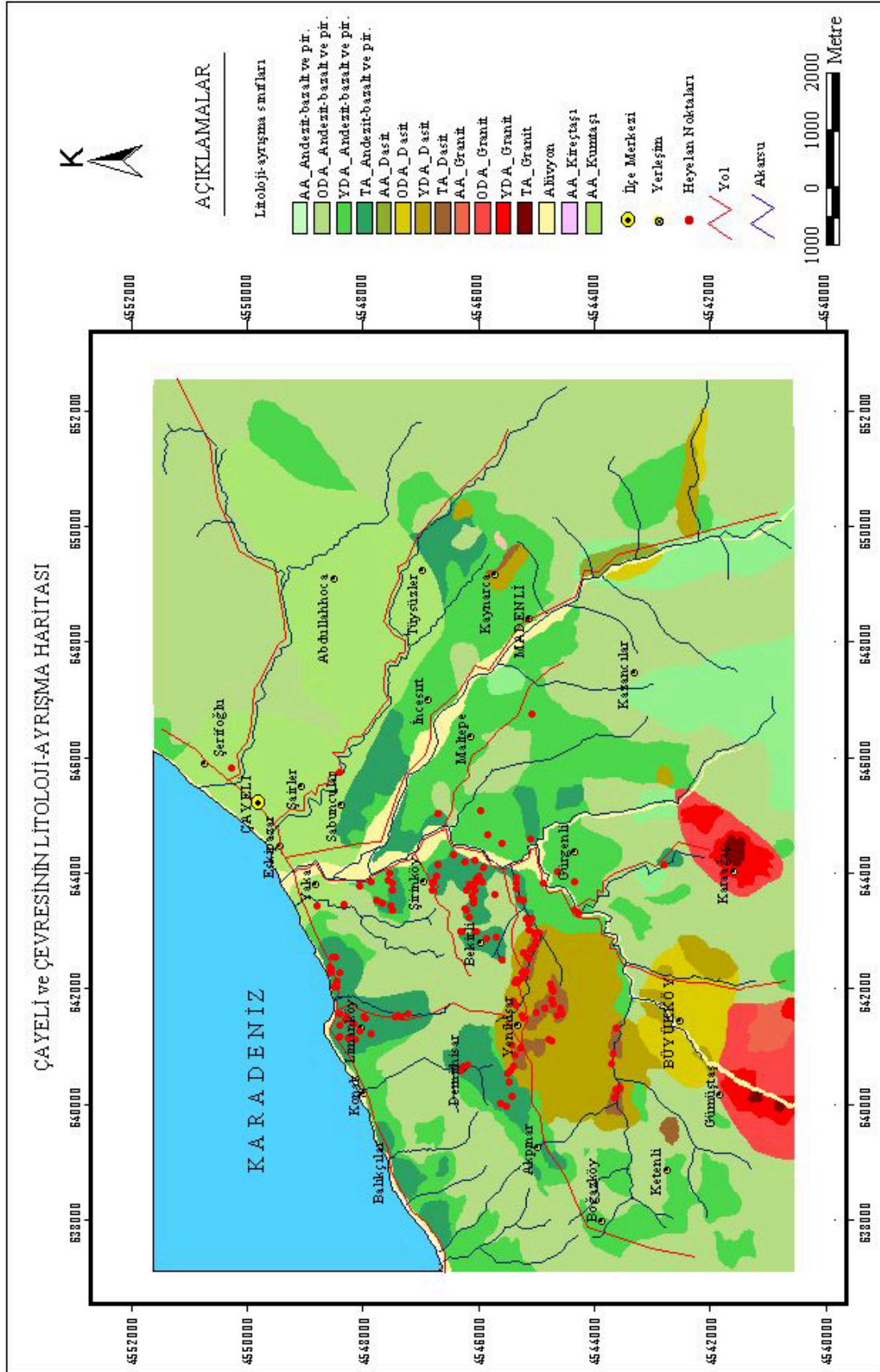
Tablo 11. Litoloji-ayırışma sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler

Litoloji Ayırışma	Piksel		Heyelanlı		Heyelan	
	Sayısı (A)	%A	Piksel (B)	%B	B/A	Yoğunluğu (%)
1	13101	5.15	0	0.00	0.000000	0.00
2	114157	44.84	4	2.68	0.000035	0.15
3	44941	17.65	10	6.71	0.000223	0.95
4	15291	6.01	81	54.36	0.005297	22.52
5	675	0.27	0	0.00	0.000000	0.00
6	4708	1.85	0	0.00	0.000000	0.00
7	13508	5.31	15	10.07	0.001110	4.72
8	2008	0.79	32	21.48	0.015936	67.74
9	891	0.35	0	0.00	0.000000	0.00
10	4880	1.92	0	0.00	0.000000	0.00
11	2357	0.93	1	0.67	0.000424	1.80
12	395	0.16	0	0.00	0.000000	0.00
13	7521	2.95	3	2.01	0.000399	1.70
14	76	0.03	0	0.00	0.000000	0.00
15	30101	11.82	3	2.01	0.000100	0.42
Toplam	254610	100	149	100	0.023524	100

Tablo 11'deki litoloji-ayırışma sınıfları; 1- Az ayırışmış andezit-bazalt ve piroklastları, 2- Orta derecede ayırışmış andezit-bazalt ve piroklastları,, 3- Yüksek derecede ayırışmış andezit-bazalt ve piroklastları, 4- Tamamen ayırışmış andezit-bazalt ve piroklastları, 5- Az ayırışmış dasit ve piroklastları, 6- Orta derecede ayırışmış dasit ve piroklastları, 7- Yüksek derecede ayırışmış dasit ve piroklastları, 8- Tamamen ayırışmış dasit ve piroklastları, 9- Az ayırışmış granit, 10- Orta derecede ayırışmış granit, 11-Yüksek derecede ayırışmış granit, 12- Tamamen ayırışmış granit, 13- Alüvyon, 14- Az ayırışmış kireçtaşı, 15- Az ayırışmış kumtaşı

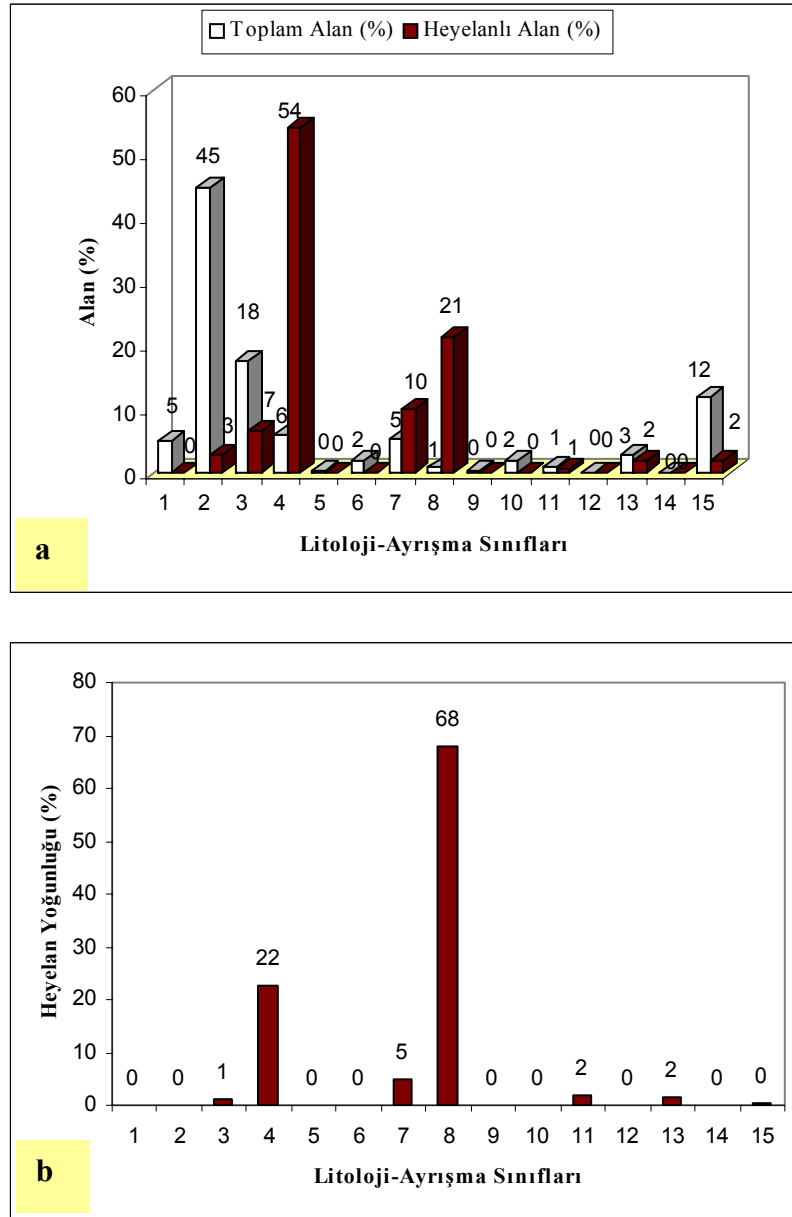
Tablo 11'de heyelan yoğunluklarının %'si hesaplanırken önce parametre sınıfı içerisindeki heyelanlı pikseller aynı parametre sınıfındaki piksel sayısına bölünmüştür. Bu şekilde her bir sınıf için B/A değerleri elde edilmiştir. Bu değerler toplanarak toplam B/A değeri bulunmuştur. Son olarak her bir sınıf için hesaplanan B/A değeri toplam B/A değerine bölünerek 100 ile çarpılmış ve heyelan yoğunluğu (%) değerleri elde edilmiştir (Ayalew ve Yamagishi, 2005). Benzer işlemler duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılacak olan tüm parametreler için gerçekleştirilmiştir.

Hesaplanan bu değerler dikkate alınarak histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 36 a,b). Histogramlar incelendiğinde (Şekil 36a); çalışma alanı içerisinde en fazla alana orta derecede ayırışmış andezit-bazalt ve piroklastları sahiptir. Tamamen ayırışmış andezit-bazalt ve piroklastları % 54 ile en fazla heyelanlı alana sahip sınıf özelliğindedir. Bu sınıfı % 21 ile tamamen ayırışmış dasit ve piroklastları izlemektedir.



Şekil 35. Çayeli ve çevresinin litolojî-ayrışma haritası

Heyelan yoğunlukları dikkate alındığında toplam alan içerisindeki dağılımları diğer birimlere oranla daha az olmasına rağmen mevcut alansal dağılım içerisindeki heyelanlı alanları fazla olduğu için tamamen ayrılmış dasit ve piroklastları en yüksek heyelan yoğunluğu (%) değerine sahiptir (Şekil 36b). Bu sınıfın heyelan yoğunluğu % 67.74 değerindedir. Bu yüksek değer aynı zamanda birimin heyelana olan hassasiyetinin de bir göstergesidir. Bu durum parametre sınıflarının ağırlık değerlerinin belirlenmesinde de açıkça görülmüştür.



Şekil 36. (a,b) Litoloji-ayrışma sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar

3.5.3.3. Topoğrafik Yükseklik

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmalarda, deniz seviyesinden olan yüksekliği temel alan topoğrafik yükseklik parametresi sıkça kullanılmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle çalışma alanını kapsayan 1/25000 ölçekli topoğrafik paftalar taranarak bilgisayar ortamına atılmıştır. Daha sonra bilgisayar ortamında eşyükseklik eğrileri 10 m aralıkla sayısallaştırılmıştır. Resim koordinatlarında elde edilen vektörel veriler, afin dönüşümü ile UTM (*Universal Transverse Mercator*) koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Daha sonra bu eğrilere yükseklik değerleri girilerek TIN (*Triangulated Irregular Network*) veri yapısında çalışma alanının üç boyutlu sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir (Şekil 37).

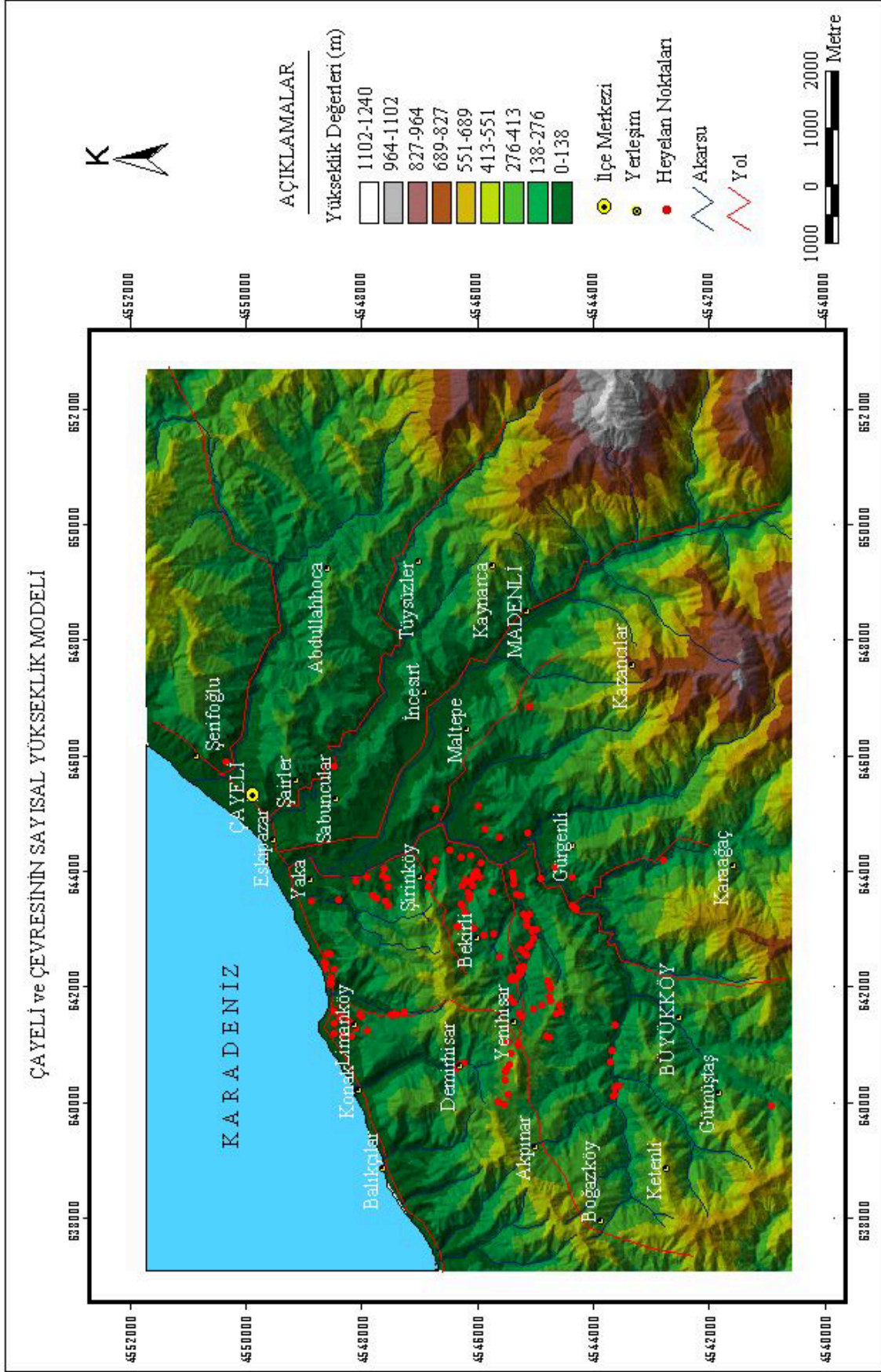
Daha sonra diğer topoğrafik parametrelerde olduğu gibi yükseklik parametresine ilişkin harita da sayısal yükseklik modelinden üretilmiştir (Şekil 38).

Üretilen yükseklik haritasında çalışma alanı yükseklik değerleri farklı olan 5 sınıfa ayrılmıştır. Daha sonra CBS yazılımları ArcView3.2 ve bunlara ait modüller kullanılarak çalışma alanındaki yükseklik sınıflarının ve heyelanların kapladığı alanlar ile heyelan yoğunlukları (%) hesaplanmıştır (Tablo 12).

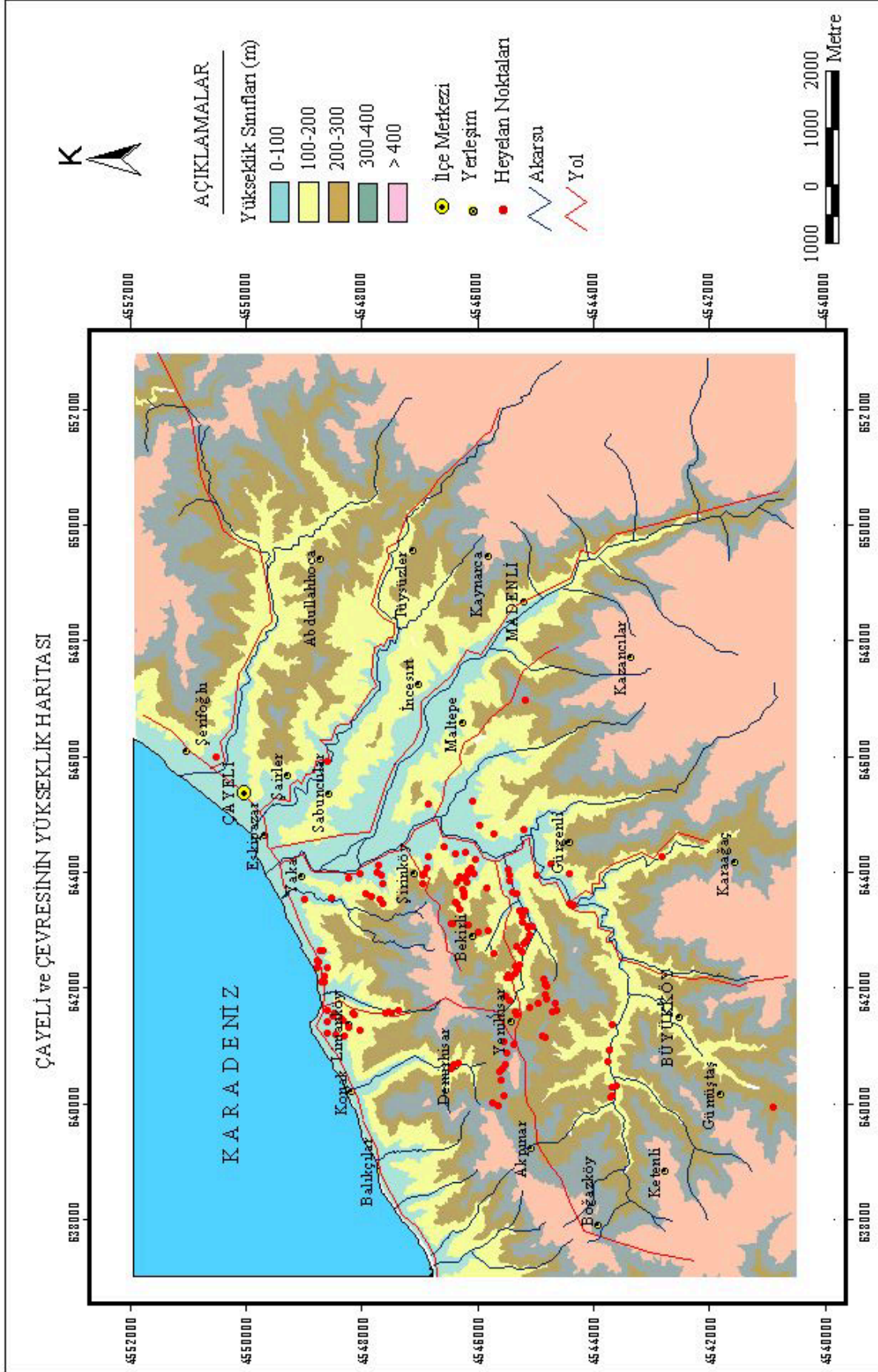
Tablo 12. Yükseklik sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler

Yükseklik Sınıfları (m)	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
0-100	25607	10.06	46	30.87	0.001796	45.87
100-200	46441	18.24	70	46.98	0.001507	38.49
200-300	57345	22.52	23	15.44	0.000401	10.25
300-400	47342	18.59	10	6.71	0.000211	5.39
> 400	77875	30.59	0	0.00	0.000000	0.00
Toplam	254610	100	149	100	0.003916	100

Tablo 12'deki değerlerden yararlanarak histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 39 a,b). Histogramlar incelendiğinde, çalışma alanının yaklaşık % 60 lık bir kesiminin yüksekliği 100-400 m arasında değişmektedir. İnceleme alanında 400 m'nin üzerindeki yükseklikler ise toplam alanın % 30'unu oluşturmaktadır. Heyelanlı alanların sınıflar arasındaki % dağılımları incelendiği zaman, mevcut heyelanların yaklaşık % 78'inin 0-200 m yükseklikleri arasında olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 39a).

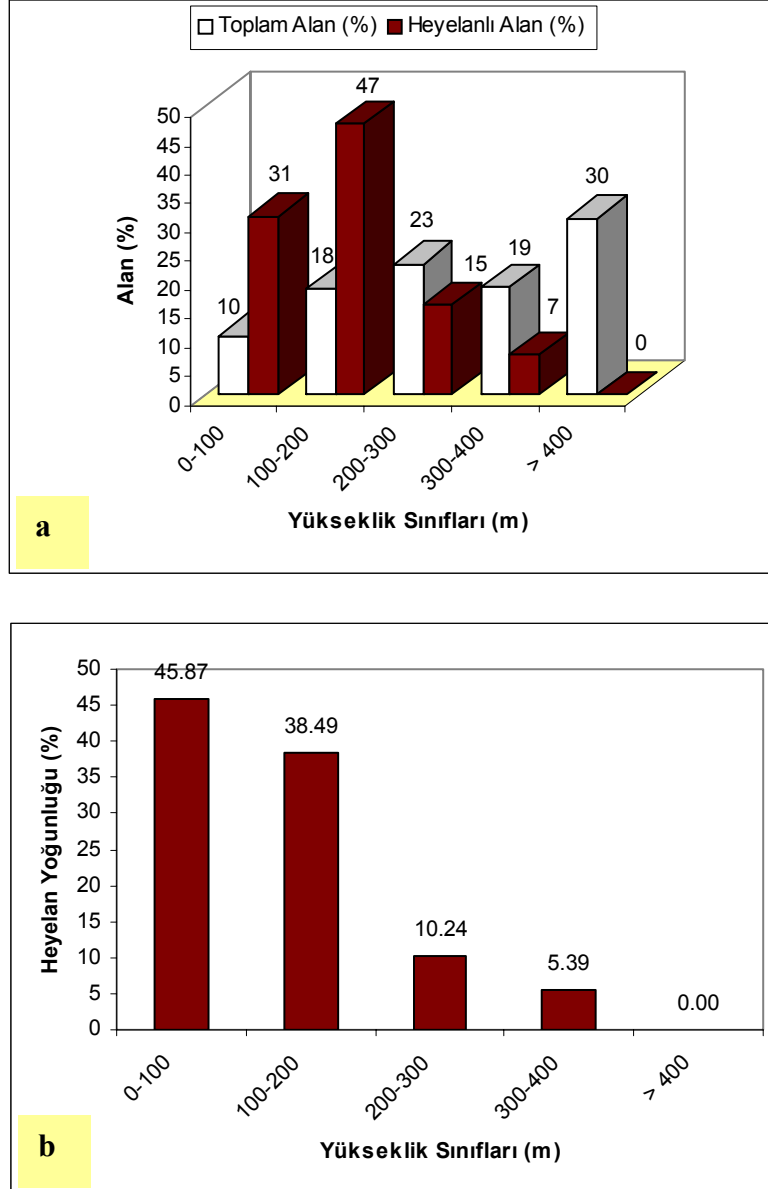


Şekil 37. Çayeli ve çevresinin sayısal yükseklik modeli.



Şekil 38. Çayeli ve çevresinin yükseklik haritası.

Yükseklige göre heyelan yoğunluğu (%) değerlendirildiğinde ise (Şekil 39b), 0-200 m yükseklikleri arasında heyelan yoğunluğunun çok yüksek olduğu (% 84) görölmektedir. Bu durumun yörede düşük kotlardaki alanlarda yapılan çay tarımından kaynaklandığı düşünölmektedir.



Şekil 39. (a,b) Yükseklik sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar.

3.5.3.4. Yamaç Eğimi

Yamaç ya da şevlerin eğimi, heyelanların oluşumunda direk etkili olup stabilite çalışmalarının esasını oluşturmaktadır. Yamaç eğimi kayma yüzeyindeki kayma ve normal gerilmeleri etkileyen asıl stabilite faktörüdür. Ayrıca, bu parametrenin kolaylıkla haritalanabilir nitelikte olması, eğim açısının duyarlılık çalışmalarında sıkça kullanılan bir özellik olmasının başlıca nedenlerindedir.

Yamaç eğimi ile heyelanlar arasındaki ilişkiyi incelemek için çalışma alanına ait sayısal yükseklik modelinden eğim haritası üretilmiştir (Şekil 40). Bu eğim haritası farklı sınıflara ayrılarak farklı eğim aralıkları belirlenmiştir. Çalışma alanında tespit edilen heyelanlar eğim haritası ile karşılaştırılarak eğim değerleri ile heyelanlar arasındaki ilişki belirlenmiştir.

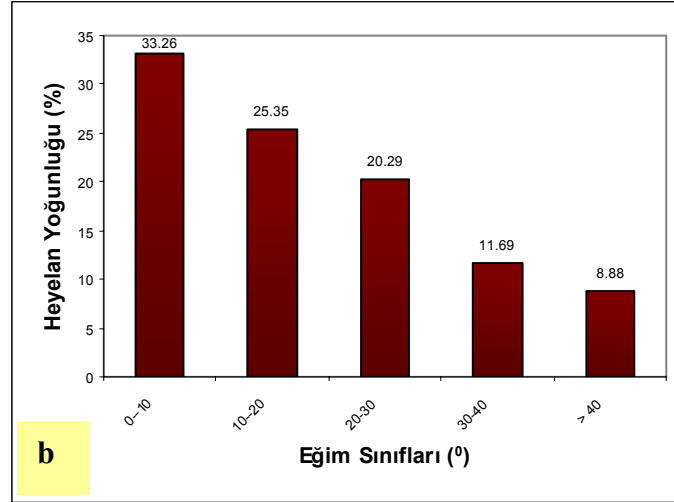
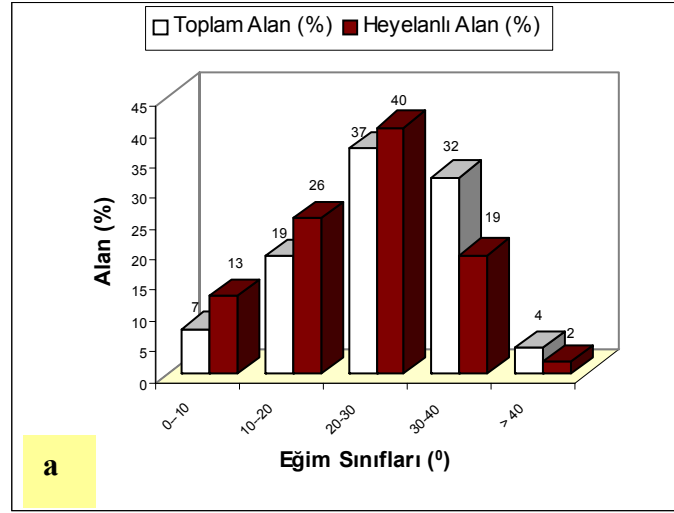
Üretilen eğim haritasında yamaç eğimleri dikkate alınarak 5 farklı eğim sınıfı ayrılmıştır. Daha sonra CBS yazılımları ArcView3.2 ve bunlara ait modüller kullanılarak çalışma alanındaki eğim sınıflarının ve heyelanların toplam alan içerisindeki dağılımları (%) ve heyelan yoğunlukları (%) hesaplanmıştır (Tablo 13).

Tablo 13. Eğim sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler

Eğim Sınıfları (°)	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
0-10	18698	7.34	19	12.75	0.001016	33.26
10-20	49073	19.27	38	25.50	0.000774	25.35
20-30	93998	36.92	60	40.27	0.000638	20.89
30-40	81779	32.12	29	19.46	0.000355	11.62
> 40	11062	4.34	3	2.01	0.000271	8.88
Toplam	254610	100	149	100	0.003055	100

Hesaplanan bu değerler dikkate alınarak histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 41a,b). Histogramlar incelendiğinde (Şekil 41a); çalışma alanındaki eğim değerleri 20 ila 40° arasında yoğunlaşmaktadır. Bu durum çalışma alanının çoğunlukla orta derecede eğim değerlerine sahip yamaçlardan oluştuğunu göstermektedir (Santacana vd. 2003). Bu aralığa karşılık gelen eğim değerlerinin toplam alan içerisindeki oranı yaklaşık % 70 civarındadır. Buna karşın heyelanlı alanlar dikkate alındığında mevcut heyelanların % 66'sı 10-30° arasında değişen eğim değerine sahip yamaçlarda gelişmiştir.

Heyelan yoğunluğu (%) değerleri dikkate alındığında özellikle düşük eğim değerine sahip yamaçlarda heyelan yoğunluğu yüksek çıkmıştır. 0-20⁰ arasında değişen yamaç eğimi sınıflarında heyelan yoğunluğu yaklaşık % 59 civarındadır (Şekil 41b). Bu durum çalışma alanında bu eğim aralığının heyelan oluşumunda önemli olduğunu belirtmektedir. Aynı zamanda bu eğim aralığına karşılık gelen alanlar yerleşim alanı ve yüksekliğin düşük olduğu alanlara karşılık gelmekte ve dolayısıyla da bu sınıf aralıklarında heyelan yoğunluğu % değerleri yüksek çıkmaktadır.



Şekil 41. (a,b) Eğim Sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar.

3.5.3.5. Yamaç Eğim Yönü (Bakı)

Yamaç eğim yönü (bakı), arazi yüzeyinin yönünü gösterir ve yüzeyin herhangi bir noktasındaki teğet düzleminin baktığı yön ile ifade edilir. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması ile ilgili çalışmalarda eğim yönü, sıkça kullanılan önemli bir parametredir. İnceleme alanında gözlenen mevcut heyelanların belli yönelime sahip yamaçlarda yoğunlaşması arazi gözlem ve incelemeleri ile tespit edilmiştir. Bu nedenle eğim yönü (bakı) parametresi değerlendirme kapsamına alınmıştır.

Yamaç eğiminde olduğu gibi çalışma alanına ait bakı haritası da sayısal yükseklik modelinden üretilmiştir (Şekil 42). Bu bakı haritası farklı eğim yönlerine göre sınıflandırılmıştır. Çalışma alanında tespit edilen heyelanlar bakı haritası ile karşılaştırılarak farklı bakı yönleri ile heyelanlar arasındaki ilişki belirlenmiştir.

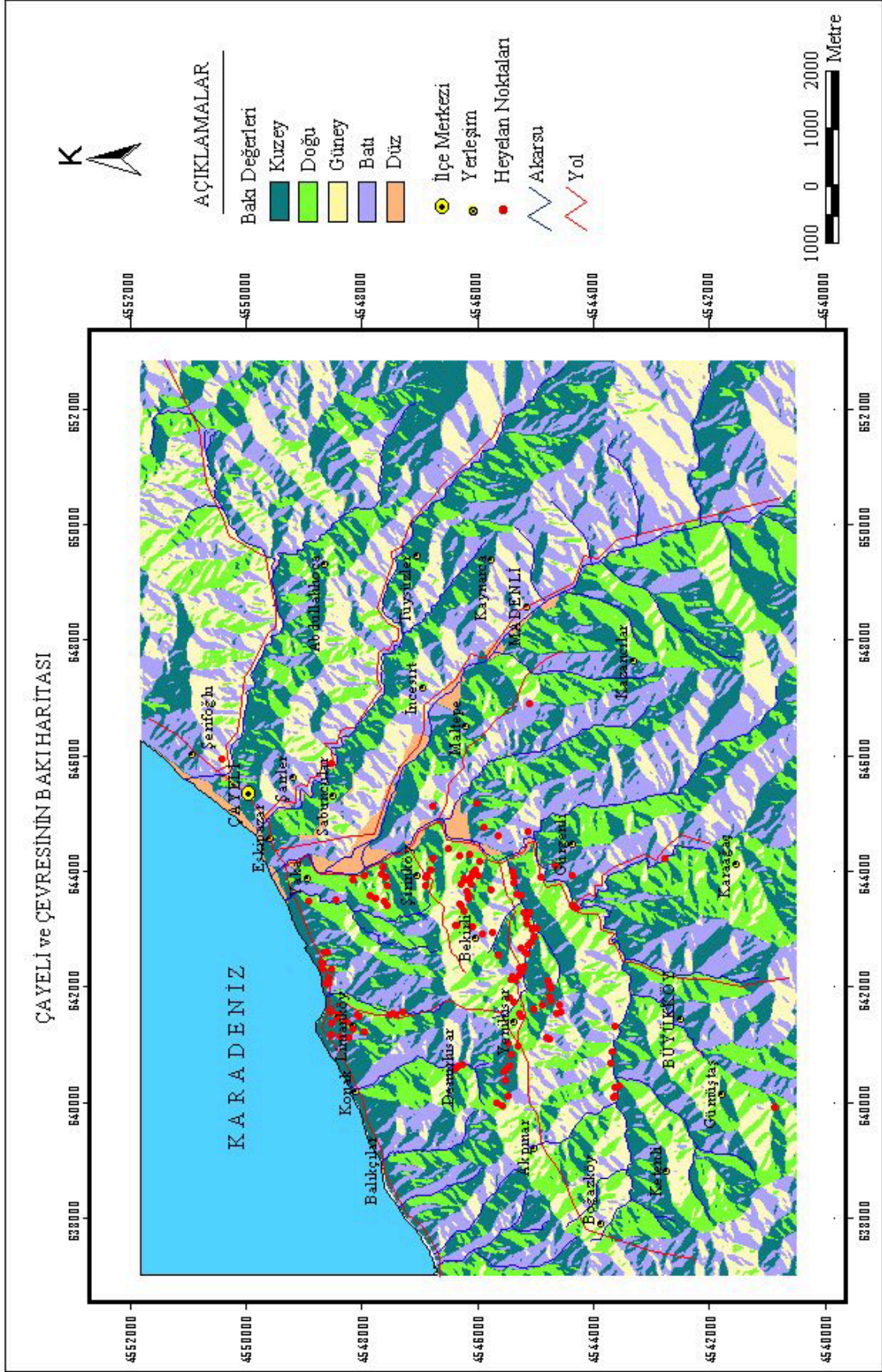
Üretilen bakı haritasında yamaç eğim yönleri dikkate alınarak 5 farklı eğim yönü (bakı) sınıfı ayrılmıştır. Daha sonra CBS yazılımları ArcView3.2 ve bunlara ait modüller kullanılarak çalışma alanındaki bakı sınıflarının ve heyelanların toplam alan içerisindeki dağılımları (%) ve heyelan yoğunlukları (%) hesaplanmıştır (Tablo 14).

Tablo 14. Yamaç eğim yönü (bakı) sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler

Bakı Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
Düz	4107	1.61	1	0.67	0.000243	9.20
Kuzey	74892	29.41	48	32.21	0.000641	24.20
Doğu	52963	20.80	32	21.48	0.000604	22.82
Güney	54517	21.41	44	29.53	0.000807	30.48
Batı	68131	26.76	24	16.11	0.000352	13.30
Toplam	254610	100	149	100	0.002648	100

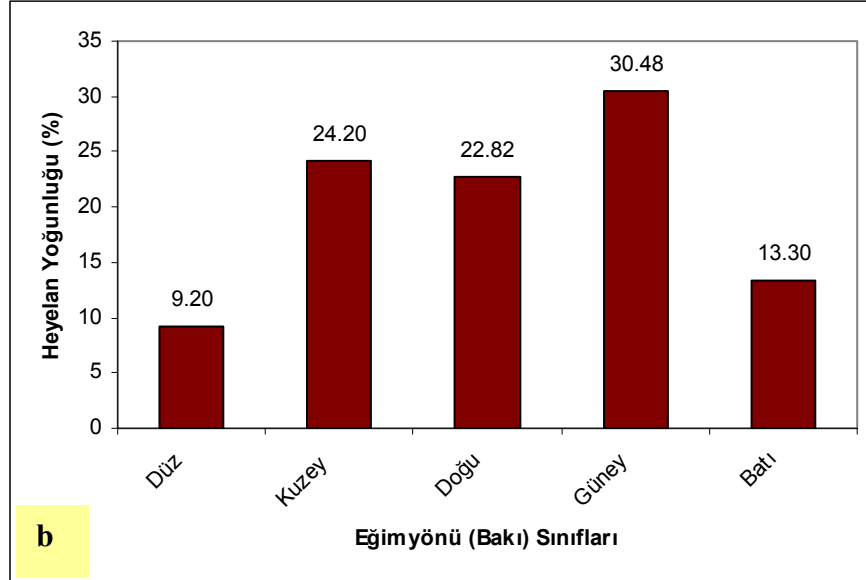
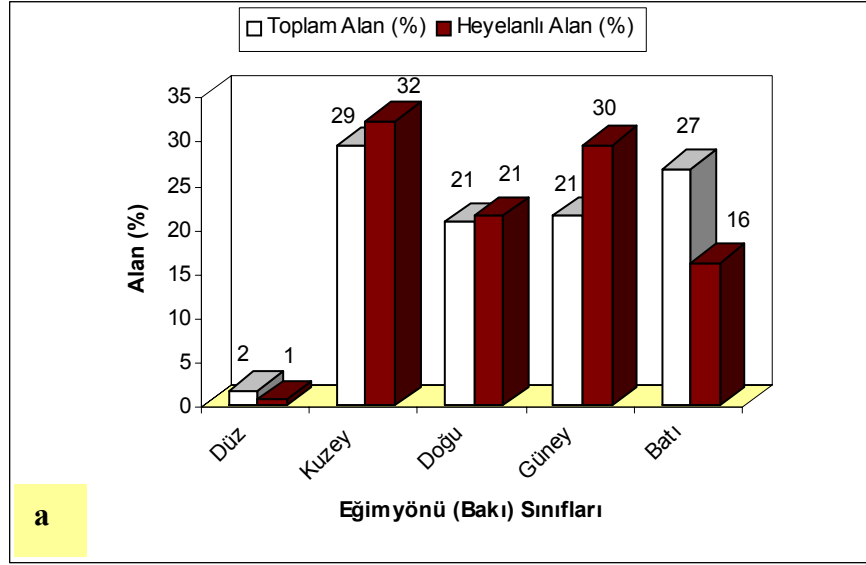
Hesaplanan bu değerler dikkate alınarak histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 43 a,b). Histogramlar incelendiğinde (Şekil 43a); çalışma alanındaki kuzeye bakan yamaçların (% 29.41) diğer yönlerle oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Benzer şekilde heyelanlı alanların oranı da kuzeye bakan yamaçlarda (% 32.21) ve güneye bakan yamaçlarda (% 29.53) diğerlerine oranla fazladır. Çalışma alanı içerisindeki heyelanlı alanların yaklaşık % 62'si bu iki yönde gelişen yamaçlarda meydana gelmiştir (Şekil 43a).

Heyelan yoğunluklarına (%) göre bakı yönleri değerlendirildiğinde ise, güneye bakan yamaçlarda heyelan yoğunluğu değeri (% 30.48) diğer yönlerle oranla daha fazladır (Şekil 43b).



Şekil 42. Çayeli ve çevresinin yamaç eğim yönü (baki) haritası.

Heyelan yoğunluklarının güneye bakan yamaçlarda diğerlerine göre belirgin bir şekilde fazla olmasının nedeni, heyelanların meydana geldiği dönemde gelişen sağanak ve şiddetli yağışın güneyden itibaren adeta bir hat boyunca olmasıdır. Bu durumda güneye bakan yamaçların daha fazla yağış aldığı ve bu yamaçlardaki ayrışmış zeminlerin daha fazla doygunluğa ulaştığı düşünülmektedir. Dolayısıyla yağış güneye bakan yamaçların duraylılığını olumsuz etkilemiştir.



Şekil 43. (a,b) Eğim yönü (bakı) sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar

3.5.3.6. Arazi Örtüsü

Literatürde araştırmacılar heyelan değerlendirmeleri ile ilgili çalışmalarda, ya bitki örtüsünü ya da arazi kullanım potansiyelini parametre olarak kullanmaktadır. Aslında bu iki parametre benzer özellikleri (yerleşim alanları, tarım alanları, ormanlık alanlar, yoğun ve seyrek bitki örtüsü içeren alanlar vb.) değerlendirmektedir. Çalışmada bu parametreler ortak kabul edilip, arazi örtüsü başlığı altında değerlendirilmiştir.

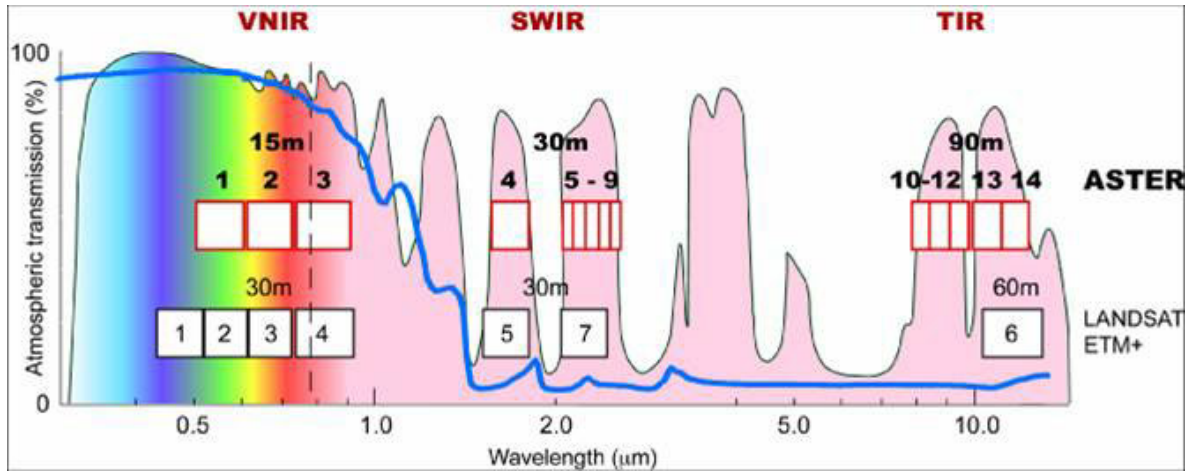
Bitkilerin bir yamacın duraylılığı üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri vardır. Özellikle güçlü ve büyük kök sistemleri ile bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlar yamaç duraylılığını olumlu etkilemektedir. Ancak, kök ve gövdeler zemin yüzeyinin geçirgenliğini artırarak, yüzey sularının zemin içerisine doğru girmesini kolaylaştırmaktadır. Genel olarak, bitki örtüsünün yoğun olduğu ormanlık alanlar, seyrek bitki örtüsüne sahip alanlara ya da tarım ve yerleşim alanlarına oranla heyelanlardan daha az etkilenmektedir.

İnceleme alanına ait arazi örtüsü haritasının hazırlanmasında 15x15m çözünürlüğe sahip olan ASTER L3A uydu görüntüsünden yararlanılmıştır.

3.5.3.6.1. ASTER Algılayıcısı ve Genel Özellikleri

ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Uzaya yerleştirilmiş İleri Termal Yayılma ve Yansıma Radyometresi) Japonya tarafından üretilip, özellikle jeolojik çalışmalar için geliştirilen bir uzaktan algılama algılayıcısıdır. Amerika Birleşik Devletleri'nin bir uzay platformu olan Terra'nın üzerinde bulunan ASTER algılayıcısı dünya yörüngesine Aralık 1999'da yerleştirilmiştir. 2000 yılı ortalarında kalibrasyon işlemleri tamamlanarak görüntü temin etmeye başlamış olan Terra/ASTER, yeryüzünden yaklaşık 705 km mesafede, güneşle eş zamanlı çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Yersel çözünürlüğü değişik dalga boylarında farklılıklar gösterir. Tarama genişliği yaklaşık 60 km'ye karşılık gelir. Ticari bir algılayıcı olarak tasarlanmıştır ve bir görüntüsü yer yüzeyinde yaklaşık 60x60 km² bir alanı kaplamaktadır (Abrams vd., 2001). Tablo 15'de görüldüğü gibi, ASTER üç temel algılayıcı grubundan oluşmaktadır. Elektromanyetik spektrum üzerinde, ilk grup görünür ve yakın kızıl ötesi (VNIR) 0.52-0.86 µm dalga boyu aralığını, ikinci grup kısa dalga kızıl ötesi (SWIR) 1.60-2.43 µm dalga boyu aralığını ve son grup termal kızıl ötesi (TIR) 8.125-11.65 µm dalga boyu aralığını kapsamaktadır (Şekil 44). VNIR spektral aralığında 15 m alansal çözünürlüğe sahip 4 adet

bant bulunur, bunlar yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi dalga boyu aralıklarına karşılık gelen alanları kapsamaktadır. Diğer bir sensör grubu olan SWIR, toplam 6 bant içermektedir ve $30 \times 30 \text{ m}^2$ yersel çözünürlüğe sahiptir. Genellikle yerbilimlerinde litolojik birimlerin ayırt edilmesinde ve alunit ve kaolen gibi alterasyon minerallerinin tespitinde etkin olarak kullanılmaktadır. Yamaguchi ve Naito (2003) tarafından yapılan çalışmada, alunit ve kaolen gibi kil minerallerini ayırt edilmesine yönelik “spektral endeks” adı verilen bir yöntem geliştirilmiş ve Nevada’da test edilmiştir. Ülkemizde benzer bir çalışma San vd., (2004) tarafından Biga Yarımadası için gerçekleştirilmiş ve farklı iki teknik ile söz konusu kil grupları ayırt edilmiştir. Son grup (TIR) ise 5 spektral bandı kapsamaktadır (Şekil 44) ve ağırlık olarak kuvars, karbonat ve mafik/ultramafik minerallerin belirlenmesinde kullanılmaktadır (Ninomiya, 2002).



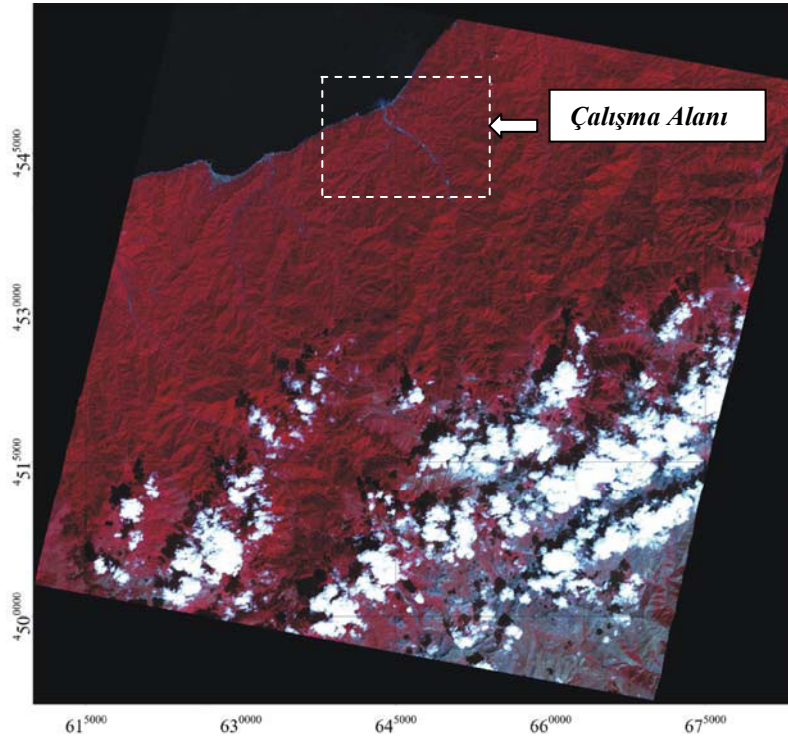
Şekil 44. ASTER sensörlerinin elektromanyetik spektrumdaki dağılımı ve spektral aralıkların Landsat ile karşılaştırması (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/images/spectrum.jpg>).

İşlenmemiş ASTER verileri yer istasyonuna indirildikten sonra atmosferik ve geometrik düzeltme gibi çeşitli görüntü işleme süreçlerinden geçirilir. İşlenmemiş ham görüntü ASTER Level 0 (L0A) olarak adlandırılır. Tüm sensörlerin (VNIR-SWIR-TIR) GeoSys düzeltmesi yapıldıktan sonra L0B olarak adlandırılır. L1A verisi geometrik ve radyometrik kalibrasyon katsayılarını ve jeoreferans parametrelerini içerir. Ancak bu katsayı ve parametreler uygulanmamıştır. L1B verisinde L1A verisindeki katsayılar uygulanmıştır ve veride ayrıca bulunmazlar. L3A verisi, yer istasyonunda L1A verisinden itibaren 3N ve 3B kullanılarak üretilmektedir (Abrams, 2000)

Tablo 15. ASTER algılayıcısına ilişkin genel özellikler.

Bant	Spektral Çözünürlük (μm)		Alansal Çözünürlük (m)	Radyometrik Çözünürlük
1	0.52-0.60	Görünür		
2	0.63-0.69	Yakın	15	8-bit
3N	0.76-0.86	Kızıl Ötesi		
3B*	0.76-0.86	(VNIR)		
4	1.600-1.700			
5	2.145-2.185	Kısa		
6	2.185-2.225	Dalga	30	8-bit
7	2.235-2.285	Kızıl Ötesi		
8	2.295-2.365	(SWIR)		
9	2.360-2.430			
10	8.125-8.475	Termal		
11	8.475-8.825	Dalga		
12	8.925-9.275	Kızıl Ötesi	90	12-bit
13	10.25-10.95	(TIR)		
14	10.95-11.65			

Çalışmada, MTA genel müdürlüğü personeli Jeoloji Yüksek Mühendisi Hakan A. Nefeslioğlu tarafından inceleme alanı için hazırlanan arazi örtüsü haritası kullanılmıştır. Arazi örtüsü haritası 15x15 m çözünürlüklü ASTER L3A uydu görüntüsünden elde edilmiştir (Şekil 45).



Şekil 45. Aster L3A uydu görüntüsü

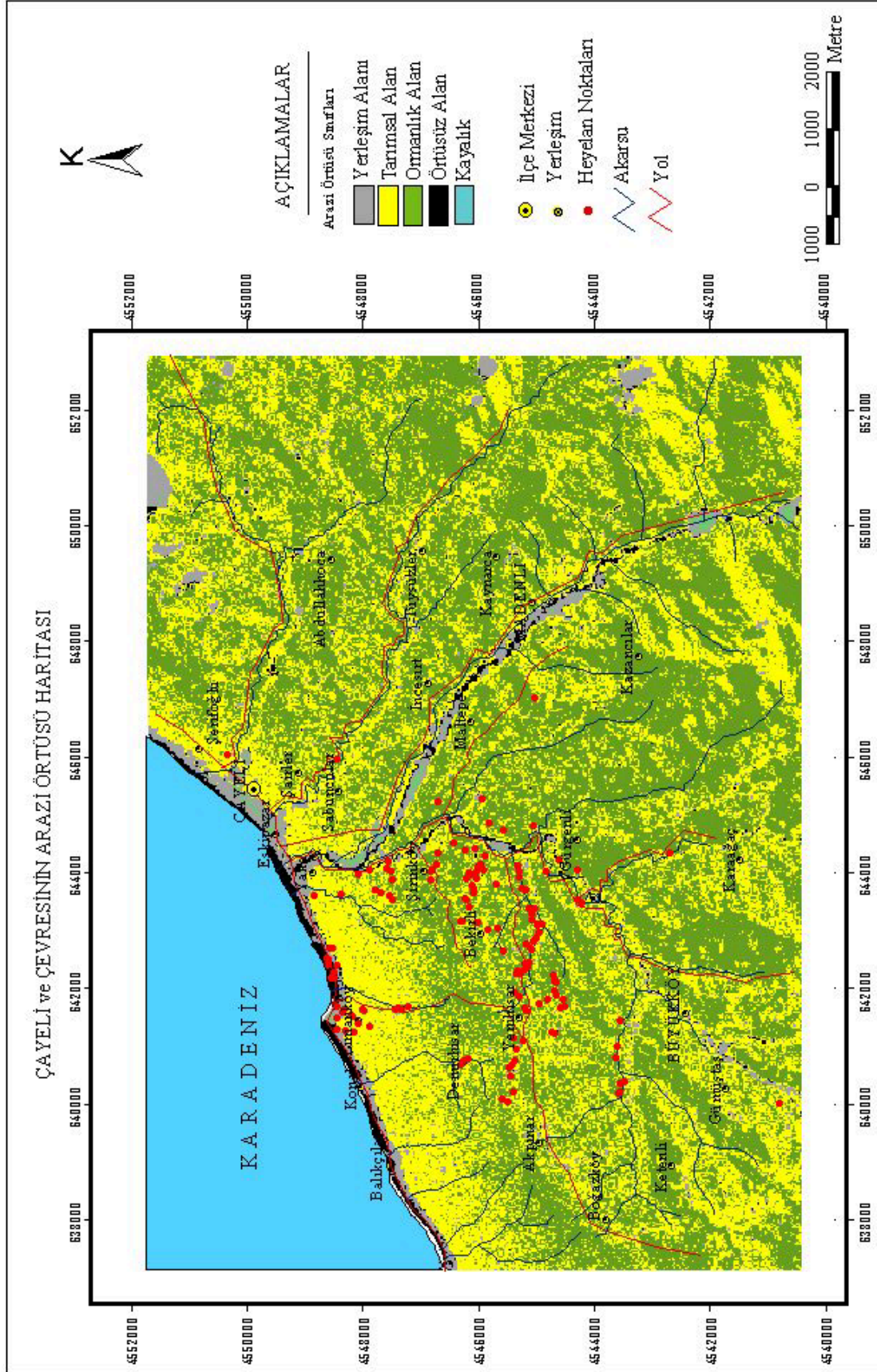
Bu çalışmada 12 Temmuz 2004 tarihli ASTER L3A uydu görüntüsü kullanılmıştır. Görüntünün güney-doğu bölümünde bir miktar bulut (% 10) mevcuttur. Orijinal görüntü verisi standart arşiv formatında elde edilmiştir. Uydu görüntüsünün ID numarası ve pozisyonu ile ilgili bilgiler tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16. Aster L3A görüntü metaverisi

Görüntü Metaveri	
Çekim Tarihi	12/07/2004
Ürün No	0407120819300608030674
Bulut Oranı (%)	10
Pan. Çözünürlük	15
Multi Çözünürlük	30
Termal Çözünürlük	60
Algılayıcı	ASTER
Görüntü Kalitesi	90

Arazi örtüsü sınıfları çalışma kapsamında 5 grup altında toplanmıştır. Bunlar sıra ile; yerleşim alanları, tarımsal alanlar, ormanlık alanlar, örtüsüz arazi ve kayalık alanlardır. Sonuçta çalışma alanına ait arazi örtüsü haritası oluşturulmuştur ve heyelan alanları ile çakıştırılarak aralarındaki ilişki belirlenmiştir (Şekil 46).

Daha sonra CBS yazılımları ArcView3.2 ve bunlara ait modüller kullanılarak çalışma alanındaki arazi sınıflarının ve heyelanların toplam alan içerisindeki dağılımları (%) ve heyelan yoğunlukları (%) hesaplanmıştır (Tablo 17).

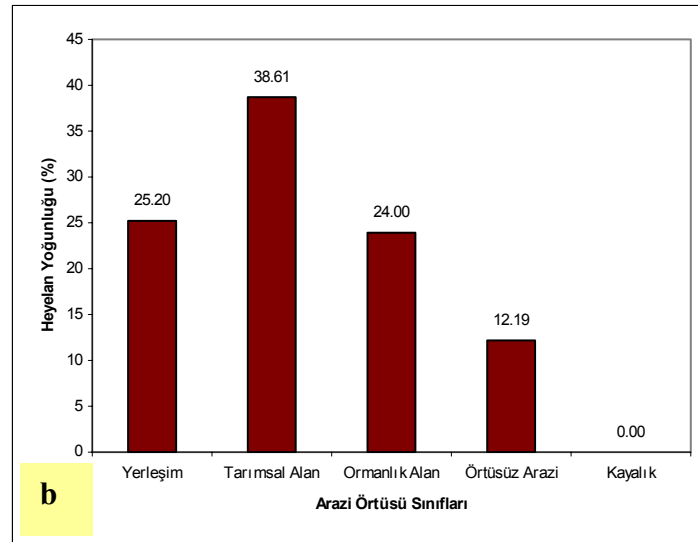
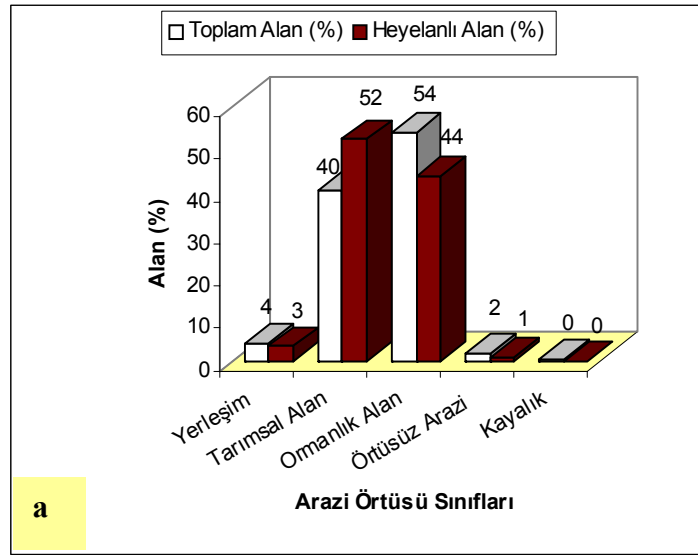


Şekil 46. Çayeli ve çevresinin arazi örtüsü haritası

Tablo 17. Arazi örtüsü sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler

Arazi Sınıfları	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
Yerleşim Alanı	10057	3.95	5	3.36	0.000497	25.20
Tarımsal Alan	102437	40.23	78	52.35	0.000761	38.60
Ormanlık Alan	137261	53.91	65	43.62	0.000474	24.00
Örtüsüz Arazi	4157	1.63	1	0.67	0.000241	12.20
Kayalık	698	0.27	0	0.00	0.000000	0.00
Toplam	254610	100	149	100	0.001973	100

Hesaplanan bu değerlerden yararlanarak histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 47 a,b).



Şekil 47. (a,b) Arazi örtüsü sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar.

Histogramlara göre çalışma alanındaki arazi örtüsü çok büyük bir oranda (% 94) tarımsal ve ormanlık alanlarla kaplı olup, mevcut heyelanların % 96'sı bu alanlarda gerçekleşmiştir (Şekil 47a).

Ancak heyelan yoğunlukları dikkate alındığında durum biraz daha farklıdır. Heyelan yoğunluğu % 38.61 ile en fazla tarımsal alanlarda gözlenirken, yerleşim alanları % 25.20 ile 2. derecede heyelan yoğunluğuna sahip arazi örtüsü sınıfını oluşturmaktadır (Şekil 47b). Oysa toplam alanın yarısından fazlasına sahip olan ormanlık alanlarda heyelan yoğunluğu % 24 olarak hesaplanmıştır. Bu durum da tarımsal ve yerleşim alanlarının heyelana karşı daha duyarlı, ormanlık alanların ise heyelan açısından daha güvenilir olduğunu göstermektedir.

3.5.3.7. Akarsuya Yakınlık

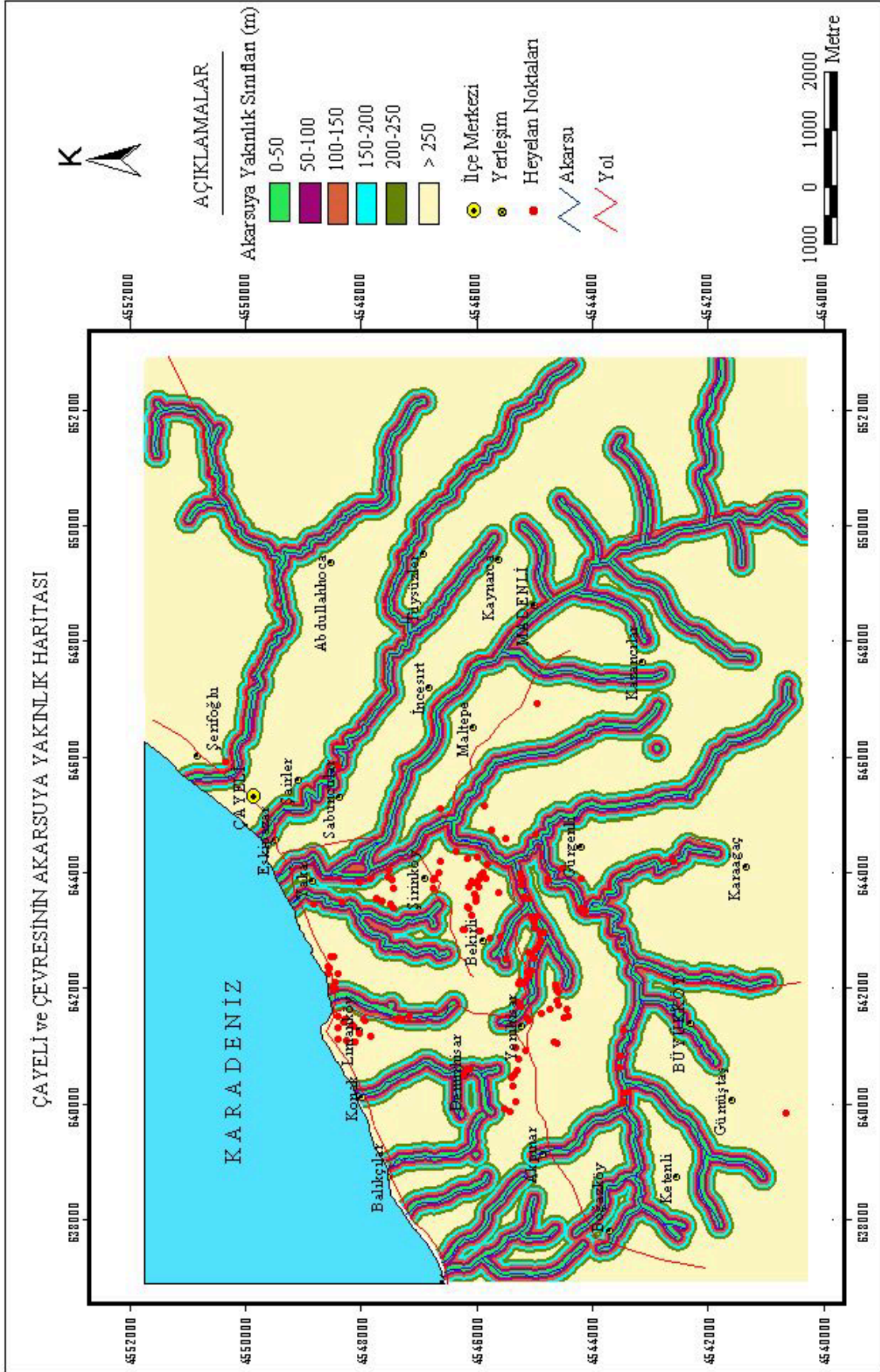
Yamaçların drenaj ağına yakınlığı duraylılık açısından önemli bir faktördür. Çünkü akarsular, yamaç topuğunu erozyona uğratarak ya da yamacı oluşturan malzemenin akarsu seviyesinin altındaki kesimini suya doygun hale getirerek, yamaçların duraylılığını bozmaktadır.

Çalışma alanı ile ilgili olarak, akarsuya yakınlığın meydana gelen heyelanlar üzerindeki etkisini belirlemek için, 50 şer metre aralıklı 6 farklı tampon bölge oluşturulmuş ve akarsuya yakınlık haritası üretilmiştir (Şekil 48).

Yapılan analiz ile oluşturulan 6 farklı tampon bölgede, daha sonra CBS yazılımları ArcView3.2 ve bunlara ait modüller kullanılarak çalışma alanında akarsuya yakınlık değerleri ve heyelanların kapladığı alanlar ile % heyelan yoğunlukları hesaplanmıştır (Tablo 18).

Tablo 18. Akarsuya yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler

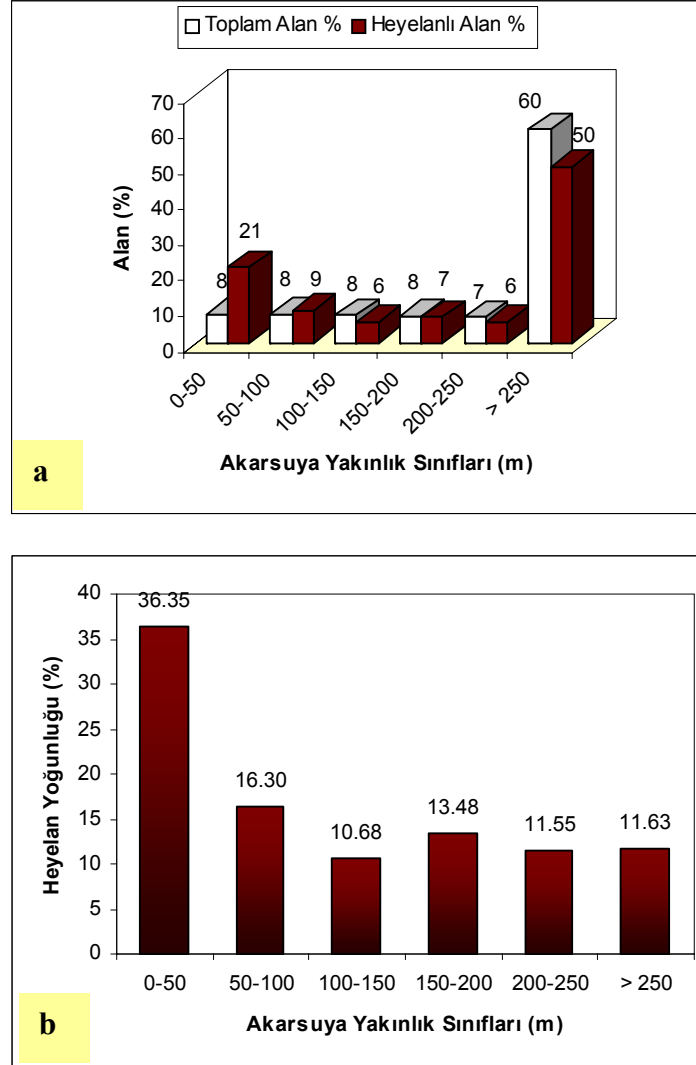
Akarsuya yakınlık Sınıfları (m)	Piksel		Heyelanlı		Heyelan	
	Sayısı (A)	%A	Piksel (B)	%B	B/A	Yoğunluğu (%)
0-50	21270	8.35	32	21.48	0.001504	36.35
50-100	20747	8.15	14	9.40	0.000675	16.30
100-150	20363	8.00	9	6.04	0.000442	10.68
150-200	19711	7.74	11	7.38	0.000558	13.48
200-250	18823	7.39	9	6.04	0.000478	11.55
> 250	153696	60.37	74	49.66	0.000481	11.64
Toplam	254610	100	149	100	0.004139	100



Şekil 48. Çayeli ve çevresinin akarsuya yakınlık haritası

Tablo 18’de hesaplanan değerler dikkate alınarak histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 49a,b). Histogramlar incelendiğinde (Şekil 49a); çalışma alanında oluşturulan tampon bölgelerin toplam alanları benzer dağılımlar göstermektedir. Heyelanlı alanlar ise 0-50 m arasında % 21 değeri ile önemli bir orandadır.

Heyelan yoğunlukları (%) değerleri dikkate alındığında akarsuya yakın olan sınıflarda, bu değerlerin yüksek olduğu açıktır. Özellikle 0-50 m mesafede % 36.35 değeri ile yüksek heyelan yoğunluğu görülmektedir. Benzer şekilde 0-100 m arasında % 52’nin üzerinde bir oran görülmektedir (Şekil 49b). Buradan hareketle, akarsulardan uzaklaştıkça suyun yamaç üzerinde meydana getirebileceği duraysızlık problemlerinin de nispeten azalabileceği söylenebilir.



Şekil 49. (a,b) Akarsuya yakınlık sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar.

3.5.3.8. Yola Yakınlık

Yamaçlarda açılan yollar, yamaç topuğunda ve topoğrafyada yük azalmasına, dolayısıyla hem topoğrafyanın değişmesine hem de yamaç gerisinde gerilme artışlarına ve gerilme çatlaklarının oluşmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda yamaçlardan alınan malzeme şevin eğimini artırmakta ve denge halinde olan yamacın stabilitesi bozulmaktadır. Arazi çalışmaları süresince açılan yolların etkisiyle heyelanların geliştiği gözlenmiş ve yola yakınlık parametresinin duyarlılık analizlerine dahil edilmesi uygun görülmüştür.

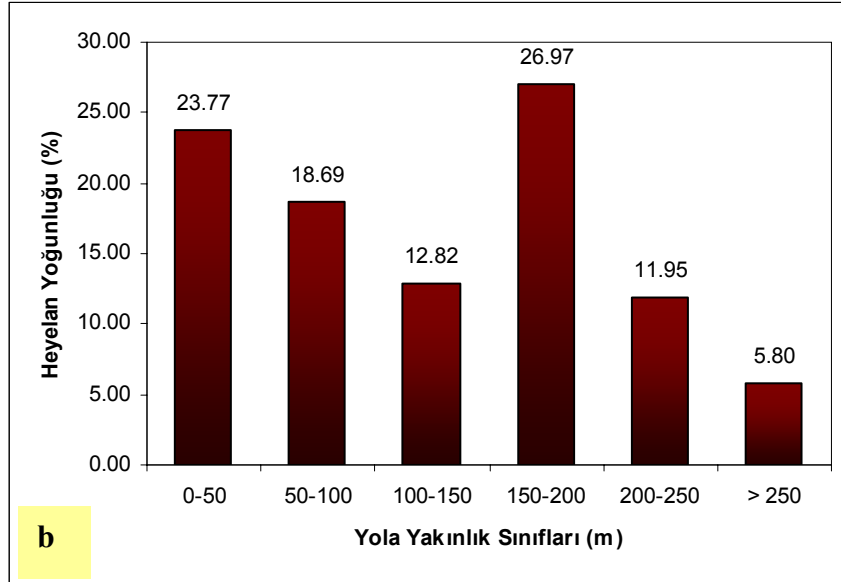
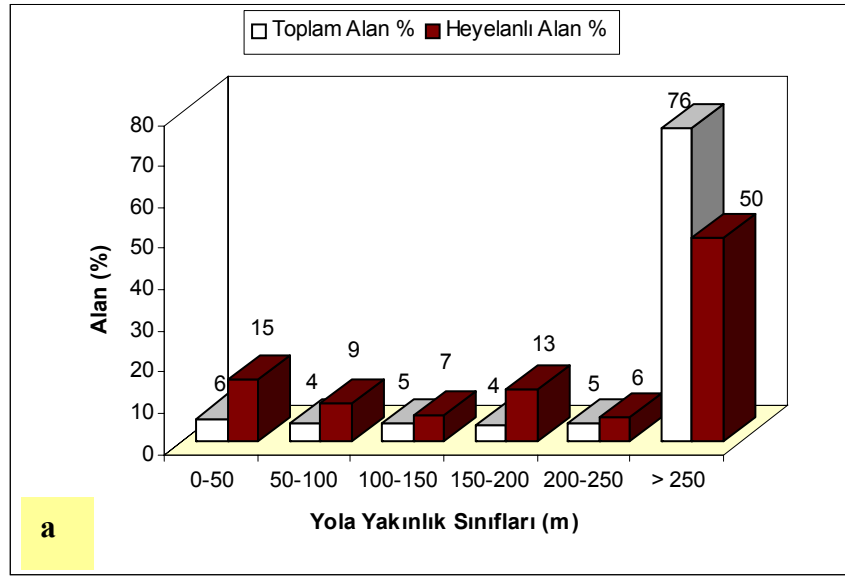
Çalışma alanı ile ilgili olarak, yola yakınlığın meydana gelen heyelanlar üzerindeki etkisini belirlemek için, 50 şer metre aralıklı 6 farklı tampon bölge oluşturulmuş ve yola yakınlık haritası üretilmiştir (Şekil 50).

Yapılan analiz ile oluşturulan 6 farklı tampon bölgede, daha sonra CBS yazılımları ArcView3.2 ve bunlara ait modüller kullanılarak çalışma alanında yola yakınlık değerleri ve heyelanların kapladığı alanlar ile % heyelan yoğunlukları hesaplanmıştır (Tablo 19).

Tablo 19. Yola yakınlık sınıfları ve heyelanlar arasındaki ilişkiler

Yola yakınlık Sınıfları (m)	Piksel Sayısı (A)	%A	Heyelanlı Piksel (B)	%B	B/A	Heyelan Yoğunluğu (%)
0-50	14743	5.79	23	15.44	0.001560	23.77
50-100	11412	4.48	14	9.40	0.001227	18.69
100-150	11883	4.67	10	6.71	0.000842	12.82
150-200	10735	4.22	19	12.75	0.001770	26.97
200-250	11476	4.51	9	6.04	0.000784	11.95
> 250	194361	76.34	74	49.66	0.000381	5.80
Toplam	254610	100	149	100	0.006563	100

Tablo 19'daki veriler esas alınarak histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 51a,b). Histogramlar incelendiğinde (Şekil 51a); çalışma alanında oluşturulan tampon bölgelerin toplam alanları benzer dağılımlar göstermektedir. Toplam heyelanlı alanlar (%) dikkate alındığında yoldan uzaklaştıkça, özellikle ilk 150 m lik tampon bölgelerde, bir azalma söz konusudur. Benzer durum % heyelan yoğunluklarında da görülmektedir (Şekil 51b). Yola yakın olan alanlarda heyelan yoğunluğu daha yüksek iken, yoldan uzaklaştıkça heyelan yoğunluğunda da göreceli olarak bir azalma söz konusudur.



Şekil 51. (a,b) Yola yakınlık sınıfları ile heyelanlar arasındaki ilişkilere ait histogramlar.

3.5.4. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi

Nicel yöntemlerle heyelan duyarlılık haritaları üretilirken öncelikle, yamaçların duraylılığını kontrol eden ya da heyelanlara neden olabilecek bir takım parametrelerin ve bunların ağırlık değerlerinin (heyelana olan etkilerinin) belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için heyelanların alansal dağılımları ile heyelana neden olabilecek faktörler arasındaki ilişkiler istatistiksel yaklaşımlarla belirlenebilmektedir.

Bu çalışma kapsamında hem heyelan yoğunluğunu dikkate alarak, her bir parametrenin envanter haritası ile ayrı ayrı değerlendirilmesi sonucunda ağırlık değerleri oluşturulan iki değişkenli istatistiksel analiz, hem de parametreleri bir arada değerlendirerek ağırlıklandırılan çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden mantıksal regresyon analizi uygulanmış ve çalışma alanının heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir.

Daha sonra farklı yaklaşımlarla üretilen duyarlılık haritalarının performans analizleri yapılmış ve birbirlerine göre üstünlük ve kısıtlamaları tartışılmıştır.

3.5.4.1. İki Değişkenli İstatistiksel Analiz

Bu yöntemin temelini, analiz için kullanılan ve heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen her bir faktörün heyelan envanter haritası ile karşılaştırılması oluşturmaktadır. CBS ortamında raster formatındaki her bir parametre haritası heyelan yoğunluklarının hesaplanması için heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmaktadır. Parametreler heyelanlarla ilişkilendirilip, ağırlıklı değerleri her bir sınıftaki heyelanlı ve toplam piksel sayısını dikkate alarak belirlenmektedir. Literatürde istatistiksel indeks, frekans oranı, koşullu olasılık vb. isimlerle adlandırılan değişik yöntemlerde, aslında ağırlıklı değerler benzer şekilde her bir sınıftaki heyelan yoğunluğuna dayanarak hesaplanmakta ve duyarlılık haritaları bu temelde hazırlanmaktadır.

Parametre haritalarına ilişkin ağırlık değerlerinin pozitif olması ilgili parametrenin heyelan oluşumunda etkisinin olduğunu, negatif olması ise etkisinin göreceli olarak daha az olduğunu göstermektedir (Van Westen, 1997; Rautella ve Lakhara, 2000)

Çalışmada heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülen ve değerlendirmeye alınan parametrelerin ağırlık değerleri aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Süzen, 2002).

$$W = 1000 \frac{B}{A} - 1000 \frac{\sum B}{\sum A} \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

W; Parametre ağırlık değeri

B; Parametre sınıfındaki heyelanlı piksel sayısı

A; Parametre sınıfındaki piksel sayısını vermektedir.

CBS ortamında duyarlılık haritasının üretilmesi için her bir piksel içerisinde, o piksele karşılık gelen parametre sınıfının puanla ifade edilen değerinin belirtilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada puanlama yapılırken, daha önce parametre haritalarının üretilmesi aşamasında anlatılan heyelan yoğunluğu (%) değerlerinden yararlanılmış, dolayısıyla puanlamalar da 100 üzerinden yapılmıştır (Tablo 20). Örneğin, eğim değeri 0-10⁰ olan eğim sınıfının heyelan yoğunluğu daha önceki hesaplamalarla % 33 olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla puanlamada da bu sınıf aralığı için 33 puan verilmiştir. Heyelan yoğunluğu 0 ve çok düşük olan parametre sınıflarına (0'ın çarpan etkisini ortadan kaldırmak için) 1 er puan verilmiştir. Bu şekilde heyelan yoğunluğu % değeri yüksek olan sınıflar heyelan açısından daha hassas olarak değerlendirilmiş ve bu sınıfların bulunduğu pikseller daha duyarlı olarak seçilmiştir.

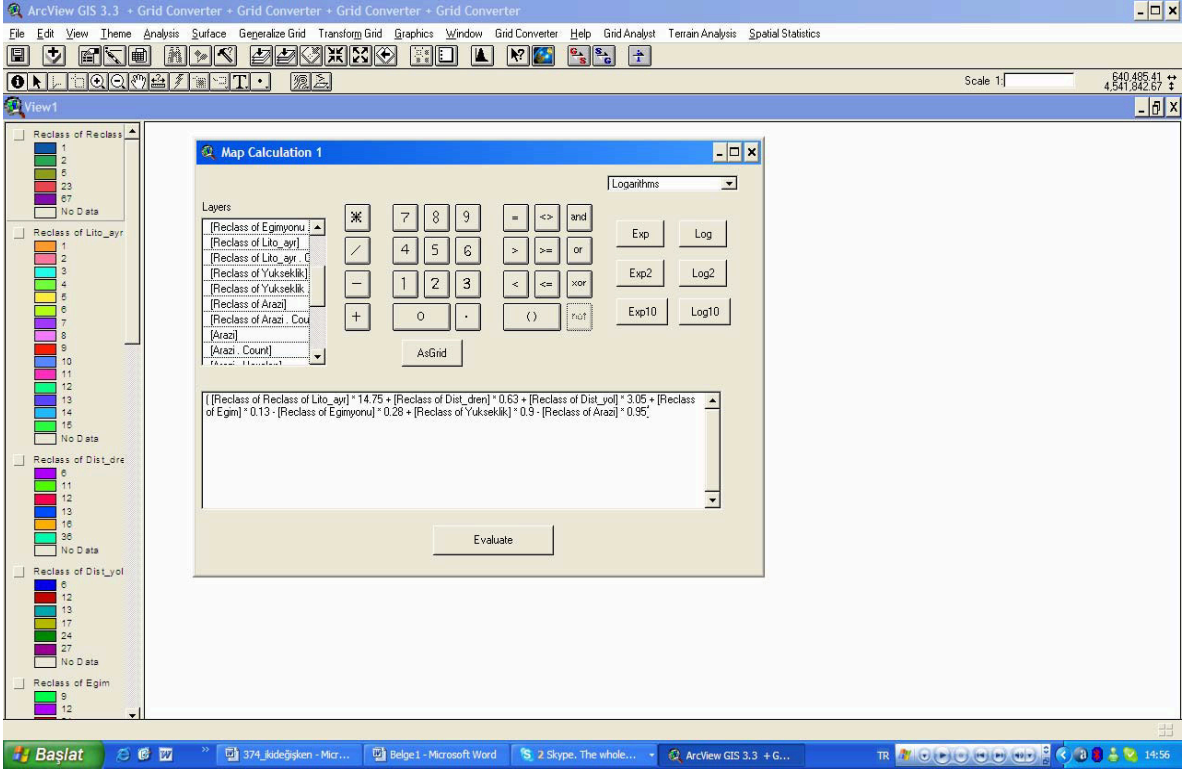
Tablo 20. İki değişkenli istatistiksel analiz için parametre ağırlık değerleri ve puanları

<i>Parametre Sınıfları</i>		<i>Ağırlık Değerleri</i>		<i>Puan</i>
Litoloji	Piksel	Heyelanlı	(1000x(B/A)) -	
Ayrışma	Sayısı (A)	Piksel (B)	(1000x(ΣB/ΣA))	
1	13101	0	-0.59	1
2	114157	4	-0.55	1
3	44941	10	-0.36	1
4	15291	81	4.71	23
5	675	0	-0.59	1
6	4708	0	-0.59	1
7	13508	15	0.53	5
8	2008	32	15.35	67
9	891	0	-0.59	1
10	4880	0	-0.59	1
11	2357	1	-0.16	2
12	395	0	-0.59	1
13	7521	3	-0.19	2
14	76	0	-0.59	1
15	30101	3	-0.49	1
Toplam	254610	149	14.75	

Tablo 21. devam ediyor.

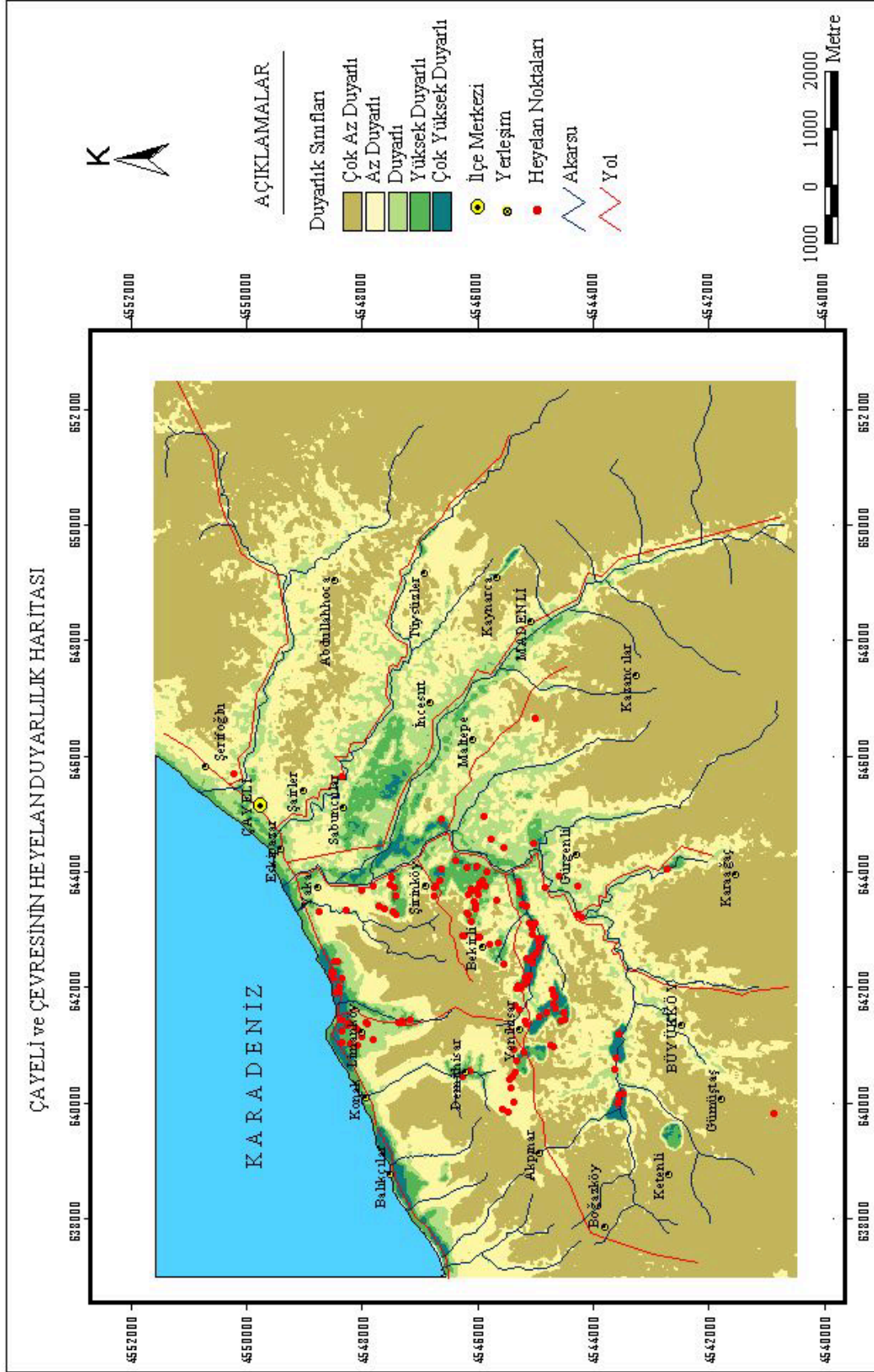
Eğim Sınıfları (°)	Piksel Sayısı (A)	Heyelanlı Piksel (B)	(1000x(B/A)) - (1000x(ΣB/ΣA))	Puan
0-10	18698	19	0.43	33
10-20	49073	38	0.19	25
20-30	93998	60	0.05	21
30-40	81779	29	-0.23	12
> 40	11062	3	-0.31	9
Toplam	254610	149	0.13	
Bakı Sınıfları				
Düz	4107	1	-0.34	9
Kuzey	74892	48	0.06	24
Doğu	52963	32	0.02	23
Güney	54517	44	0.22	30
Batı	68131	24	-0.23	13
Toplam	254610	149	-0.28	
Yükseklik Sınıfları (m)				
0-100	25607	46	1.21	46
100-200	46441	70	0.92	39
200-300	57345	23	-0.18	10
300-400	47342	10	-0.37	5
> 400	77875	0	-0.59	1
Toplam	254610	149	0.99	
Arazi Sınıfları				
Yerleşim Alanı	10057	5	-0.09	25
Tarımsal Alan	102437	78	0.18	39
Ormanlık Alan	137261	65	-0.11	24
Örtüsüz Arazi	4157	1	-0.34	12
Kayalık	698	0	-0.59	1
Toplam	254610	149	-0.95	
Akarsuya Yakınlık Sınıfları (m)				
0-50	21270	32	0.92	36
50-100	20747	14	0.09	16
100-150	20363	9	-0.14	11
150-200	19711	11	-0.03	13
200-250	18823	9	-0.11	12
> 250	153696	74	-0.10	12
Toplam	254610	149	0.63	
Yola Yakınlık Sınıfları (m)				
0-50	14743	23	0.97	24
50-100	11412	14	0.64	17
100-150	11883	10	0.26	13
150-200	10735	19	1.18	27
200-250	11476	9	0.20	12
> 250	194361	74	-0.20	6
Toplam	254610	149	3.05	

Bu puanlara göre parametre haritaları yeniden üretilmiş (sınıflandırılmış) ve CBS yazılımı ArcView 3.3 programı ve modülleri kullanılarak parametre haritaları üzerinde hesaplama işlemi gerçekleştirilerek duyarlılık analizi yapılmıştır (Şekil 52).



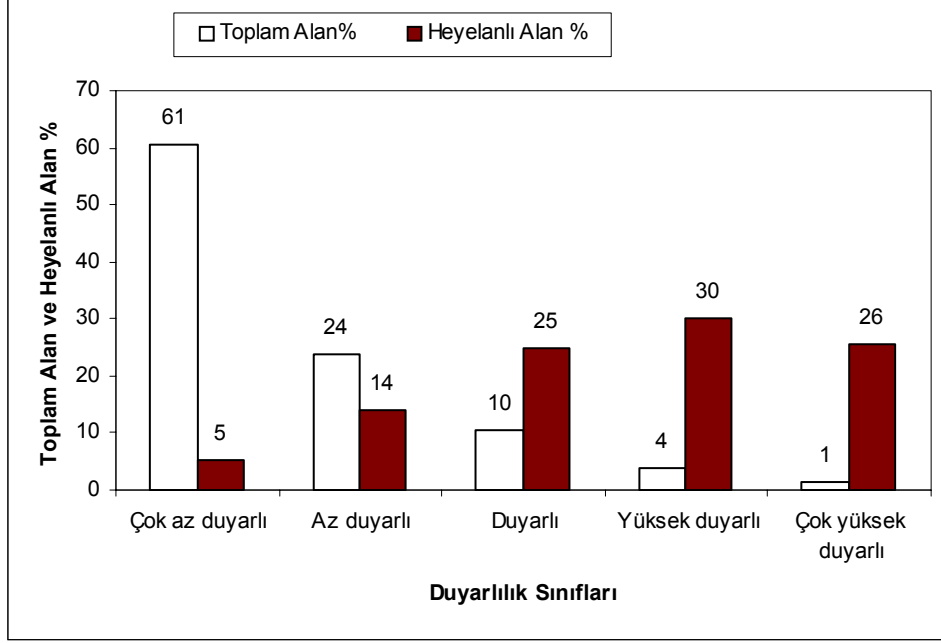
Şekil 52. Duyarlılık haritasının oluşturulma aşaması

Daha sonra oluşturulan harita “çok az duyarlı”, “az duyarlı”, “duyarlı”, yüksek duyarlı” ve “çok yüksek duyarlı” olmak üzere 5 farklı duyarlılık sınıfına ayrılarak, sonuç duyarlılık haritası üretilmiştir (Şekil 53).



Şekil 53. Çayeli ve çevresinin iki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile hazırlanmış heyelan duyarlılık haritası.

Son olarak üretilen haritanın performansını analiz etmek için mevcut heyelanlarla duyarlılık haritası karşılaştırılmış ve mevcut heyelanların % 81'inin duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara düştüğü belirlenmiştir (Şekil 54).



Şekil 54. Duyarlılık sınıflarına karşılık gelen toplam alan ve heyelanların yüzde dağılımı.

3.5.4.2. Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz

Çok değişkenli istatistiksel analiz, incelenen olay ve çevresindeki çok sayıdaki faktörleri dikkate alarak, mevcut problemi doğasındaki yapısına ilişkin bilgilere göre (gerçek oluşumuna göre) incelemek ve çözümlere ulaşmak için geliştirilmiş yöntemler bütünüdür (Özdamar, 2002).

Tek değişkenli istatistiksel analiz yöntemleri, incelenen değişken üzerindeki faktörleri toplumdaki tüm birimler için sabit ya da benzer türde kabul ederek çözümleme yoluna gitmeyi amaçlamaktadır. Oysa bu tür koşulları sağlamak çoğu zaman mümkün değildir. Bu nedenle problemin çözümünde çok sayıda değişkeni dikkate alarak çözüm üretmek daha gerçekçi bir yaklaşımdır (Özdamar, 2002).

Genel olarak çok değişkenli istatistiksel analizlerin amacı, diğer istatistiksel işlemlerle benzer olup, herhangi bir konu ile ilgili olarak yapılan çalışmaların sayısal olarak ifade edilebilen sonuçlarının özetlenmesi, yorumlanması ve konu ile ilgili olarak karar verilirken bu sonuçların kullanılmasının sağlanmasıdır. Özellikle bilimsel çalışmalarda ele alınan olaylar tek bir nedenle sınırlı kalmayıp, birçok nedenin etkisi altındadır. Bununla beraber, gözleme konu olan nesnelerin özellikleri de birbirleriyle ilişkilidir. Bundan dolayı da bu tür çalışmalarda her hangi bir olay araştırılırken, konu ile ilişkili çok sayıda değişkenle karşılaşmaktadır. Yapılan çalışmaların geçerliliği ve güvenilirliği, incelenen olayın bütün yönleriyle değerlendirilmesine bağlıdır. Bu zorunluluk sonucunda her hangi bir konuda araştırma yapan araştırmacı, çok değişkenli veri setleri kullanma ve bunların analizini yapma ihtiyacı duymaktadır (Tatlıdil, 2002).

Çok değişkenli istatistiksel işlemlerde, birbiriyle ilişkili ya da ilişkisiz çok sayıdaki değişken göz önünde bulundurularak, değişkenler arasındaki bağımlılık yapısı analiz edilmektedir. Bilimsel araştırmalarda incelenen olayın analizinde tek değişkenli istatistik kullanmak yeterli değildir. Çünkü bu tür yöntemler, sınırlayıcı varsayımlar altında geçerlidir. En önemli sınırlayıcı ise olaydaki birçok faktörün deneysel olarak kontrol altında tutulması ve her seferinde tek bir faktörün incelenmesidir. Oysa çok değişkenli istatistikte bazı kontrollü denemeler dışında böyle bir kısıtlayıcıdan söz edilmemektedir. Çünkü çok değişkenli istatistikler, genellikle kendi doğal çevrelerinde birçok yönleriyle gözlenirler. Bu durum, gözlenen özellikler arasındaki bağımlılık yapısının incelenmesini ön plana çıkarmaktadır. Bir başka ifade ile çok değişkenli istatistik, incelenen olayı bütün

olarak ele almakta ve bütünlüğü sağlayan değişkenlerin bağımlılık yapısını açıklamaya çalışmaktadır (Tatlıdil, 2002).

Çok değişkenli istatistik, birden çok özelliğin analizi ile ilgilendiği için uygulamalarda değişik amaçlarla kullanılmaktadır. Bu durum uygulama alanlarına da yansımakta, jeoloji, tıp, kimya, biyoloji, ziraat, sosyoloji, ekonomi, eğitim ve arkeoloji gibi çok sayıda bilim dalında yapılan araştırmalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Çok değişkenli istatistiksel yöntemleri değişik amaçlı uygulamalarda kullanmak mümkündür. Bu amaçların başlıcaları;

Veri indirgeme: P sayıda değişken içeren veri setinin değişimini açıklayan ve aralarında ilişki bulunmayan daha az sayıda değişkenle veri yapısını açıklamayı sağlamak.

Kümeleme ve sınıflama: Popülasyon özelliği bilinmeyen yapılar hakkında prototip kümeler belirleme çalışmalarına yardımcı olmak. Daha önceden belirlenmiş gruplara yeni birimlerin atanmasını sağlamak.

Ölçekleme: P sayıda değişken içeren p boyutlu ölçümlerden daha az sayıda değişken kullanarak birimlerin gösterilmesini, tanımlanmasını sağlamak. Birimlerin birbirleri ile benzerlik ve farklılıklarını incelemek.

Çok değişkenli hipotezlerin test edilmesi: k toplumun çok değişkenli ortalamalar vektörünün eşitliği veya farklılığı üzerine kurulacak hipotezleri test etmek (Özdamar, 2002).

Bu bölümde konu ile ilgili bazı temel kavramlar aşağıda tanımlanmıştır.

Değişken: Nicel ya da nitel anlamda farklı durumlar gösteren bir öge olup, deney birimlerinden gözlem ya da ölçüm yoluyla elde edilen özelliklere denir.

Bağımlı değişken (sonuç-cevap değişkeni): Araştırmacının değiştiremediği bağımsız değişkene göre ortaya çıkan ve araştırmanın sonucu olan değişkendir.

Bağımsız değişken (açıklayıcı değişken): Araştırmacının değiştirebildiği ve sonucu etkileyebilecek olan değişken ya da değişkenlerdir.

Nicel değişken: Miktar olarak ölçümlenebilen değişkenlere denir.

Nitel değişken: Belirli özelliğine göre sınıflanabilen değişkenlere denir.

Sürekli (kesiksiz) değişken: İki ölçüm arasında sonsuz sayıda değer alabilen bireylerin ya da objelerin özelliklerini miktar olarak gösteren ve miktarları kesirli sayılarla ifade edilen değişkendir.

Süreksiz (kesikli) değişken: Sadece sınırlı sayıda değer alabilen bir değişkendir.

Veri: Değişkenin aldığı değere denir (Tüysüz ve Yaylalı, 2005).

3.5.4.2.1. Mantıksal Regresyon Analizi

Mantıksal regresyon analizi, iki değerli bağımlı değişken (sonuç değişkeni) ile hem sürekli hem de kesikli değişkenlerden oluşabilen bağımsız (açıklayıcı) değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlayabilen çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemidir.

Mantıksal regresyon analizinin kullanım amacı istatistikte kullanılan diğer model yapılandırma teknikleri ile benzer olup, en az değişkeni kullanarak en iyi uyuma sahip olacak şekilde bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi tanımlayabilen kabul edilebilir bir model kurmaktır.

Hemen hemen her bilim dalında araştırmacılar eldeki verilere bağlı olarak sistemlerin çalışma kurallarını saptamak isterler. Bu amaçla sistemi açıklamaya yarayacak soyut yapılara yönelmektedirler. Bu türdeki soyutlama model sözcüğü ile tanımlanmaktadır. Model, bir olayla ilgili bilgi ya da düşüncelerin belirlenen kurallara bağlı olarak şekillendirilmesidir (Tatlıdil, 2002).

Model kavramı altında değişkenler arasındaki ilişkiler söz konusu olduğunda, işlevsel ve istatistiksel ilişkiler gibi iki farklı yaklaşımı ayırt etmek gerekir. İki değişken arasındaki işlevsel ilişki matematiksel bir eşitlikle belirlenir. $y=f(x)$ şeklinde ifade edilebilir. Bu eşitlikte x bağımsız, y de bağımlı değişkenlerdir. x değeri bilindiği takdirde eşitliğe bağlı olarak y değeri kesin olarak bulunur.

Ancak istatistiksel ilişkilerde ise bu tür kesinlik her zaman söz konusu değildir. Bu durumda bağımsız değişkenin bilinen bir değerine karşılık y değeri ancak belli bir hata payı ile tahmin edilebilir. Buna göre bir istatistiksel ilişki, θ parametreyi, ϵ hata terimini gösterdiğinde $y=f(x, \theta)+\epsilon$ eşitliği ile ifade edilir (Tatlıdil, 2002).

Değişkenler arasındaki ilişkileri incelemeye en çok kullanılan istatistik yöntemlerinden biri regresyon analizidir. Regresyon analizinin çözümüne başlamadan önce yapılması gereken şey, bağımlı değişken ile bağımsız değişkenin en iyi şekilde tayin edilmesidir. Genelde bilinen, bağımlı değişken ölçülebilir nitelikte olup sürekli bir değişkendir. Ancak bağımlı değişken her zaman ölçülebilir nitelikte olmayabilir. Örneğin; yamaç eğiminin artmasının heyelan oluşumuna neden olup, olmadığının belirlenmesi amaçlandığında, öncelikle bilinmesi ve belirtilmesi gereken bağımlı değişkenin sürekli bir değişken olmayıp, kesikli bir değişken olduğudur. Örnekteki bağımlı değişken heyelanın oluşması (1) ya da heyelanın oluşmaması (0) olarak iki sınıfa ayrılmaktadır.

Son yıllarda farklı bilim dallarında sıklıkla kullanılan mantıksal regresyon analizi, gözlemlerin gruplara atanmasında sık kullanılan yöntemlerden birisidir. Kümeleme analizinde gözlemlerin atanacağı grup sayısı tam bilinmezken, diskriminant ve mantıksal regresyon analizinde grup sayısı bilinmekte ve mevcut veriler kullanılarak bir ayırimsama modeli elde edilmekte ve kurulan bu model yardımıyla veri kümesine eklenen yeni gözlemlerin gruplara atanması mümkün olabilmektedir.

Mantıksal regresyon analizi, çeşitli varsayım bozulmaları (normal dağılıma ve ortak kovaryansa sahip olmama) durumunda diskriminant analizi ve çapraz tablolara alternatif olurken, bağımlı değişkenin 0 ve 1 gibi ikili (binary) ya da ikiden çok düzey içeren kesikli değişken (polychotomous) olması durumunda normallik varsayımının bozulması nedeniyle doğrusal regresyon analizine alternatif olmaktadır.

Doğrusal regresyon analizinde bağımlı değişkenin değeri kestirilirken, mantıksal regresyon analizinde bağımlı değişkenin alabileceği değerlerden birinin gerçekleşme olasılığı belirlenmektedir. Bu olasılık değeri aşağıdaki eşitlikle elde edilir.

$$P(Y) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 X)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 X)} = \frac{1}{1 + \exp(-\beta_0 - \beta_1 X)} \quad (2)$$

Mantıksal regresyon modeli yazıldıktan sonra modeldeki katsayılar,

$$\ln \left[\frac{P(Y)}{Q(Y)} \right] = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p \quad \text{ve} \quad (3)$$

$$\frac{P(Y)}{Q(Y)} = e^{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p} = e^{\beta_0} e^{\beta_1 X_1} e^{\beta_2 X_2} \dots e^{\beta_p X_p} \quad (4)$$

eşitlikleri ile hesaplanmaktadır.

Burada Q (Y), olayın meydana gelmeme olasılığını vermektedir ve

$$Q(Y) = 1 - P(Y) \quad (5)$$

eşitliğinden hesaplanmaktadır.

Olasılık oranı $OR = \frac{P(Y)}{Q(Y)}$ şeklinde hesaplandığı hatırlanacak olursa, her bir parametrenin

$\exp(\beta)$ değerleri *olasılık oranları* olarak ele alınırlar (Özdamar, 2002).

İki sonuçlu mantıksal regresyon modelinin katsayı kestirimlerinde en çok olabilirlik (maksimum likelihood), yeniden ağırlıklandırılmış en küçük kareler (re-weighted iterative least square) ile tekrarlı veri durumlarında kullanılan minimum lojit khi-kare (minimum logit chi-square) sık kullanılan yöntemlerdir. En çok olabilirlik yöntemi her zaman tutarlı ve etkin kestirimler vermektedir.

Genel anlamda en çok olabilirlik yöntemi, gözlenen veri kümesini elde etmenin olasılığını maksimum yapan, bilinmeyen parametrelerin değerlerini vermektedir. Yöntemi uygulayabilmek için öncelikle en çok olabilirlik fonksiyonunun oluşturulması gerekmektedir. Bu fonksiyon bilinmeyen parametrelerin bir fonksiyonu olarak, gözlenen verinin olasılığını verir. Bu parametrelerin en çok olabilirlik kestiricileri, fonksiyonu maksimum yapacak şekilde seçilir. Bu nedenle sonuçta elde edilen tahminciler (tahmin edilen veriler) gözlenen verilerle çok yakın değerlere sahip olacaktır.

Mantıksal regresyon analizinin kullanım amaçlarından en önemlisi bağımlı değişkenin iki düzey içerdiği (0-1) bağımsız değişkenlerin ise hem kesikli hem de sürekli olabildiği durumlarda verileri ait oldukları gruplara en doğru şekilde atayarak olaya ilişkin (heyelan oluşumuna neden olabilecek) risk faktörlerini belirleyebilecek modeli kurmaktır.

Mantıksal regresyonu doğrusal regresyondan ayıran en belirgin özellik ise mantıksal regresyonda sonuç değişkeninin ikili olmasıdır. Mantıksal regresyon ve doğrusal regresyon arasındaki bu fark hem parametrik model seçimine hem de varsayımlara yansımaktadır. Mantıksal regresyonda da, doğrusal regresyon analizinde olduğu gibi bazı değişken değerlerine dayanarak kestirim yapılmaya çalışılır. Ancak 2 yöntem arasında üç önemli fark vardır. Bunlar;

1-) Doğrusal regresyon analizinde tahmin edilecek olan bağımlı değişken sürekli iken, mantıksal regresyon analizinde bağımlı değişken kesikli bir değer almaktadır.

2-) Doğrusal regresyon analizinde bağımlı değişkenin değeri, mantıksal regresyon analizinde ise bağımlı değişkenin alabileceği değerlerden birinin gerçekleşme olasılığı tahmin edilir.

3-) Doğrusal regresyon analizinde bağımsız değişkenlerin çoklu normal dağılım göstermesi koşulu aranırken, mantıksal regresyonun uygulanabilmesi için bağımsız değişkenlerin dağılımına ilişkin bir ön koşul yoktur.

3.5.4.2.1.1. Heyelan Duyarlılık Haritasının Mantıksal Regresyon Analizi ile Üretilmesi

Çalışmanın bu bölümünde heyelan duyarlılığına ilişkin olasılık değerlerinin hesaplanması amacıyla, çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden bir tanesi olan mantıksal regresyon analizi uygulanmıştır. Özellikle son 5 yıllık dönemde heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde mantıksal regresyon analizinin kullanımı ile ilgili çalışmalara literatürde sıklıkla rastlanmaktadır (Gorsevski vd. 2000; Lee ve Min 2001; Dai vd. 2001a; Dai ve Lee 2003; Ohlmacher ve Davis 2003; Süzen ve Doyuran, 2004b; Ayalew ve Yamagishi, 2005; Çan vd., 2005; Lee, 2005; Van Den Eechaut vd., 2006; Duman vd., 2006; Akgün ve Bulut, 2007).

Mantıksal regresyonun temeli, ikili (binary; 0, 1) değişkenle ifade edilen bir problemin bir veya birden fazla bağımsız değişken kullanılarak çözülmesi esasına dayanmaktadır (Menard, 1995). Mantıksal regresyon analizinin uygulanmasında öncelikle tanımlanan problemin çözümünde kullanılacak veri matrisi hazırlanmaktadır. Matris içerisinde her bir satır ayrı bir olayı ifade ederken, kolonlar bağımsız değişkenleri ve bağımlı değişkeni ifade etmektedir.

Bununla birlikte, çok değişkenli istatistiksel analizlerin önemli gereksinimlerinden bir tanesi, analizi gerçekleştirilecek veri kümesi içerisinde alıştırma verisi (training data) için ilgili olaya ait yokluk (0) bilgisinin varlık bilgisine (1) eşit olmasıdır. Bir başka deyişle, [varlık bilgisi (1) / yokluk bilgisi (0)] oranının mümkün olduğunca 1'e yakın olması istenmektedir (Nefeslioğlu vd., 2007). Ancak çalışma alanı ile ilgili koşullar bu durumu yansıtmamaktadır. Çünkü 25x25 m grid ağı üzerine oturtulan çalışma alanında toplam 254610 adet veri satırı mevcuttur. Bu veri satırları diğer bir ifadeyle pikseller içerisindeki varlık bilgisi sayısı (1) [heyelanlı piksel sayısı (1)] 149 adettir. Buna karşılık yokluk bilgisi (0) sayısı [heyelansız piksel sayısı (0)] 254461 adettir.

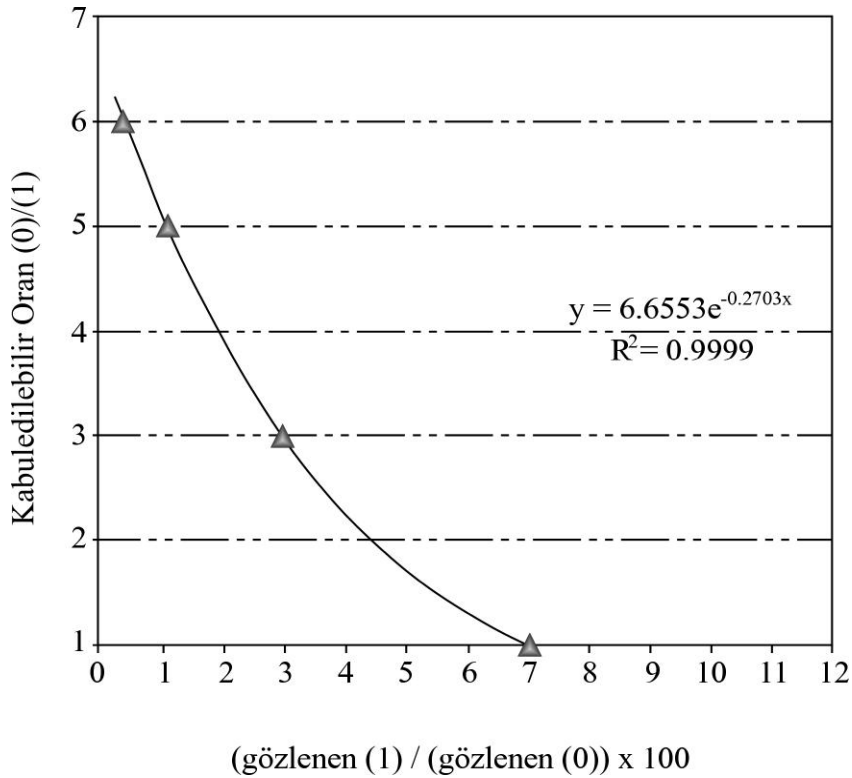
Heyelanlı piksellerin sayısının, heyelan gerçekleşmeyen duraylı alanlara ait piksel sayısına oranı çok düşüktür. Bu oran bilinen istatistiksel yöntemleri uygulamak için çok küçüktür. Aynı zamanda heyelanları belirten her bir nokta tek bir pikselle ifade edilmiştir. Heyelan alanlarına ilişkin ortalama değer 658.74 m² olarak belirlenmiştir. Piksel boyutları 25x25 m seçildiğinde 1 heyelan 1 adet pikselle ifade edilmiştir. Mantıksal regresyon tekniği ile üretilen duyarlılık haritası, heyelanın gerçekleşmediği piksellerin (0), heyelanlı piksellere (1) oranı tarafından kontrol edilmektedir. Mantıksal regresyon analizinde heyelan olmayan piksellerin sayısı (0) artarken, duyarlılık haritasında, bölgede heyelana

duyarlı alanlar azalmaktadır. Bunun aksine 0/1 oranındaki azalmaya karşı, heyelana duyarlı alanlar artmaktadır. Bu oran (0/1), sifıra yaklaştığı durumda, tüm alan heyelanlara karşı çok duyarlı olarak sınıflandırılabilir. 0/1 oranının daha düşük değerleri için üretilen duyarlılık haritasının performansının % 100 olarak kabul edilmesine rağmen, üretilen haritanın çok tutucu olduğu ifade edilebilir. Bu durum King ve Zeng (2001), tarafından nadir-seyrek gerçekleşen olay verileri olarak değerlendirilmiştir.

Garcia-Ruiz vd. (2003)'e göre, bir olaydaki 1'lerin sayısı 0'lara oranla yüzlerce hatta binlerce kez daha azdır ve kayma olayı normal olarak seyrek gerçekleşir. Bu özellikle grid ya da raster tabanlı modeller için doğrudur. Diskriminant analizi ve mantıksal regresyon analizi gibi yaygın çok değişkenli istatistiksel işleyişler, az çok eşit boyutta çalışma grupları tarafından tasarlanmış olarak bilinir. Heyelanlar gibi seyrek gerçekleşen olaylarda, 0 ve 1'lerin sayıları birbirinden çok farklıdır, bu durumlarda oluşturulan modeller seyrek gerçekleşen olayın olasılığını tahminde güçlükler çıkarmaktadır. Bu duruma Garcia-Ruiz vd. (2003)'ün Garcipollera valley deki çalışmaları örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada moloz akmaları (debris flow) içeren piksellerin diğer piksellere oranı 2.5/10000 dir. Sonuçta, uygulanan modelde 0'ların sayısı 1'lere oranla 10 kat fazla olarak alınmıştır. Benzer sorun Çan vd., (2005)'in Batı Karadeniz Bölümü'nde 3 havzada gerçekleştirdikleri duyarlılık haritası üretimi çalışmalarında görülmüştür. Araştırmacılar çalışmalarında farklı havzalarda 1'lerin sayısından hareket ederek farklı 0/1 oranları kullanmış ve bir dizi duyarlılık analizi gerçekleştirmiştir. Daha sonra bu verileri kullanarak mantıksal regresyon analizi ile akmalara ait duyarlılık haritası üretmişlerdir.

Bu durumlar dikkate alınarak, mevcut probleme göre en uygun (0/1) oranı seçilmesi düşünülmüştür. Literatürde Garcia-Ruiz vd. (2003) ve Çan vd., (2005)'ten başka, bu tür problemin çözümüne yönelik yaklaşım sunan çalışmalara rastlanamamıştır. Mantıksal regresyonla üretilen duyarlılık haritasının tahmin performansı teorik olarak % 100 ise, üretilen harita sadece mevcut kütle hareketlerini tahmin edecektir. Başka bir ifade ile haritadaki tüm alan yüksek duyarlı olarak sınıflandırılmış olacaktır. Gerçekte bu duyarlılık haritaları için çelişkili bir durumdur. Kuşkusuz ki, duyarlılık haritasının performansı yüksek olmalıdır, ancak % 100 olmamalıdır. Bununla beraber, 0/1 oranına bağlı olarak, tüm alan yüksek duyarlı olarak sınıflandırılabilir, bu durumda haritanın performansı da % 100 olabilir. Bu problemleri çözmek için Çan vd., (2005) tarafından, uygun 0/1 oranları seçmek için, iki ölçüt sunulmuştur. Bunlar; 1- duyarlılık haritası yüksek performans göstermelidir. 2- üretilen duyarlılık haritası her bir duyarlılık sınıfını içermelidir ve yüksek

duyarlılığa sahip alanların yayılımı mümkün olduğunca düşük olmalıdır aksi halde yukarıda belirtilen sorunla karşılaşılması mümkündür. Ayrıca duyarlılık haritalarında tüm alan farklı duyarlılık kategorilerine sahip olan alt sınıflara ayrılır. Çan vd., 2005 yaptıkları çalışmada, havzalara ait 0/1 oranı her bir havzada farklı olduğu için, mantıksal regresyon analizinde de farklı 0/1 oranları kullanarak akmalara ait duyarlılık dereceleri ve akmaların eklenik frekansları arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Belirtilen iki kuralı geçerli kılmak için, havzalara ait oluşturulan grafiklerde yaklaşık olarak $y=x$ 'i gösteren 0/1 oranı, mantıksal regresyon analizi için uygun olarak seçilmiş ve analiz işlemleri bu oranlar dikkate alınarak yapılmıştır. Daha sonra araştırmacılar 0/1 in uygun oranı ile havzalarda gözlemlenen 1/0 oranları arasındaki ilişkiyi incelemişler ve akma içeren (1) ve akma içermeyen (0) ların oranı [gözlenen (1/0)], ile çalışma için seçilen kabuledilebilir (uygun) 0/1 oranına bağlı olarak şekil 55'deki ilişkiyi elde etmiştir.



Şekil 55. Gözlenen (1/0) oranına karşı kabul edilebilir (uygun) 0/1 oranları (Çan vd., 2005)

Bu çalışmada da karşılaşılan benzer problemin çözümünde Çan vd., (2005) tarafından geliştirilen 0/1 oranının grafikte bulunduğu ampirik yaklaşım kullanılmıştır. Mantıksal regresyon analizi için oluşturulan alıştırma verileri için (training data) veri

matrisinden rastgele örnek (random sample) seçilirken 0/1 oranının belirlenmesinde aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır.

$$y = 6.6553e^{-0.2703.X} \quad (6)$$

Çalışmada 0/1 oranı, 6 nolu eşitliğe bağlı olarak, 6.55 olarak hesaplanmış ve analizde kullanılan 149 adet heyelanlı piksele (1) karşılık olarak 976 adet heyelan olmayan piksel (0) seçilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

Analiz Aşaması: Mantıksal regresyon analizi 10 farklı alıştırma verisi (training data) seçilerek yapılmıştır (Ek 1). Veri setleri oluşturulurken rastgele örnek seçimi yapılmıştır. Bu veri setleri üzerinde mantıksal regresyon analizi yapılarak, 10 farklı model oluşturulmuştur. Bu modeller için elde edilen (0), (1) ve genel doğruluğa ilişkin kestirim yüzdeleri Tablo 21’de verilmiştir.

Tablo 21. Analiz sonuçlarına ilişkin kestirim yüzdeleri

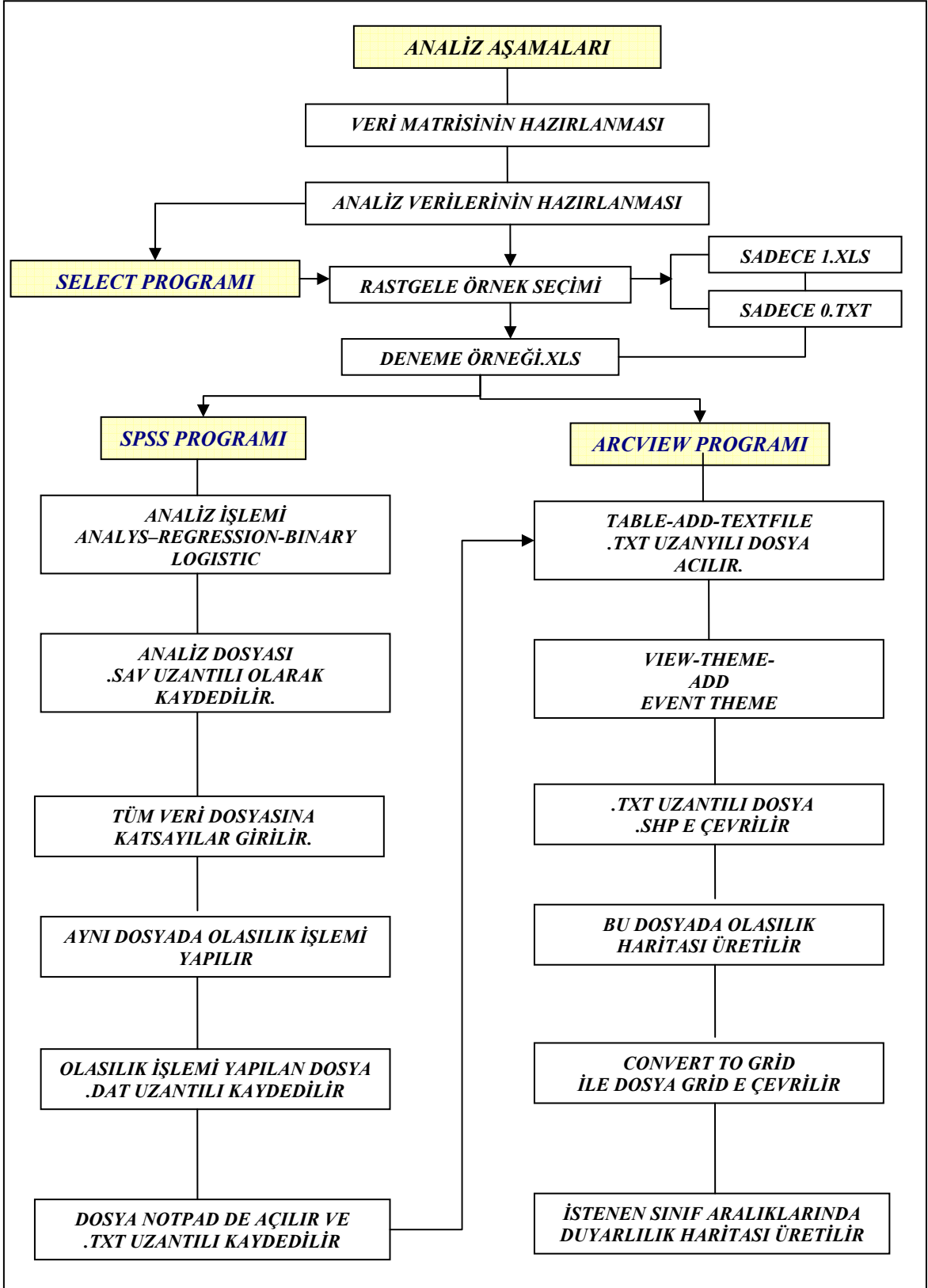
Veri Seti	Kestirim Yüzdeleri (%)		
	Heyelansız Piksel (0)	Heyelanlı Piksel (1)	Genel Doğruluk
1	96	65.1	91.9
2	95.6	69.8	92.2
3	96.7	48.3	90.3
4	96.4	62.4	91.9
5	97	66.4	93
6	96.8	64.4	92.5
7	96.4	67.8	92.6
8	95.6	69.8	92.2
9	94.6	70.5	91.4
10	96.9	54.4	91.3

Tablo 21 incelendiğinde, 9 nolu veri setinin heyelanlı pikselleri en iyi kestirim yüzdesine sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle mantıksal regresyon analizi ile heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde bu veri seti kullanılmıştır.

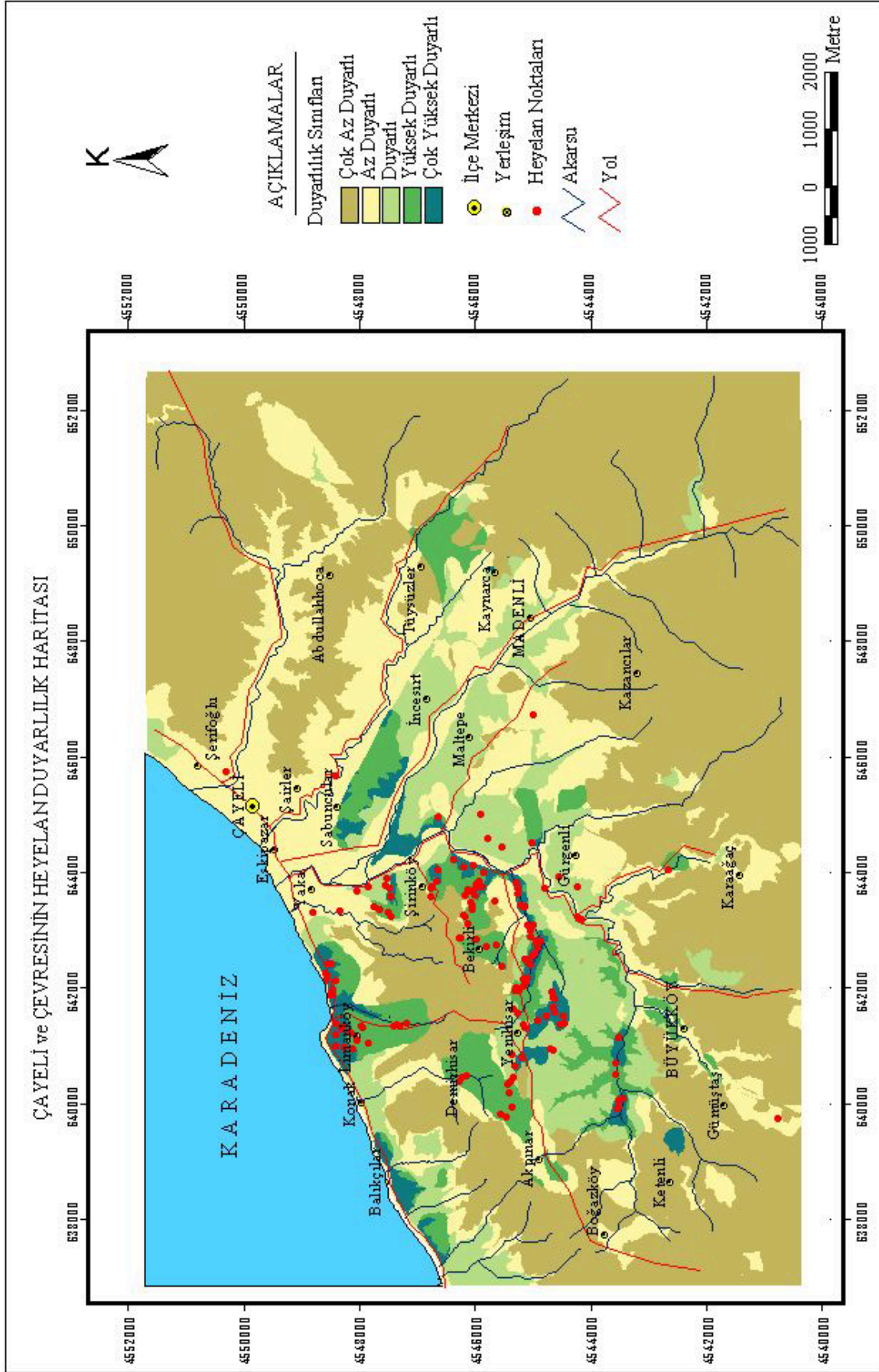
Analizin yapılması ile ilgili işlem akış şeması genel hatları ile Şekil 56’da verilmiştir. Analiz işlemi genel hatları ile şu şekilde gerçekleştirilmiştir. Öncelikle *select* programı kullanılarak veri seti içerisinde rastgele örnek seçimi işlemi gerçekleştirilmiştir.

Excel programında birleştirilen rastgele seçilmiş örnek dosyası “.xls” uzantılı olarak kaydedilmiştir. Mantıksal regresyon analizi için oluşturulan örnek seti *SPSS* programında açılmış ve farklı adımlarda analiz işlemi gerçekleştirilerek sonuçları içeren dosya “.dat” uzantılı olarak kaydedilmiştir. Aynı dosya *notpad* de açılarak “.txt” uzantılı olarak kaydedilmiştir. Sonra harita üretimi aşaması için CBS yazılımı olan *ArcView 3.2* programı kullanılmıştır. Şekil 56’da genel hatları ile verilen bir dizi işlem aşaması sonucunda olasılık haritası üretilmiştir. Daha sonra bu harita *grid* formatına çevrilmiş ve farklı duyarlılık sınıflarında çalışma alanının heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir (Şekil 57).

Analizde bağımsız değişkenleri sunmak için *forward stepwise* (ileriye doğru aşamalı analiz) yöntemi kullanılmıştır. Adımsal yöntemde mantıksal regresyon modeline anlamlı katkısı olan değişkenler belirlenir. Modele anlamlı bir katkı sağlayamayan değişkenler analizden çıkarılır ve kalan değişkenlerle analize devam edilir. Modele girecek değişkenler belirlenirken ileriye doğru aşamalı analiz yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem uygulanırken öncelikle sadece sabit terimi olan model kurulmuştur. Ardından her bir değişkenin, modelin log-olabilirlik değerine katkısı belirlenmiş ve en büyük katkısı olan değişken modele dahil edilmiştir. Modelin log-olabilirlik değerine katkısı % 5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı olan değişken modele alınmıştır. Böylece aynı işlem her bir adımda diğer değişkenler için tekrarlanmış ve log-olabilirlik değerine katkısı olan değişken kalmayınca kadar her adımda modele yeni bir değişken eklenmiştir. Ayrıca her adımda modelin log-olabilirlik değerine katkısı % 10 anlamlılık düzeyinde anlamlı olmayan değişken modelden çıkarılmıştır.



Şekil 56. Mantıksal regresyon analizi işlem akış şeması.



Şekil 57. Çayeli ve çevresinin mantıksal regresyon analizi ile hazırlanmış heyelan duyarlılık haritası

% 95 güven düzeyinde iteratif olarak gerçekleştirilen analizlerde iterasyon eşik değerleri (yakınsama) 0.1, sınıflama eşik değerleri 0.5 olacak şekilde analiz yapılmıştır. Aşamalı olarak ve en çok olabilirlik kestirim yöntemi kullanılarak yapılan analizler sonucunda elde edilen β katsayıları, standart hata ve test istatistiği değerleri Tablo 22’de verilmiştir.

Tablo 22. Analiz sonucunda elde edilen β katsayıları, standart hata ve test istatistiği değerleri

Parametre	β	Standart Hata	Wald İstatistiği	Serbestlik Derecesi	Sig.	Exp (β)
YDA-ANBA	1.042	0.466	5.004	1	0.025	2.833
YDA-DA	2.869	0.461	38.700	1	0.000	17.619
YDA-GR	1.994	1.108	3.240	1	0.072	7.344
TA-ANBA	3.464	0.368	88.606	1	0.000	31.960
TA-DA	5.597	0.575	94.896	1	0.000	269.494
ELV1	1.907	0.354	29.010	1	0.000	6.732
ELV2	1.250	0.301	17.260	1	0.000	3.492
ELV5	-17.735	2279.273	0.000	1	0.994	0.000
Sabit	-4.559	0.387	138.653	1	0.000	0.010

Tablo 22’deki parametreler; YDA-ANBA: Yüksek derecede ayrılmış andezit-bazalt ve piroklastları, YDA-DA: Yüksek derecede ayrılmış dasit ve piroklastları, YDA-GR: Yüksek derecede ayrılmış granit, TA-ANBA: Tamamen ayrılmış andezit-bazalt ve piroklastları, TA-DA: Tamamen ayrılmış dasit ve piroklastları, ELV1: 0-100m yükseklik sınıfı, ELV2:- 100-200m yükseklik sınıfı ve ELV5: > 400m yükseklik sınıfı

Geliştirilen mantıksal regresyon modelinde çalışma kapsamı içerisinde değerlendirilen 8 adet parametre sınıfı regresyon eşitliğinde yer almıştır. Tablo 22’ye göre, ELV5 olarak adlandırılan (> 400m) yükseklik sınıfı için kestirilen β katsayısı anlamlı bulunmamıştır. Buna karşılık tamamen ayrılmış dasit ve piroklastları (TA-DA) en önemli parametre olarak kestirilirken, tamamen ayrılmış andezit-bazalt ve piroklastları ve yüksek derecede ayrılmış dasit ve piroklastları diğer önemli parametrelerdir.

Duyarlılık haritasının üretildiği mantıksal regresyon analizi sonucunda çalışma alanı ve veri setine bağlı olarak elde edilen heyelanlı piksel (1), heyelan olmayan piksel (0) ve genel doğruluğa ilişkin kestirim yüzdeleri Tablo 23’de verilmiştir.

Tablo 23. (1)-(0) ve genel doğruluğa ilişkin kestirim yüzdeleri

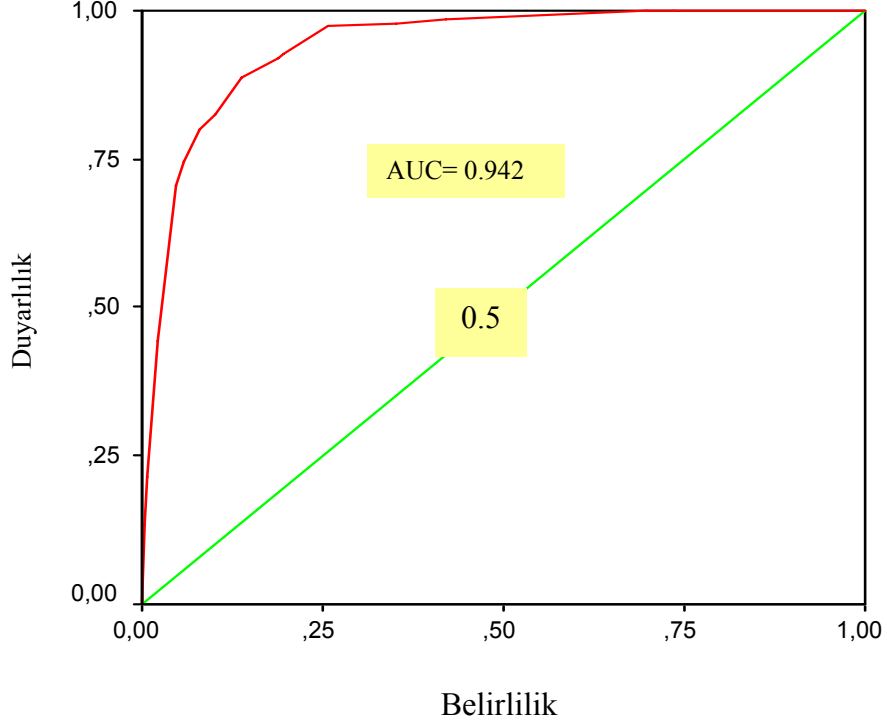
	Tahmin edilen Heyelanlı piksel (1)	Tahmin edilen Heyelansız Piksel (0)	TOPLAM	Kestirim Yüzdeleri
Gözlenen 1	105	44	149	70.5
Gözlenen 0	53	923	976	94.6
GENEL DOĞRULUK				91.4

Analiz için rastgele seçilen örneklerden 149 adet heyelanlı pikselin 105 adeti doğru olarak tahmin edilmiş ve kestirim yüzdesi 70.5 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde çalışma alanı içerisinde rastgele seçilen 976 adet heyelansız pikselden 923 tanesi doğru olarak tahmin edilmiş ve kestirim yüzdesi 94.6 olarak belirlenmiştir. Analize ilişkin genel doğruluk oranı ise % 91.4 olarak saptanmıştır. Bu değerler analizin yeterli seviyede tutarlı olduğunu göstermektedir.

Mantıksal regresyon modelinin uyumluluğunu belirlemek için kullanılan önemli istatistik değerlendirmelerden biri ROC (Relative Operating Characteristic) değeridir. Genel anlamda bu değer mevcut heyelanların olduğu harita (envanter) ile olasılık haritasını karşılaştırmaktadır. ROC eğrisi altında kalan alana ilişkin değer 0 ile 1 arasında değişmekte olup, 1 değeri mükemmel, 0.5 değeri de rastgele bir uyumu belirtmektedir. Bu değer 0.5 ile 1 arasında bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi belirtmektedir. ROC değeri ne kadar büyük olursa aradaki uyumda o kadar iyidir. ROC eğrisi altında kalan alan, heyelan olması muhtemel alanlarla, heyelan olmaması beklenen alanları ayırt edebilme başarısının en iyi göstergesi olarak kabul edilir (Ayalew ve Yamagishi, 2005; Lee, 2005). Çalışmada yapılan mantıksal regresyon analizi sonucu model uyumluluğunu test etmek için ROC değerlendirmesi yapılmıştır (Şekil 58). ROC değerlendirmesinden elde edilen AUC (area under curve-eğrinin altındaki alan) değeri 0.942 olarak bulunmuştur. Bu değer modelin uyumunun iyi olduğunu ve heyelanlı bir pikselin heyelansız bir piksele göre ileride heyelana maruz kalabilme olasılığının % 94.2 olduğunu göstermektedir.

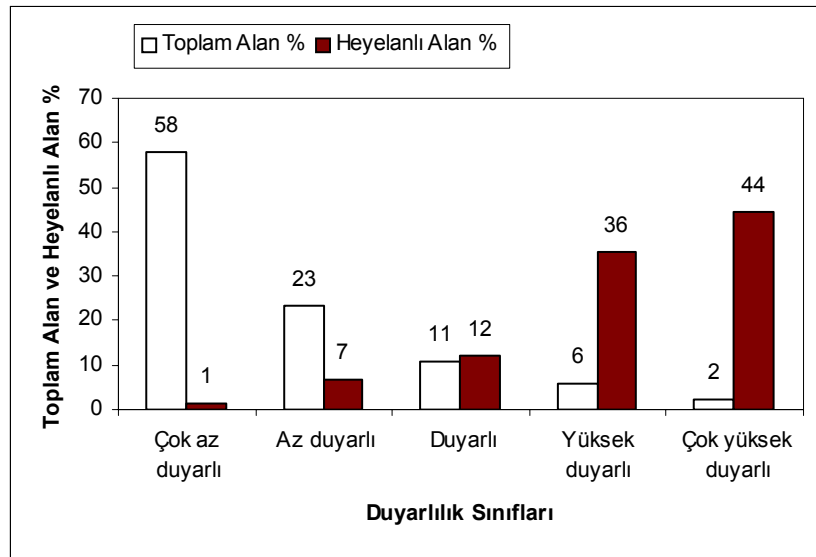
Gerek heyelanlı piksel(1), heyelansız piksel (0) ve genel doğruluğa ilişkin kestirim yüzdeleri, gerekse ROC değerlendirmesinden elde edilen AUC değerine bağlı olarak çalışma alanı için mantıksal regresyon analizi ile başarılı ve tutarlı bir modelin geliştirildiği söylenebilir.

ROC Eğrisi



Şekil 58. Mantıksal regresyon modeline göre geliştirilen ROC eğrisi.

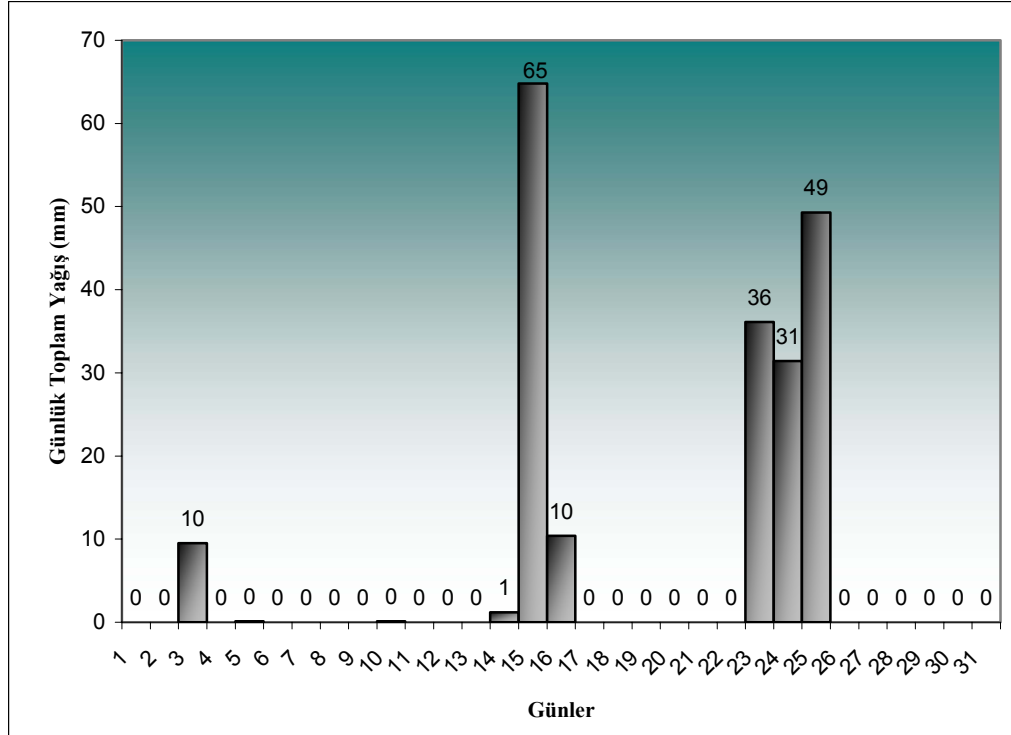
Heyelan duyarlılık haritalarının performansı değişik yöntemlerle test edilmektedir. Bu çalışmada üretilen duyarlılık haritası, heyelan envanter haritası ile karşılaştırılarak duyarlılık sınıflarına ait toplam alanlar ve duyarlılık sınıflarındaki heyelan yüzdeleri hesaplanmıştır (Şekil 59). Duyarlılık haritasında yüksek ya da çok yüksek duyarlı alanların çalışma alanı içerisinde kapladıkları alanların minimum olması istenirken, bu sınıflardaki heyelan yüzdelerinin en yüksek seviyede olması gerekmektedir.



Şekil 59. Duyarlılık analizine ilişkin performans analizi histogramı

Şekil 59 incelendiğinde duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanların % 19 değerleri ile toplam alan içerisinde en az dağılım alanına sahip oldukları görülmektedir. Oysa bu alanlara karşılık gelen toplam heyelan yüzdesi % 92'dir.

Çayeli ve çevresine yönelik olarak mantıksal regresyon analizi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasına göre, inceleme alanının % 19'u duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara rastlamaktadır. Aynı zamanda özellikle 23 Temmuz 2002 ve takip eden birkaç günlük sürede gerçekleşen aşırı ve şiddetli yağışlarla tetiklenen heyelanların da % 92 gibi büyük bir oranı bu alanlarda bulunmuştur. Bu harita incelenen alan için heyelana duyarlı alanları göstermektedir. Bölgede gelecekte Temmuz 2002 deki benzer meteorolojik koşullar oluştuğunda (Şekil 60), üretilen haritanın gerçek performansı değerlendirilebilir. Ancak, üretilen duyarlılık haritalarının bölgesel planlama ve mühendislik projelerinin tasarımında da kullanılabileceğini söylenebilir.



Şekil 60. Rize ili 2002 yılı Temmuz ayına ait günlük yağış verileri (Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü).

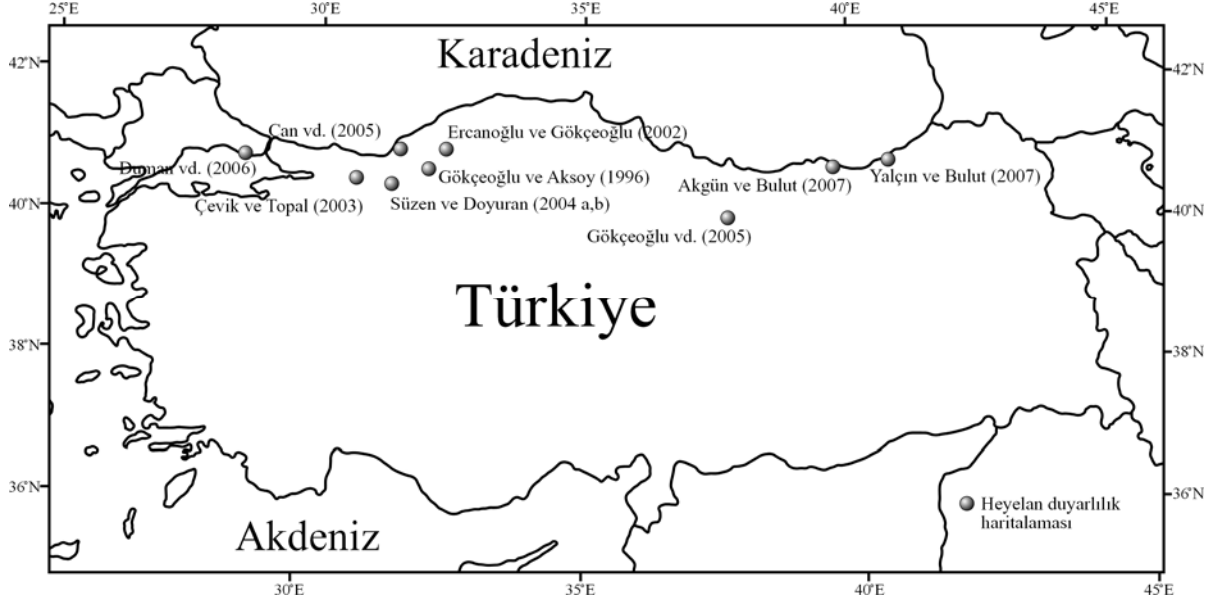
4. İRDELEME

İnsan hayatını ve çevresel koşulları olumsuz yönde etkileyen en önemli doğal tehlikelerden biri olan heyelanlara yönelik pek çok çalışma yapılmaktadır. Konu ile ilgili olarak yapılan ilk çalışmalar daha ziyade yerel duraysızlıkların incelenmesi yönünde gerçekleştirilmiştir. Ancak zaman içerisinde yeni yerleşim alanlarının gerekliliği, bölgesel planlamalara olan ihtiyaç vb. nedenlerden dolayı heyelanlarla ilgili çalışmalarda orta ve bölgesel ölçekli çalışmalar önem kazanmıştır. Bu tür çalışmaların başlangıç aşamasını, mevcut heyelanların alansal dağılımlarını gösteren envanter haritalarının hazırlanması oluşturmaktadır. Duyarlılık, tehlike ve risk değerlendirmeleri ve bunlara yönelik haritaların hazırlanması heyelan çalışmalarının diğer önemli aşamalarıdır.

Dünya geneline bakıldığında özellikle duyarlılık haritalarının üretilmesi ve uygulamada kullanılması ile ilgili olarak önemli bir mesafe katedildiği görülmektedir. Heyelan tehlike ve risk değerlendirmeleri ve bunlara yönelik haritaların üretilmesi ile ilgili çalışmalar duyarlılık haritaları çalışmaları kadar olmasa da dünya genelinde belirli bir aşamaya gelmiştir.

Ülkemizde heyelanlarla ilgili bu tür çalışmalara öncülük etmesi açısından Bulut vd. (1993) tarafından Fındıklı (Rize) yöresinde gerçekleştirilen heyelan isopleth haritası ile ilgili çalışma örnek teşkil etmektedir. Araştırmacılar, Fındıklı yöresi için hazırladıkları isopleth haritası yardımıyla yörede heyelan açısından tehlikesiz, düşük ve orta derecede tehlikeli olmak üzere 3 zon ayırtlamışlardır. Bu çalışma heyelandan etkilenebilecek alanların göreceli olarak önem derecesine göre haritalanması konusunda ülkemizdeki ilk çalışmalardan biri olması açısından önemlidir. Daha sonrasındaki teknolojik gelişmeler, bilgisayar destekli sayısal tabanlı haritaların üretimi ve heyelan çalışmalarında kullanılan bu tür uygulamalar bu yöndeki çalışmaları geliştirmiştir. Ancak dünya ile kıyaslandığında ülkemizde gerçekleştirilen heyelan çalışmaları henüz duyarlılık aşamasında ve sınırlı sayıdadır (Şekil 61). Ülkemizde gerçekleştirilen ve literatüre girmiş olan 9 adet çalışma mevcut olup, yeni yayınlanma aşamasında olanlarla birlikte bu sayı biraz daha artacaktır. Bu çalışmalar araştırma boyutunda olup üniversiteler tarafından ve akademik düzeyde gerçekleştirilmektedir. Yine ülkemizde heyelan tehlikesi ve risk değerlendirilmesi

konularında ise henüz yayınlanmış bir çalışma yoktur. Ancak bu konuda akademik araştırmalar yapılmaktadır.



Şekil 61. Ülkemizde gerçekleştirilen heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması ile ilgili çalışmalar (Gökçeoğlu vd., 2006'dan güncellenmiştir).

Bu bölümde Çayeli ve çevresine yönelik olarak yapılan heyelan duyarlılık analizi ile ilgili çalışmada kullanılan parametre ve yöntemler irdelenmiştir. Ayrıca farklı yöntemlerle hazırlanan heyelan duyarlılık haritalarının birbirleri ile uyumları incelenmiştir.

4.1. Çalışmada Kullanılan Parametreler

Bu çalışmada heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde, heyelan envanter haritası temel altlığı oluşturmuştur. Heyelana neden olabilecek faktörlerin seçiminde ise öncelikle çalışma alanına ait koşullar göz önüne alınmış ve arazi çalışmalarında yapılan gözlem ve incelemelerden yararlanılmıştır. Zaman, maliyet, veri elde etmede yaşanan olumsuzluklar (örneğin yağış verisi) vb. bazı koşullar parametre seçimini etkileyen diğer unsurları oluşturmaktadır. Çalışmada, jeolojik olarak litoloji-ayırışma faktörü, topoğrafik faktörlerden yamaç eğimi, yamaç eğim yönü (bakı), topoğrafik yükseklik ve akarsuya yakınlık ile çevresel faktörlerden arazi örtüsü ve yola yakınlık faktörleri kullanılmıştır.

Envanter haritasının hazırlanmasında arazi çalışmalarından yararlanılmıştır. Arazi çalışmasının tercih edilmesinin değişik nedenleri vardır. Parametre haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmaların anlatıldığı bölümde de bu nedenlerden yer yer

bahsedilmiştir. Ancak konu bu bölümde doğrudan bu yönü ile tartışılmıştır. Çalışma alanında 23 Temmuz 2002 ve takip eden birkaç günlük sürede meydana gelen aşırı ve şiddetli yağışların tetiklediği heyelanların boyutları küçüktür. Bu heyelanlar boyutları dikkate alınarak 1/25000 ölçekli topoğrafik haritaya alan olarak geçirilememiş, bunun yerine nokta olarak gösterilmiştir. Çalışma alanı yoğun bitki örtüsü ile kaplıdır. Arazi örtüsünün büyük bir kısmını (yaklaşık olarak % 94), tarımsal ve ormanlık alanlar oluşturmaktadır. Bu alanlar birbirleri ile iç içe olup ayrımları son derece güçtür. Tarımsal faaliyetler yörede çoğunlukla çay tarımına yönelik olarak yapılmaktadır. Çay bitkisi kısa sürede yetişmektedir. Bu durumlar dikkate alındığında çoğu çaylık alanlar içerisinde gerçekleşen bu tür heyelan alanları hem boyutlarının küçük olması hem de çay bitkisinin kısa sürede yetişmesi gibi nedenlerden dolayı kapanmakta ve mevcut heyelanların gözlenmesi zorlaşmaktadır. Dolayısıyla envanter haritasının hazırlanmasında uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarının yerine direk arazi çalışmaları tercih edilmiştir.

4.1.1. Jeolojik Parametreler

Heyelan duyarlılık çalışmalarında hazırlayıcı faktörler arasında en sık kullanılan jeolojik faktörü litoloji oluşturmaktadır. Bunun en önemli gerekçesi, heyelanların oluşabileceği jeolojik malzemenin özelliklerinin yamaç duraysızlığını doğrudan etkilemesidir. Farklı litolojik birimlerin kaymaya karşı hassasiyeti farklıdır. Bu parametrenin haritalanabilir olması ve duyarlılık haritalarında sayısal olarak belirtilebilmesi kullanımını kolaylaştırmaktadır. Ayrıca çoğu bölgede bu tür haritaların mevcut olması kullanım sıklığının bir diğer nedenidir. Aslında jeolojik parametreler içerisinde yamacı oluşturan malzemenin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi ve güvenlik sayılarının hesaplanarak duyarlılık haritalarının üretiminde bu özelliklerden faydalanılması çok önemlidir. Ancak özellikle orta ve bölgesel ölçekli çalışmalar için sağlıklı bir jeoteknik çalışma yapmak hemen hemen imkansızdır. Çünkü yamacı oluşturan malzemenin özellikleri çok dar alanlarda değişim göstermektedir. Dolayısıyla özellikle orta ve bölgesel ölçekli çalışmalarda makaslama dayanım parametrelerini elde etmek bir hayli zaman alıcı ve bunlara bağlı olarak makaslama dayanımını temsil edecek haritayı hazırlamak çok güçtür. Bu parametre bundan dolayı özellikle orta ve bölgesel ölçekli duyarlılık haritalarının hazırlanmasında tercih edilmemektedir.

Çalışma alanında kayaçların ayrışma durumları büyük önem arz etmektedir. Aynı litolojiye sahip birimler ayrışma derecelerindeki değişimlere göre farklı duraylılık özelliklerine sahiptirler. Bu durum yapılan saha çalışmalarında açıkça görülmüştür. Arazide gözlenen mevcut heyelanlar çoğunlukla aynı litolojik birimlerin farklı ayrışma derecelerine ait sınıflarında farklılık sunmuştur. Özellikle tamamen ayrışmış ve reziduel zemin özelliğindeki malzemelerde heyelan yoğunluğu, az veya orta derecede ayrışmış litolojilere oranla çok fazla gözlenmiştir. Bu tür arazi inceleme ve gözlemlerine dayanarak litoloji parametresi tek başına değerlendirilmemiştir. Kayaçların ayrışma dereceleri de belirlenerek litoloji-ayrışma durumu heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında bir parametre olarak kullanılmıştır. Bu durumun gerekliliği yapılan analiz sonuçlarında da açıkça görülmektedir. Her iki yöntemle hazırlanan duyarlılık haritalarında litoloji-ayrışma parametresinin belirleyici olduğu açıktır. Özellikle parametre sınıfı içerisinde heyelan yoğunluklarının yüksek olması bu durumu ağırlık değerine de yansıtmıştır. Dolayısıyla da bu parametre heyelan oluşumunda çalışma alanı için en önemli hazırlayıcı parametre olmuştur.

4.1.2. Topoğrafik Parametreler

Çalışmada, topoğrafik parametrelerin üretilmesinde 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalardan yararlanılmıştır. Bilgisayar ortamında eşyükseklik eğrilerinin sayısallaştırılması ve gerekli işlemlerin yapılması ile çalışma alanının sayısal yükseklik modeli hazırlanmıştır. Sayısal yükseklik modelinin oluşturulmasında piksel boyutu 25m olarak seçilmiştir. Yapılan analizlerde de 25x25 m lik grid ağı temel alınmıştır. Bunun gerekçelerini şöyle açıklanabilir:

✓ Literatürde benzer çalışmalarda çalışma ölçeği dikkate alındığında piksel boyutu bu şekilde seçilmiştir (Ercanoğlu, 2003; Süzen, 2002).

✓ USGS tarafından yapılan çalışmalarda 1/24000 ölçekli kaynak verilerden üretilen haritalar için 30 m çözünürlüğün kullanımının uygun olduğu belirtilmektedir (Wilson ve Gallant, 2000).

✓ Ayrıca inceleme alanı için heyelan alanlarına ilişkin ortalama değer 658.74 m^2 olarak belirlenmiştir. Yapılan analizlerde heyelanların nokta olarak belirtildiği ve her bir heyelanında bir pikselle ifade edildiği göz önüne alındığında, mevcut heyelanları en iyi temsil edecek piksel boyutunun 25x25 m olacağı düşünülmüştür.

Sayısal yükseklik modelinden hareketle eğim, bakı, topoğrafik yükseklik parametreleri üretilmiştir. Araştırmacılar arasındaki genel eğilim, yamaç eğiminin artmasıyla, heyelana karşı duyarlılığın da artacağı yönündedir (Bulut vd., 1995; Gökçeoğlu ve Aksoy, 1996; Lee ve Min, 2001; Donati ve Turrini, 2002; Lee vd., 2002; Zhou vd., 2002; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002; Dai ve Lee, 2002; Santacana vd., 2003; Ohlmacher ve Davis, 2003; Ayalew vd., 2004; Lee, 2005, Yalçın, 2005). Çalışma alanında heyelanlı alanlar dikkate alındığında mevcut heyelanların % 66'sı 10^0 - 30^0 arasında değişen eğim değerine sahip yamaçlarda gelişmiştir. Heyelan yoğunluğu (%) değerleri dikkate alındığında ise, 0^0 - 20^0 arasında değişen yamaç eğimi sınıflarında heyelan yoğunluğu yaklaşık % 59 civarındadır. Bu durum çalışma alanında bu eğim aralığının her ne kadar heyelan oluşumunda önemli olduğunu belirtse de, bu konuda diğer faktörlerin etkili olduğu düşünülmektedir.

Topoğrafik parametrelere ilişkin değerlendirilebilecek diğer bir husus düşük yükseklik değerlerine sahip alanlarda heyelan yoğunluklarının yüksek çıkmasıdır. Heyelan yoğunluklarına (%) göre yükseklikler değerlendirildiğinde, 0-200 m aralığında heyelan yoğunluğunun çok yüksek olduğu (% 84) görülmektedir. Bu değer % 84 lerde olması 0-200 m yüksekliğe sahip alanların çalışma alanı için heyelan açısından hassasiyetinin de bir göstergesidir. Analiz aşamalarında, özellikle tüm parametrelerin bir arada değerlendirildiği mantıksal regresyon analizinde de bu yükseklik aralıkları anlamlı bulunmuş ve ağırlık değerleri de diğer parametre sınıflarına göre yüksek çıkmıştır. Bunun nedeninin yörede yerleşim alanlarının ve tarımsal faaliyetlerin daha çok düşük kotlardaki alanlarda yoğunlaşması ile ilgili olduğu düşünülmektedir.

Çalışma alanında yapılan değerlendirmelerde güneye bakan yamaçların diğerlerine oranla göreceli olarak heyelan oluşumunda etkili olduğu görülmektedir. Bu durum heyelanların meydana geldiği dönemdeki meteorolojik koşullarla ilişkilendirilmektedir. Yani yağışın güneyden itibaren belli bir hat boyunca etkili olmasının bu yöne bakan yamaçları daha doymuş hale getirdiği, dolayısıyla da heyelana daha hassas olmasına neden olduğu düşünülmektedir.

4.1.3. Çevresel Parametreler

Çalışma alanında heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde çevresel parametre olarak arazi örtüsü ve yola yakınlık faktörleri kullanılmıştır. Çalışmada arazi örtüsü

haritasının hazırlanmasında ASTER L3A uydu görüntüsü kullanılarak kontrollü sınıflandırma sisteminden yararlanılmıştır. Bölgede arazi örtüsü sınıfları karmaşık bir yapıda olup adeta birbiri ile iç içedir. Her ne kadar sahil kesimleri toplu yerleşim alanlarını içerse de, daha iç kesimlerde dağınık yerleşim alanları bulunmaktadır. Tarımsal alanlar içerisinde yer alan bu alanların ayrı ayrı yerleşim alanı olarak belirlenmesinde zorluklar yaşanmakta ve bu durum oluşturulan arazi sınıflandırmalarına da yansımaktadır. Daha da önemli bir sorun tarımsal ve ormanlık alanların sınırlarının görüntü ile iyi ayrılabilmesidir. Bunun nedeni yöredeki tarımsal alanlar çoğunlukla çay bitkisinden oluşmaktadır. Özellikle görüntünün alındığı aylarda (Temmuz), bu tür alanların yansıma değerleri geniş yapraklı ağaçlardan oluşan ormanlık alanların yansıma değerleri ile çok benzer, hemen hemen aynıdır. Bu durum her iki alanın ayrılmasını güçleştirmiştir. Genel olarak hem bölge arazisinin kapalı olması, hem de ormanlık bölge içerisindeki alanların kısmen tahrip edilmesi ve tarımsal alana dönüştürülmesi bu iki sınıfın ayrımını zorlaştırmıştır. Bu tür olumsuzluklar genel sınıflandırma doğruluğunun arzu edilen düzeyde olmamasına neden olmuştur.

Heyelan duyarlılık çalışmalarında hazırlayıcı faktörler arasında kullanılan çevresel faktörlerden bir diğeri yola yakınlıktır. Arazi çalışmaları süresince, önceden açılan yolların etkisiyle heyelanların geliştiği gözlenmiş ve yola yakınlık parametresinin duyarlılık analizlerine dahil edilmesi uygun görülmüştür. Yola yakın olan alanlarda heyelan yoğunluğu daha yüksek iken, yoldan uzaklaştıkça heyelan yoğunluğunda da göreceli olarak bir azalma söz konusudur. Bu durumda yamaçlarda açılan yollar, yamaç topuğunda ve topoğrafyada yük azalmasına, yamaç gerisinde de gerilme artışlarına ve gerilme çatlaklarının oluşmasına neden olmuştur. Aynı zamanda yamaçlardan alınan malzeme şevin eğimini artırmış ve denge halinde olan yamacın stabilitesini bozmuştur. Bu nedenle yola yakın olan yamaçlarda heyelan yoğunluğu yola uzak olan yamaçlara oranla göreceli olarak fazladır.

4.2. Çalışmada Kullanılan Yöntemler

Bu çalışma kapsamında hem heyelan yoğunluğunu dikkate alarak her bir parametrenin envanter haritası ile ayrı ayrı değerlendirilmesi neticesinde ağırlık değerleri oluşturulan iki değişkenli istatistiksel analiz hem de parametreleri bir arada değerlendirerek

ağırlıklandırılan çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden mantıksal regresyon analizi uygulanarak çalışma alanının heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur.

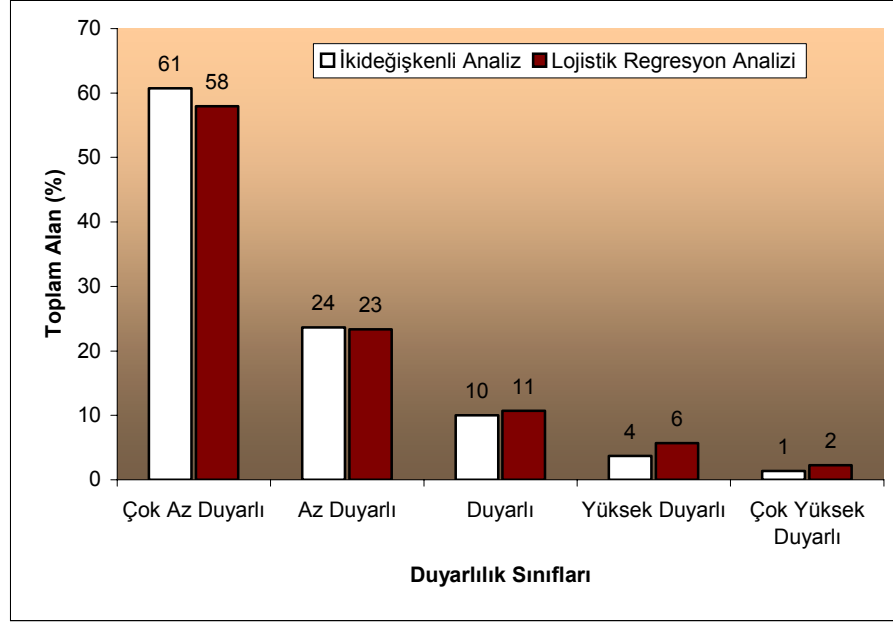
İki değişkenli istatistiksel analiz yönteminde her bir parametre haritası ayrı ayrı heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmış ve parametre sınıflarının ağırlık değerleri hesaplanmış ve bunların toplamından da parametre ağırlıkları belirlenmiştir. Parametre sınıfları heyelan yoğunluğu değerlerinden faydalanarak puanlanmış ve yeni değerlere göre parametreler yeniden sınıflandırılmıştır. Daha sonra gerekli aşamalar uygulanarak duyarlılık haritası üretilmiştir. Her bir parametre tek tek heyelan envanter haritası ile karşılaştırıldığı için değerlendirmeler ikili yapılmıştır. Bu değerlendirmelere göre, tamamen ayrılmış dasit ve piroklastları ile tamamen ayrılmış andezit bazalt ve piroklastlarının heyelan oluşumunda etkili olduğu düşünülmektedir. Yine eğim sınıflarından 0^0 - 20^0 arası, bakı sınıflarından güneye bakan yamaçlar, topoğrafik yükseklik sınıflarından 0-200 m arasındaki yükseklik sınıfları elde edilen değerlere göre önemli görülmüştür. Benzer şekilde tarımsal alan ve yerleşim alanlarından oluşan arazi sınıfları ile, 0-100 m arasındaki akarsu ve yola yakınlık sınıfları da ikili karşılaştırmalarda önemli olarak değerlendirilen parametre sınıflarıdır.

Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan diğer bir yöntem mantıksal regresyon analizidir. Mantıksal regresyon analizi ile duyarlılık haritası üretilirken kullanılan parametreler bir arada değerlendirilerek heyelan oluşumundaki etkileri belirlenmiştir. Dolayısıyla iki değişkenli analizde etkili olabilen bir takım parametre sınıfları bu analizle anlamlı bulunmamıştır. Bu durum iki değişkenli analizde parametrelerin tek tek karşılaştırılmasından kaynaklanmaktadır. Aslında bu durumda parametreler göreceli olarak etkili olmakta ve parametre sınıfları da heyelan yoğunluklarına göre etkili olarak değerlendirilmektedir. Oysa mantıksal regresyon analizinde parametreler bir arada değerlendirildiğinden heyelan oluşumunda daha fazla etkiye sahip olan parametreler yada onlara ait sınıflar daha anlamlı bulunmuş ve analize dahil edilmiştir. Yani iki değişkenli analizde parametreler birbirinden bağımsız değerlendirildiği için kendi içlerinde önemli etkileri olsa bile birarada değerlendirildikleri zaman bu etki değerleri azalmakta ya da daha etkili parametreler öne çıkmaktadır.

Yine de her iki yöntemle hazırlanan duyarlılık haritalarının performans analizleri dikkate alındığında, her ikisinin de kullanılabilir özelliğe sahip olduğu rahatlıkla söylenebilir. Ancak parametreleri bir arada değerlendirmesi ve de daha yüksek performans

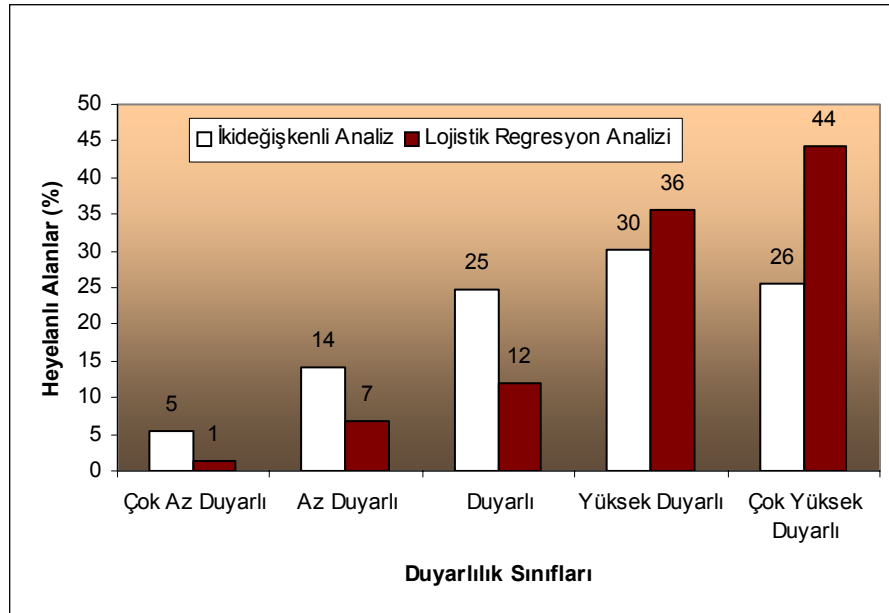
göstermesi dolayısıyla mantıksal regresyon analizi ile üretilen duyarlılık haritası daha güvenilirdir.

Üretilen duyarlılık haritalarının birbirleri ile olan uyumlarını karşılaştırmak amacıyla duyarlılık sınıflarına karşılık gelen toplam alanların ve heyelan alanlarının yüzde değerleri hesaplanarak, bunlara ait histogramlar hazırlanmıştır (Şekil 62,63).



Şekil 62. Farklı duyarlılık haritalarında, duyarlılık sınıflarındaki toplam alanların dağılımı

Şekil 62 incelendiğinde, her iki yöntemle hazırlanmış olan duyarlılık haritalarına ait duyarlılık sınıflarının çalışma alanı içerisindeki toplam alansal dağılımları birbirlerine çok yakın olup, iyi bir uyum gösterdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 63. Farklı duyarlılık haritalarında, duyarlılık sınıflarındaki heyelanlı alanların dağılımı

Şekil 63'de görüldüğü gibi duyarlılık sınıfları içerisindeki heyelanlı alanların dağılımları her iki yöntemde de çok az duyarlıdan çok yüksek duyarlı sınıfa doğru giderek artmaktadır. Ancak duyarlılık sınıfları içerisindeki dağılım yüzdeleri her iki yöntemde farklılıklar göstermektedir.

Bu durum yöntemler arasındaki farklı uygulamadan kaynaklanmaktadır. Aynı farklılık heyelan duyarlılık haritaları karşılaştırıldığında da görülmektedir. Genel bir uyum söz konusu olsa da, kimi yerlerde duyarlılık alanları farklılıklar göstermektedir. Örneğin, sahil kesimine yakın olan bazı alanlar iki değişkenli analizle üretilen haritada duyarlı ve yüksek duyarlı alanları göstermesine rağmen, mantıksal regresyon analizi ile üretilen haritada bu alanlar az duyarlı alanlara karşılık gelmektedir. Yerleşim alanlarının yoğun olduğu bu alanlar, aynı zamanda eğim ve yüksekliğin de az olduğu alanlardır. İki değişkenli analizlerde parametrelerin bu sınıflarına karşılık gelen heyelan yoğunluklarının yüksek olması, bu alanların duyarlılığının da yüksek olduğunu göstermektedir. Her iki duyarlılık haritası da kullanılabilir performansa sahip olmasına rağmen, özellikle parametrelerin bir arada değerlendirildiği mantıksal regresyon analizinin daha başarılı sonuçlar ürettiği düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR

Ülkemizde heyelanların çok sık meydana geldiği Doğu Karadeniz Bölümü'nde Çayeli (Rize) ilçesi ve çevresinde 23 Temmuz 2002 ve takip eden birkaç günlük süredeki meteorolojik anomaliye bağlı olarak oluşan heyelanlara ait envanter ve duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik olarak gerçekleştirilen bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

1. Çayeli ve çevresinin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış ve inceleme alanında yüzeylenen litostratigrafi birimleri yaşlıdan gence doğru; Hemşindere Formasyonu (Santoniyen-Maastrichtiyen), Kaçkar Granitoyidi (Geç Maastrichtiyen), Melyat Formasyonu (Erken-Orta Eosen), Pazar Formasyonu (Sarmasiyen) ve Alüvyon (Kuvaterner) olarak ayırtlanmıştır.

2. Çalışma alanında, 23 Temmuz 2002 ve takip eden birkaç günlük süredeki aşırı ve şiddetli yağışlara bağlı olarak, özellikle yüksek derecede ve tamamen ayrılmış kayalarda gerçekleşen, 149 adet heyelan arazi çalışmalarıyla belirlenmiş ve heyelan envanteri oluşturulmuştur. Tespit edilen 149 adet heyelanın toplam alanları 98151 m² ve alansal ortalamaları 658.74 m² dir. Yapılan arazi çalışmaları ve gözlemleri neticesinde, çalışma alanında gerçekleşen heyelanların dairesel kayma ve toprak akması şeklinde geliştiği belirlenmiştir.

3. Çalışma konusu ile ilgili olarak, dünyada bu konudaki son durumu değerlendirmek ve yapılacak olan duyarlılık çalışmasında mevcut gelişmelerden faydalanarak en sağlıklı sonuçları elde edebilmek için ayrıntılı bir literatür araştırması yapılmıştır. Özellikle duyarlılık çalışmalarında kullanılan yöntem ve parametreler değerlendirilmiştir. Kullanılan yöntemlere ilişkin olarak;

a- Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinde, son yıllarda en fazla kullanılan yöntem istatistiksel yöntemlerdir. Bu yöntemin sıklıkla kullanılmasında, veri değerlendirmede diğer yöntemlere oranla daha objektif olması ve coğrafi bilgi sistemleri ile bilgisayar

teknolojisindeki gelişmeler paralelinde bu tür işlemlerin daha sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi etkili olmaktadır.

b- Parametre haritalarının çakıştırılması ile duyarlılık haritalarının hazırlanması yöntemi, daha önceki yıllarda olduğu gibi yaygın olarak kullanımı devam etmektedir.

c- Duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmalarda, kullanımı diğer yöntemlere göre daha yeni olmasına rağmen, yapay zeka yöntemleri (bulanık mantık ve yapay sinir ağları) ile hazırlanan duyarlılık haritalarının sayısı da dikkat çekecek düzeydedir.

Kullanılan parametrelerle ilgili olarak; eğim, litoloji, yamaç eğim yönü (bakı), arazi kullanımı parametreleri konusunda araştırmacılar arasında hemen hemen bir görüşbirliği sözkonusudur. Özellikle eğim ve litoloji parametreleri bu konuda gerçekleştirilen birkaç çalışma haricindeki tüm çalışmalarda kullanılmıştır. Ayrıca arazi kullanımı ve bitki örtüsü parametreleri beraber değerlendirildiğinde eğim ve litolojiden sonra en fazla kullanılan parametre olduğu, bakı, drenaj ağı, yükseklik ve ana faylara yakınlık parametreleri de sık kullanılan diğer parametreler oldukları görülmüştür.

4. Hem Literatür araştırmalarında hem de arazi çalışmaları ile Çayeli ve çevresi için heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde litoloji-ayırışma, eğim, bakı, topoğrafik yükseklik, arazi örtüsü, akarsuya yakınlık ve yola yakınlık parametrelerinin etkili olabilecekleri düşünülmüş ve analizlerde bu parametreler değerlendirilmiştir.

5. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametre sınıflarının çalışma alanı içerisindeki alansal dağılımları aşağıdaki şekilde tespit edilmiştir:

- ✓ Çalışma alanının % 7'si tamamen ayrıışmış, % 24'ü yüksek derecede ayrıışmış, % 47'si orta derecede ayrıışmış ve % 22'si de az ayrıışmış kayalardan oluşmuştur.
- ✓ Çalışma alanının % 7.34'ü 0-10 derece, % 19.27'si 10-20 derece, % 36.92'si 20-30 derece, % 32.12'sin 30-40 derece ve % 4.34'ü 40 dereceden büyük eğim değerlerine sahiptir.
- ✓ İnceleme alanının % 1.61'i düz, % 29.41'i kuzey, % 20.80'i doğu, % 21.41'i güney ve % 26.76'sı batıya bakan yamaçlardan oluşmuştur.
- ✓ Çalışma alanının % 10.06'sı 0-100 m, %18.24'ü 100-200 m, % 22.52'si 200-300 m, % 18.59'u 300-400 m ve %30.59'u 400 m'den büyük yüksekliklerden meydana gelmiştir.

- ✓ İnceleme alanının % 3.95'i yerleşim alanı, % 40.23'ü tarımsal alanlar, % 53.91'i ormanlık alanlar, % 1.63'ü örtüsüz arazi ve % 0.27'si de kayalıklardan oluşmuştur.
- ✓ Akarsuya yakınlık sınıflarına göre, çalışma alanının % 8.35'i 0-50 m, % 8.15'i 50-100 m, % 8'i 100-150 m, % 7.74'ü 150-200 m, % 7.39'u 200-250 m ve % 60.37'si 250 m'den fazla uzaklıklardadır.
- ✓ Yola yakınlık sınıflarına göre, çalışma alanının % 5.79'u 0-50 m, % 4.48'i 50-100 m, % 4.67'si 100-150 m, % 4.22'si 150-200 m, % 4.51'i 200-250 m ve % 76.34'ü de 250 m'den fazla uzaklıklardadır.

6. Parametre sınıfları içerisindeki mevcut heyelanların alansal dağılımları aşağıdaki gibidir.

- ✓ Mevcut heyelanların % 75.84'ü tamamen ayrılmış, % 16.78'i yüksek derecede ayrılmış, % 2.68'i orta derecede ayrılmış ve % 4.02'si de az ayrılmış kayalarda gerçekleşmiştir.
- ✓ Heyelanların % 12.75'i 0-10 derece, % 25.50'si 10-20 derece, % 40.27'si 20-30 derece, % 19.46'si 30-40 derece ve % 2.01'i 40 dereceden büyük eğim değerlerine sahip yamaçlarda meydana gelmiştir.
- ✓ Mevcut heyelanların % 0.67'si düz, % 32.21'i kuzey, % 21.48'i doğu, % 29.53'ü güney ve % 16.11'i batıya bakan yamaçlarda oluşmuştur.
- ✓ Heyelanların % 30.87'si 0-100 m, % 46.98'i 100-200 m, % 15.44'ü 200-300 m, % 6.71'i 300-400 m yüksekliklerde meydana gelmiş ve 400 m den büyük yüksekliklerde heyelan olmadığı belirlenmiştir.
- ✓ Meydana gelen heyelanların % 3.36'sı yerleşim alanı, % 52.35'i tarımsal alanlar, % 43.62'si ormanlık alanlar, % 0.67'si örtüsüz arazilerde gerçekleşmiştir.
- ✓ Akarsuya yakınlık sınıflarına göre, heyelanların % 21.48'i 0-50 m, % 9.40'ı 50-100 m, % 6.04'ü 100-150 m, % 7.38'i 150-200 m, % 6.04'ü 200-250 m ve % 49.66'si 250 m'den fazla uzaklıklarda meydana gelmiştir.
- ✓ Yola yakınlık sınıflarına göre, heyelanların % 15.44'ü 0-50 m, % 9.40'ı 50-100 m, % 6.71'i 100-150 m, % 12.75'i 150-200 m, % 6.04'ü 200-250 m ve % 49.66'si da 250 m'den fazla uzaklıklarda meydana gelmiştir.

7. İnceleme alanına ait heyelan yoğunluğu % değerleri hesaplanmış ve heyelan oluşumunda etkili olabilecek parametre sınıfları bu yoğunluk değerlerine göre

belirlenmiştir. Hesaplanan yoğunluk değerlerine göre; tamamen ayrıışmış dasit ve piroklastları, tamamen ayrıışmış andezit-bazalt ve piroklastları, yüksek derecede ayrıışmış dasit ve piroklastları, 0-20 derece arasındaki eğim sınıfları, güneye bakan yamaçlar, 0-200 m arasındaki yükseklik sınıfları, yerleşim alanı ve tarımsal alanlar, 0-100 m arası akarsuya yakınlık sınıfları ve 0-100 m arası yola yakınlık sınıflarının heyelan oluşumunda etkili oldukları tespit edilmiştir.

8. Heyelan duyarlılık haritasının iki değişkenli istatistiksel analiz yöntemi ile hazırlanmasında, heyelan yoğunlukları değerinden yararlanarak parametre puanları verilmiştir. Parametre sınıflarının ağırlık değerleri heyelan alanları ve sınıf aralıklarına karşılık gelen toplam alanlardan yararlanarak belirlenmiştir. Buna göre; litoloji-ayırışma parametresinin 14.75, eğim 0.13, bakı -0.28, yükseklik 0.99, arazi örtüsü -0.95, akarsuya yakınlık 0.63 ve yola yakınlık parametrelerinin 3.05 ağırlık değerine sahip olduğu hesaplanmıştır. Heyelan duyarlılık haritası, parametrelerin ağırlık değerleri kullanılarak, raster veri modelinde yapılan analizlerle üretilmiştir. Daha sonra oluşturulan harita “çok az duyarlı”, “az duyarlı”, “duyarlı”, yüksek duyarlı” ve “çok yüksek duyarlı” olmak üzere 5 farklı duyarlılık sınıfına ayrılarak, sonuç duyarlılık haritası üretilmiştir. Üretilen haritanın performansını analiz etmek için mevcut heyelanlarla duyarlılık haritası karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda mevcut heyelanların % 81’inin duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara düştüğü görülmüştür.

9. Mantıksal regresyon analizi ile duyarlılık haritasının üretilmesinde parametreler birlikte değerlendirilmiştir. % 95 güven düzeyinde iteratif olarak gerçekleştirilen analizler, iterasyon eşik değerleri (yakınsama) 0.1, sınıflama eşik değerleri 0.5 olacak şekilde, aşamalı olarak ve en çok olabilirlik kestirim yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Mantıksal regresyon modelinde çalışma kapsamı içerisinde değerlendirilen 8 adet parametre sınıfı regresyon eşitliğinde yer almıştır. Ancak ELV5 olarak adlandırılan (> 400m) yükseklik sınıfı için kestirilen β katsayısı anlamlı bulunmamıştır. Buna karşılık tamamen ayrıışmış dasit ve piroklastları en önemli parametre olarak kestirilirken, tamamen ayrıışmış andezit-bazalt ve piroklastları ve yüksek derecede ayrıışmış dasit ve piroklastları diğer önemli parametreler olduğu ortaya konmuştur.

10. Mantıksal regresyon modelinin uyumluluğunu belirlemede ROC (Relative Operating Characteristic) değerinden yararlanılmıştır. ROC değerlendirmesinden elde edilen AUC (area under curve-eğrinin altındaki alan) değeri 0.942 olarak bulunmuştur. Modelle ilgili olarak heyelanlı piksel (1), heyelansız piksel (0) ve genel doğruluğa ilişkin

kestirim yüzdeleri sırasıyla % 70.5, % 94.6 ve % 91.4 olarak bulunmuştur. Bu değerler çalışma alanı için mantıksal regresyon analizi ile gerçekleştirilen modelin başarılı ve tutarlı olduğunu göstermektedir.

11. Mantıksal regresyon analizi sonucunda bir dizi işlem aşaması ile duyarlılık haritası üretilmiştir. Daha sonra oluşturulan harita “çok az duyarlı”, “az duyarlı”, “duyarlı”, “yüksek duyarlı” ve “çok yüksek duyarlı” olmak üzere 5 farklı duyarlılık sınıfına ayrılarak, sonuç duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Üretilen haritanın performansını analiz etmek için mevcut heyelanlarla duyarlılık haritası karşılaştırılmış ve mevcut heyelanların % 92’sinin duyarlı, yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlara düştüğü saptanmıştır.

12. İki değişkenli istatistiksel analiz ve mantıksal regresyon analizi ile üretilen duyarlılık haritalarının performans analizleri, bu haritaların kullanılabilirliğini göstermektedir. Haritaların gerçek performansı, gelecekte bölgede Temmuz 2002 tarihinde meydana gelen meteorolojik olayın benzeri bir olay gerçekleştiği zaman değerlendirilebilir.

6. ÖNERİLER

1. Günümüzde özellikle gelişmiş ülkelerde heyelanlardan kaynaklanan can ve mal kayıplarının azaltılması yönünde yapılan çalışmalar içerisinde, heyelan envanter ve buna bağlı olarak duyarlılık haritalarının hazırlanması ve kullanılması büyük önem arz etmektedir. Doğal afetler içerisinde ülkemiz açısından heyelanların önemli bir yeri olduğu kaçınılmaz bir gerçektir. Ancak heyelan zararlarının azaltılması yönünde yapılan çalışmalar incelendiğinde ülkemizin arzu edilen bir seviyede olmadığı görülmektedir. MTA Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen ülke ölçeğinde gerçekleştirilen heyelan envanter haritası ile ilgili çalışma bu konuda atılan iyi bir adımdır. Benzer şekilde ülke genelinde heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanması gerekmektedir.

2. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında sadece üniversitelerde akademik düzeyde yapılan çalışmalar kamu kurumları, özel şirketler ve yerel yönetimler tarafından da gerçekleştirilmeli, en azından bu konuda gereken destek sağlanmalıdır. Bu şekilde konu ile ilgili çalışmaların koordineli olarak yapılması ve kullanılabilir özellikte duyarlılık haritalarının ülke genelinde hazırlanması ile iyi bir veri tabanı oluşturulmalıdır. Dolayısıyla heyelan çalışmalarında kullanılabilir özellikte bir veri tabanının olması, ileride benzer çalışmaların gereksiz bir şekilde tekrarını önleyeceği gibi ekonomik açıdan da faydalı olacaktır.

3. Heyelan envanter ve duyarlılık haritalarının hazırlanması ile oluşturulacak veri tabanının, heyelan çalışmalarının daha ileri aşamalarını oluşturan tehlike ve risk haritalarının hazırlanması ile ilgili çalışmalar içinde iyi bir altlık oluşturacağı unutulmamalıdır. Ayrıca yeni yerleşim alanlarının seçiminde, büyük mühendislik yapılarının tasarımında bu tür haritaların hazır ve kullanılabilir durumda olması önemli katkılar sağlayacaktır.

4. Bu tür çalışmaların gerçekleştirilmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)'nin önemi göz ardı edilemez. Veri tabanlarının oluşturulmasındaki hızı, doğruluk derecesi, veri kalitesi gibi özellikleri organize bir şekilde kullanılmalı ve bu şekilde çalışmaların etkinliği artırılmalıdır. Çalışma koşulları dikkate alınarak CBS çalışmaları uzaktan algılama

teknikleri ile desteklenmeli ve heyelanlarla ilgili çalışmaların daha verimli olması sağlanmalıdır.

5. Üretilen duyarlılık haritaları, çalışma ölçeği göz önünde bulundurularak değerlendirilmelidir. Bu haritalar dikkate alınarak, potansiyel heyelan alanlarında bölgesel ve yerel planlamalar yapılmalıdır. Heyelan duyarlılığının yüksek ya da çok yüksek olduğu alanlarda yeni yerleşim alanları yapılmamalı, mevcut yerleşim alanları içinde gerekli tedbirler alınmalıdır.

6. Heyelanlar açısından daha duraylı olan ormanlık alanlar tahrip edilerek tarımsal alanlara dönüştürülmemelidir. Özellikle ayrışmanın ilerlediği alanlarda yapılacak olan projelerde gerekli jeoteknik çalışmalar ayrıntılı bir şekilde yapılmalıdır.

7. KAYNAKLAR

- Abdolmasov, B. ve Obradovic, I., 1997. Evaluation of Geological Parameters for Landslide Hazard Mapping. Proceeding of the International Symposium on Engineering Geology and the Environment. 23-27 June 1997, Athens, Greece, P.G. Marinos, G.C. Koukis, G.C. Tsiambaos ve G.C. Stournaras (Eds.), Balkema, 471-476.
- Abrams, M., 2000. The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER): Data Products for the High Spatial Resoluituon Imager on Nasa's Terra Platform. Int. J. Remote Sensing, 21, 5, 847-859.
- Abrams, M., Hook, S. ve Ramachandran, B., 2001. ASTER Users Handbook. Version 2, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology.
- Akgün, A., ve Bulut, F., 2007. GIS-Based Landslide Susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) Region. Environmental Geology, 51, 1377-1387.
- Akkülâh, Z., 1973. Madenköy doğu sahasının jeolojik ve jeoşimik etüdü, MTA Derleme No. 1207.
- Alcantara-Ayala, I., 2002. Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in Developing Countries. Geomorphology, 47/2-4, 107-124.
- Aleotti, P. ve Chowdhury, R., 1999. Landslide Hazard Assessment: Summary Review and New Perspevtives. Bull. Engineering Geology Env., 58, 21-44.
- Anbalagan, R., 1992. Landslide Hazard Evaluation and Zonation Mapping in Mountainous Terrain, Engineering Geology, 32, 269-277.
- Anbalagan, R. ve Singh, B., 1996. Landslide Hazard and Risk Assessment Mapping of Mountainous Terrains- A Case Study from Kumaun Himalaya, India. Engineering Geology, 43, 237-246.
- Anon, 1995. The Description and Classification of Weathered Rocks Masses for Engineering Purposes. Quarterly Journal of Engineering Geology, 28, 207-242.
- Aslaner, M., 1972. Çayeli-Madenköy Cu-Pb-Zn Aramaları Hakkında Kısa Not, MTA Maden Etüd Rap. No. 118,
- ASTM D422, 1985. Standart Method for Particle Size Analysis and Determination of Soil Contants, Annual Book of ASTM Standarts, Soil and Rock, Building Stones, Section 4, 4,8, 409-423, Philedelphia, USA.

- ASTM D854, 1985. Standard Method for Specific Gravity of Soils, Annual Book of ASTM Standards, Soil and Rock, Building Stones, Section 4, 4,8, Philadelphia, USA
- ASTM D3080-90, 1990. Standard Test Method for Direct Shear Test of Soil Under Consolidated Drained Condition, ASTM, Philadelphia.
- Atkinson, P.M. ve Massari, R., 1997. Generalised Linear Modelling of Susceptibility to Landsliding in the Central Appenines, Italy. Comp. & Geosci., 24, 4, 373-385.
- Atkinson, P., Jiskoot, H., Massaria, R. ve Murray, T., 1998. Generalized Linear Modelling in Geomorphology. Earth Surf. Process Landforms, 23, 1185-1195.
- Ayalew, L., Yamagishi, H. ve Ugawa, N., 2004. Landslide Susceptibility Mapping Using GIS-Based Weighted Linear Combination, The Case in Tsugawa Area of Agano River, Niigate Prefecture, Japan, Landslides, 1, 73-81.
- Ayalew, L., ve Yamagishi, H., 2005. The Application of GIS-Based Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan, Geomorphology, 65,1-2, 15-31.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H. ve Kano, T., 2005. Landslides in Sado Island of Japan: Part II: GIS-Based Susceptibility Mapping with Comparisons of Results From Two Methods and Verifications, Engineering Geology, 81, 432-445.
- Ayeneu, T., ve Barbieri, G., 2005. Inventory of Landslides and Susceptibility Mapping in the Dessie Area, North Ethiopia. Engineering Geology, 77, 1-2, 1-15
- Aytekin, M., 2003. Doğu Karadeniz Bölgesi ve Heyelanlar. Doğu Karadeniz Bölgesinin Jeolojisi ve Maden Potansiyeli Sempozyumu Özler Kitabı, Trabzon, 70-72.
- Baeza, C. ve Corominas, J., 2001. Assessment of Shallow Landslide Susceptibility by Means of Multivariate Statistical Techniques, Earth Surf. Process. And Landforms, 26, 1251-1263.
- Barnard, P. L., Owen, L.A., Sharma, M.C. ve Finkel, R.C., 2001. Natural and Humaninduced Landsliding in the Garhwal Himalaya of Northern India, Geomorphology, 40, 21-35.
- Barredo, J.I., Benavides, A., Hervas, J. ve 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.
- Baum, R.L., Coe, J.A., Godt, J.W., Harp, E.L., Reid, M.E., Savage, W.Z., Schulz, W.H., Brein, D.L., Chleborad, A.F., McKenna, J.P. ve Michael J.A., 2005. Regional Landslide-Hazard Assessment for Seattle, Washington, USA, Landslides, 2, 266-279.
- Berggren, B., Fallsvik, J. ve Viberg, L., 1991. Mapping and Evaluation of Landslide Risk in Sweeden, Proc.16th Int. Landslide Conf., Balkema, Rotterdam, 873-878.

- Binaghi, E., Luzi, L., Pergalani, F. ve Rampini, A., 1998. Slope Instability Zonation: A Comparison Between Certainty Factor and Fuzzy Dempster-Shafer Approaches, Natural Hazards, 17, 77-97.
- Brabb, E.E., Pampeyan, E.H., ve Bonilli, M.G., 1972. Landslide Susceptibility in San Mateo County. US Geological Survey Miscellaneous Field Studies Map, MF360, California.
- Brabb, E.E., 1984. Innovative Approaches to Landslide Hazard Mapping, 4th International Symposium on Landslides, Toronto, 1, 307-324.
- Bulut, F., Boynukalın, S., ve Tarhan, F., 1993. Isopleth Haritaları Yardımıyla Heyelan Açısından Tehlikeli Alanların Belirlenmesi-Fındıklı (Rize) Yöresi Örneği, 1.İzmir ve Çevresinin Jeoteknik Sorunları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İzmir, 41-44,.
- Bulut, F., Boynukalın, S., Tarhan, F., ve Ataoğlu, E., 1995. Fındıklı İlçesi (Rize) Doğu Yöresindeki Heyelanların Nedenleri. II. Ulusal Heyelan Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Adapazarı, 143-152.
- Bulut, F., Boynukalın, S., Tarhan, F., Ataoğlu, E., 2000. Reliability of landslide isopleth maps. Bulletin of the International Association of Engineering Geology and Environment. 58,2 95-98.
- Can, M., 1974. Artvin F45-c4 paftasının etüd raporu, MTA, Rap. No.127.
- Campbell, J.B., 1996-2000. Introduction to Remote Sensing, 2. baskı, The Guilford Pres, New York.
- Carrara, A., Catalano, E., Sorriso Valvo, M., Reali, C. ve Osso, I., 1978. Digital Terrain Analysis for Land Evaluation, Geologia Applicata e Idrogeologia, 13, 69-127.
- Carrara, A., 1983. Multivariate Models for Landslide Hazard Evaluation, Math. Geol., 15,3 403-427.
- Carrara, A., 1988. Landslide Hazard Mapping by Statistical Methods: A Black Box Approach. Workshop on Natural Disasters in European Mediterranean Countries, Perugia, Italy, 205-224.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. ve Reichenbach, P., 1990. GIS and Multivariate Models in Landslide Hazard Evaluation. 6th Int. Conf. and Field Workshop on Landslides, Milan, Italy, 17-28.
- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. ve Reichenbach, P., 1991. GIS Techniques and Statistical Models in Evaluating Landslide Hazard. Earth Surf. Proc. & Landf., 16, 427-445.
- Carrara, A., Cardinali, M. and Guzzetti, F., 1992. Uncertainty in Assessing Landslide hazard and risk, ITC Journal, 2, 172-173.

- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., and Reinhenbach, P., 1995. GIS Technology in Mapping Landslide Hazard. In: Carrara, A., Guzzetti, F. (Eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazard*, Kluwer Academic Publisher, 173-175.
- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., and Reinhenbach, P., 1999. Use of GIS Technology in the Prediction and Monitoring of Landslide Hazard, Natural Hazards, 20, 117-135.
- Casagli, N., Ctani, F., Puglisi, C., Delmonaco, G., Ermini, L. And Mangottini, C., 2004. An Inventory-Based Approach to Landslide Susceptibility Assesment and Its Application to the Virginio River Basin, Italy, Envinonmental & Engineering Geoscience, 10,3 203-216.
- Chang, S.C., 1992. The Simprecise Mapping and Evaluation System for Engineering Geological and Landslide Hazard Zonation. Proceedings of 6th International Symposium on the Landslides, 10-14 February 1992, Christchurch, England, D.H. Bell (Ed.), Balkema, 65-72.
- Chau, K.T. ve Chan, J.E., 2005. Regional Bias of Landslide Data in Generating Susceptibility Maps Using Logistic Regression: Case of Hong Kong Island, Landslides, 2, 280-290
- Chowdhury, R.N., ve Flentje P., 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, 569-574.
- Choubey, V.D. ve Litoria, P.K., 1990. Landslide Hazard Zonation in the Garhwall Himalaya, a Terrain Evaluation Approach IAEG Congress, 1, Balkema Rotterdam, 65-72.
- Choubey, V.D., Chaudhari, S. ve Litoria, P.K., 1992. Landslide Hazard Zonation in Uttarkashi and Tehri Districts P. Himalaya, India. Proc. 6th Int. Symp. Landslides, Christchurch, 911-917.
- Chung, C.J. ve Fabbri, A.G., 2002. Modelling the Conditional Probability of the Occurences of Future Landslides In a Study Area Characterized by Spatial Data, Symposium on Geospatial Theory, Processing and Application, Ottava, Canada.
- Chung, C.J., 2006. Using Likelihood Ratio Functions for Modeling the Conditional Probability of Occurrence of Future Landslides for Risk Assessment, Computers & Geosciences, 32, 1052-1068.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C. ve Vescovi, P., 2002. A Procedure for Landslide Susceptibility Zonation by the Conditional Analysis Method. Geomorphology, 48,4 349-364.

- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C. ve Vescovi, P., 2006. A GIS-Based Automated Procedure for Landslide Susceptibility Mapping by the Conditional Analysis Method: The Baganza Valley Case Study (Italian Northern Apennines), Environmental Geology, 50, 941-961.
- Cruden, D.M., ve Varnes, D.J., 1996. Landslide Types and Processes. Landslides Investigation and Mitigation, Special Report 247. In Turner, A.K. and Schuster, R.L. (Eds.), 36-75.
- Çapkinoğlu, Ş., 1981. Borçka-Çavuşlu Arasının Jeolojisi, K.T.Ü. Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), Trabzon
- Çan, T., Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., ve Duman, T.Y., 2005. Susceptibility Assessments of Shallow Earthflows Triggered by Heavy Rainfall at Three Catchments by Logistic Regression Analyses. Geomorphology, 72, 250-271
- Çevik, E., 2002. GIS- Based Landslide Susceptibility Mapping for the Segment (60-83 km) of NG Pipeline, North of Hendek. Graduate School of Natural and Applied Sciences, Geo. Eng. Dept., MSc. Thesis, METU, Ankara, 77p. (unpublished).
- Çevik, E. ve Topal, T., 2003. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping for a Problematic Segment of the Natural Gas Pipeline, Hendek (Turkey), Environmental Geology, 44, 949-962.
- Dağ, S., Bulut, F. ve Akgün, A., 2006. İki Değişkenli İstatistiksel Analiz Yöntemi İle Çayeli (Rize) ve Çevresindeki Heyelanların Değerlendirilmesi, 1. Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 84.
- Dai, F.C. ve Lee, C.F., 2001. Terrain-Based Mapping of Landslide Susceptibility Using a Geographical Information System: A Case Study, Can. Geotech. J., 38, 911-923.
- Dai, F.C., Lee, C.F. ve Xu, Z.W., 2001a. Assessment of Landslide Susceptibility on the Natural Terrain of Lantau Island, Hong Kong, Env. Geol., 40,3 381-391.
- Dai, F.C., Lee, C.F. ve Zhang, X.H., 2001b. GIS-Based Geo-Environmental Evaluation for Urban Land-Use Planning: A Case Study, Eng. Geol., 61, 257-271.
- Dai, F.C., Lee, C.F. ve Ngai, Y.Y., 2002. Landslide Risk Assessment and Management: An Overview. Engineering Geology , 64, 65-87
- Dai, F.C. ve Lee, C.F., 2002a. Landslides on Natural Terrain Physical Characteristics and Susceptibility Mapping in Hong Kong. Mountain Research and Development, 22, 1, 40-47
- Dai, F.C. ve Lee, C.F., 2002b. Landslide Characteristics and Slope Instability Modelling Using GIS, Lantau Island, Hong Kong, Geomorphology, 42, 213-228.

- Dai, F.C. ve Lee, C.F., 2003. A Spatiotemporal Probabilistic Modelling of Storm-Induced Shallow Landsliding Using Areal Photographs and Logistic Regression. Earth Surface Processes and Landforms, 28, 527-545.
- Dilek, R., 1979. Trabzon-Hopa Kıyı Şeridinin Yeraltı Su Olanakları, KTÜ, Trabzon.
- Donati, L. ve Turrini, M.C., 2002. An objective Method to Rank the Importance of the Factors Predisposing to Landslides with the GIS Methodology: Application to an Area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy). Eng. Geol., 63, 277-289.
- Duman, T.Y., Can, T., Gokceoglu, C. ve Nefeslioglu, H.A., 2005. Landslide Susceptibility Mapping of Cekmece Area (Istanbul, Turkey) by Conditional Probability, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 2, 155-206.
- Duman, T.Y., Can, T., Gokceoglu, C., Nefeslioglu, H.A. ve Sonmez, H. 2006. Application of Logistic Regression for Landslide Susceptibility Zoning of Cekmece Area, İstanbul, Turkey, Environmental Geology, 51, 2.
- Eeckhaut, M.V.D., Vanwalleghem, T., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G. ve Vandekerckhove, L., 2006. Prediction of Landslide Susceptibility Using Rare Events Logistic Regression: A Case-Study in the Flemish Ardennes (Belgium), Geomorphology, 76, 3-4, 392-410.
- EPOCH (European Community Programme), 1993. Temporal Occurrence and Forecasting of Landslides in the European Community. (Ed. J.C. Flageollet), 3, Contract No. 90 0025.
- Ercanoğlu, M. ve Gökçeoğlu, C., 2002. Assessment of Landslide Susceptibility for a Landslide-Prone Area (North of Yenice, NW Turkey) by Fuzzy Approach, Environmental Geology, 41, 720-730.
- Ercanoğlu, M., 2003. Bulanık Mantık ve İstatistiksel Yöntemlerle Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi: Batı Karadeniz Bölgesi (Kumluca Güneyi - Yenice Kuzeyi)" Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 203 s. (yayınlanmamış).
- Ercanoğlu, M., Gökçeoğlu, C. ve Van Asch, T.W.J., 2003. Landslide Susceptibility Zoning of North of Yenice (NW Turkey) by Multivariate Statistical Techniques, Natural Hazards, 32, 1-23.
- Ercanoğlu, M. ve Gökçeoğlu, C., 2004. Use of Fuzzy Relations to Produce Landslide Susceptibility Map of a Landslide Prone Area (West Black Sea Region, Turkey), Engineering Geology, 75, 229-250.
- Ermini, L., Catani, F. ve Casagli, N., 2004. Artificial Neural Networks Applied to Landslide Susceptibility Assessment, Geomorphology, 66, 327-343.
- Eslinger, E. ve Pevear, D., 1988. Clay Minerals for Petroleum Geologist and Engineers. SEPM Short Course Notes, No: 22, 451.

- Fernandez, C.I., Del Castillo, T.F., El Hamdouni, R. ve Montero, J.C., 1999. Verification of Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study, Earth Surface Process and Landforms, 24, 537-544.
- Fernandez, T., Irigaray, C., El Hamdouni, R. ve Chacon, J., 2003. Methodology for Landslide Susceptibility Mapping by Means of a GIS. Application to the Contraviesa Area (Granada Spain), Natural Hazards, 30, 297-308.
- Fookes, P.G., Dale, S.G. ve Land, J.M., 1991. Some Observation on a Comperative Aerial Photography Interpretation of a Landslipped Area. Quarterly Journal of Engineering Geology, 24, 249-265.
- Foumelis, M., Lekkas, E. ve Parcharidis, I., 2004. Landslide Susceptibility Mapping by GIS-Based Qualitative Weighting Procedure in Corinth Area. Bulletin of the Geological Society of Greece, 36.
- Fowler, R., ve Peterson, J., 2004. A Spatial Representation of Louis Peltier's Weathering, Erosion and Climatic Graphs Using Geographical Information Systems (GIS). ESRI User's Conference. 9-13 August, 1-32.
- Garcia-Ruiz, J.M., Lorente-Grima, A., Begueria-Portugues, S., Marti-Bono, C., Valero-Garces, B., Lopez-Moreno, J., 2003. Damocles Project Report. Contract No EVG1-CT-1999-00007 Instituto Prenaico de Ecologia, CSIC, Zaragoza, Spain. 20 pp.
- Geoffroy, J. De., 1960. Çayeli-Pazar-Ardeşen bölgesinin jeolojisi ve maden yatakları, MTA Der. Rap. No. 3073.
- Gomez, H. ve Kavzoğlu, T., 2004. Assessment of Shallow Landslide Susceptibility Using artificial Neural Networks in Jabonosa River Basin, Venezuela, Engineering Geology, 78, 11-27.
- Gorsevski, P.V., Gessler, P. ve Foltz, R.B., 2000. Spatial Prediction of Landslide Hazard Using Logistic Regression and GIS. 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modelling, Alberta, Canada, 9 pp.
- Gökçe, O., Demir, A. ve Özden Ş., 2006. Türkiye'de Heyelanlı Yerleşim Birimlerinin Dağılımı ve CBS Ortamında Sorgulanması (Afet Envanteri 1950-2005), 1. Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 23-40.
- Gökçeoğlu, C. ve Aksoy, H., 1996. Landslide Susceptibility Mapping of the Slopes in the Residual Soils of the Mengen Region (Turkey) by Deterministic Stability Analyses and Image Processing Techniques, Engineering Geology, 44, 147-161.
- Gökçeoğlu, C. ve Ercanoğlu, M., 2001. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Hazırlanmasında Kullanılan Parametrelere İlişkin Belirsizlikler, Yerbilimleri, H.Ü. Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 23, 201-219.

- Gökçeoğlu, C., 2001. Discussion on "Landslide hazard zonation of the Khorshrostan area, Iran" by A. Uromeihy and M.R. MahdaviFar, Bull. Eng. Geol. Env. (2000), 58: 207-213. Bull. Eng. Geol. Env., 60,1,79-80.
- Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H.A., Sönmez, H., Duman, T.Y., Çan, T., Çörekçioğlu, Ş., Durmaz, S., Olgun, Ş., Hamzaçebi, S. ve Elmacı H., 2006. Bölgesel ve Orta Ölçekli Heyelan Duyarlılık, Tehlike ve Risk Değerlendirme, 1. Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Bildiriler Kitabı, 9-23
- Guillande, R., Gelugne, P., Bardintzeff, J.M., Brousse, R., Chorowich, J., Deffontaines, B., et Parrot, J.F., 1993. Cartographie Automatique de Zones a Aleas de Mouvement de Terrain sur l'ile de Tahiti a Partir de Donnees Digitales. Bull. Soc. Geol. De France, 164,4 577-583.
- Guinau, M., Palas, R. ve Vilaplana, J.M., 2005. A Feasible Methodology for Landslide Susceptibility Assessment in Developing Countries: A Case-Study of NW Nicaragua After Hurricane Mitch, Engineering Geology, 80, 316-327.
- Gupta, R.P. ve Joshi, B.C., 1990. Landslide Hazard Zoning Using the GIS Approach- A Case Study From the Ramganga Catchment, Himalayas, Engineering Geology, 28, 119-131.
- Gupta, P. ve Anbalagan, R., 1997. Slope Stability of Theri Dam Reservoir, India, Using Landslide hazard Zoning (LHZ) Mapping. Q. J. Eng. Geol., 30, 27-36.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. ve 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. ve Carrara, A., 2000. Comparing landslides maps: a case study in the Upper Tiber basin, Central Italy, Env. Manag., 25,3 247-263.
- Gündoğdu, M. N. ve Yılmaz, O., 1984. Kil Mineralojisi Yöntemleri, I. Ulusal Kil Konferansı, 319 - 330.
- Güner, S., Gülibrahimoğlu, İ., Saraloğlu, A., Akıncı, S., Topçu, T., Konak, O., 1983. Rize-Çayeli, Fındıklı Yöresinin Jeolojisi, M.T.A., Rapor No: 7688, Ankara.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250000 ölçekli komplikasyonu, M.T.A. Genel Müd., Ankara, (Yayınlanmamış).
- Güven, İ. H., Nalbantoğlu, A. K. ve Takaoğlu, S., 1993. 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi. MTA Genel Müd., Ankara.
- Hansen, A., 1984. Landslide Hazard Analysis in Slope Stability, John Wiley and Sons, New York, 23-35.

- Hartlen, J. ve Viberg, L.G., 1988. General Report: Evaluation of Landslide Hazard, Proceeding 5th International Symposium on Landslides, lausanne, Switzerland, 2, 1037-1057, 720-730.
- Havenith, H.B., Strom, A., Caceres, F. ve Pirard, E., 2006. Analysis of Landslide Susceptibility in the Suusamy Region, Tien Shan: Statistical and Geotechnical Approach, Landslides, 3, 39-50.
- Hencher, S.R., ve Martin, R.P., 1982. The Description and Classification of Weathered Rocks in Hong Kong for Engineering Purposes. Proc. 7th Southeast Asian Geotechnical Conf., 125-142.
- Hutchinson, J.N., 1988. General Report: Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides in Relation to Geology and Hydrogeology. In Landslides, Proceeding 5th International Symposium on Landslides (Ed. C. Bonnard) 1, 3-35.
- IAEG (International Association of Engineering Geology), 1976. Engineering Geological Maps: A Guide to Their Preparation, UNESCO Pres, Paris, 79 p.
- ISRM, 1981. In: Brown ET (ed) Rock Characterization, Testing and Monitoring-ISRM Suggested Methods. Pergamon Press, Oxford,
- İrfan, Y., 1981. Bozunma ve Bozunma Sınıflandırmaları, Türkiye Jeoloji Kurumu Konferans Dizisi. No: 19,
- Jade, S. ve Sarkar, S., 1993. Statistical Models for Slope Instability Classification. Engineering Geology, 36, 91-98.
- Jager, S. ve Wiczorek, G.F., 1994. Landslide Susceptibility in the Tully Valley Area, Finger Lakes Region. U.S. Geological Survey, Open-File Report (Online Version), 94-615.
- Jakob, M., 2000. The Impacts of Logging on the Landslide Activity at Clayoquot Soung, British Columbia. Catena, 38, 279-300.
- Juang, C.H., Lee, D.H. ve Sheu, C., 1992. Mapping Slope Failure Potential Using Fuzzy Sets. J. Geotech. Eng. Div., ASCE, 118, 475-493.
- Juang, C.H., Jhi, Y.Y. ve Lee, D.H., 1998. Stability Analysis of Existing Slopes Considering Uncertainty, Engineering Geology, 49, 111-122.
- Ketin, İ., 1966, Anadolu'nun Tektonik Birlikleri, MTA. Dergisi, Sayı 66, 20-34.
- Kienholz, H., 1978. Maps of Geomorphology and Natural Hazards of Gürindelwald, Switzerland, scale 1/10000, Arc. and Alp. Res., 10, 169-184.
- King, G. ve Zeng, L., 2001. Logistic Regression in Rare Events Data, Political Analysis 9, 2, 137-163.

- Komac, M., 2006. A Landslide Susceptibility Model Using the Analytical Hierarchy Process Method and Multivariate Statistics in Perialpine Slovenia, Geomorphology, 71, 1-4, 17-28.
- Koukis, G. ve Ziourkas, C., 1991. Slope Instability Phenomena in Greece: A Statistical Analysis, Bulletin of International Association of Engineering Geologists, 43, 47-60.
- Kahraman, İ., 1977. Rize-Çayeli-Sırtköy-Tüysüzler Mahallesi Yöresinin 1/10000 Ölçekli Jeoloji Raporu, MTA Der. Rap. No. 1587.
- Kawada, K. ve Ergin A., 1972. Rize-Çayeli Bölgesi'nin Jeolojisi ve Jeolojik Yapısı, MTA Maden Etüd Raporu, No.174
- Kojima, H. ve Obayashi, S., 2002. An Inverse Analysis of Unobserved Trigger Factors of the Slope Failures Based on Structural Equation Modeling. Symposium on Geospatial Theory, Proceeding and Application, Ottawa.
- Korkmaz, S., Gedik, A., 1988. Rize-Fındıklı-Çamlıhemşin Arasında Kalan Bölgenin Jeolojisi ve Petrol Oluşumları, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, 32-33, s.5-15, Ankara.
- Kremier, A., ve Arnould, M., 2000. World Bank's Role in Reducing Impacts of Disasters. Natural Hazards, 1, 37-42
- Lan, H.X., Zhou, C.H., Wang, L.J., Zhang, H.Y. ve Li, R.H., 2004. Landslide Hazard Spatial Analysis and Prediction Using GIS in the Xiaojiang Watershed, Yunan, China. Engineering Geology, 76, 109-128.
- Lee, C.F., Ye. H., Yeung, M.R., Shan, X. ve Chen, G., 2001. A GIS-Based Methodology for Natural Terrain Landslide Susceptibility Mapping in Hong Kong, Episodes, 24,3 150-159.
- Lee, S., Ryu, J., Min, K., Choi, W. ve Won, J., 2000. Development and Application of Landslide Susceptibility Analysis Techniques Using GIS. Int. E. El. Eng., 319-321.
- Lee, S., Chang, B., Choi, W. ve Shin, E., 2001. Regional Susceptibility, Possibility and Risk Analyses of Landslide in Ulsan Metropolitan City, Korea. Int. E. El. Eng., 1690-1692.
- Lee, S. ve Min, K., 2001. Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yongin, Korea, Env. Geol., 40, 1095-1113.
- Lee, S., Choi, J. ve Min, K., 2002. Landslide Susceptibility Analysis and Verication Using the Bayesian Probability Model, Enviromental Geology, 43, 120-131.

- Lee, S., Chwae, U. ve Min, K., 2003. Landslide Susceptibility Mapping by Correlation Between Topography and Geological Structure: The Janghung area, Korea, Geomorphology, 46, 9-162.
- Lee, S., Ryu, J.H., Won, J.S. ve Park, H.J., 2003. Determination and Application of the Weights for Landslide Susceptibility Mapping Using an Artificial neural Network, Engineering Geology, 71, 289-302.
- Lee, S., 2004. Application of Likelihood Ratio and Logistic Regression Models to Landslide Susceptibility Mapping Using GIS, Environmental Management, 34, 2 223-232.
- Lee, S., 2005. Application of Logistic Regression Model and Its Validation for Landslide Susceptibility Mapping Using GIS and Remote Sensing Data, Int. J. Remote Sensing, 26,7 1477-1491.
- Lee, S. ve Dan, N.T., 2005. Probabilistic Landslide Susceptibility Mapping in the Lai Chau Province of Vietnam: Focus on the Relationship Between Tectonic Fractures and Landslides, Environmental Geology, 48, 778-787.
- Lee, S. ve Sambath, T., 2006. Landslide Susceptibility Mapping in the Damrei Romel Area, Cambodia Using Frequency Ratio and Logistic Regression Models, Environmental Geology, 50, 847-855.
- Leroi, E., 1996. Landslide Hazard-Risk Maps at Different Scales: Objectives, Tools and Developments. Proc. VII. Int. Symp. Landslides, Trondheim, 1, 35-52.
- Lillesand, T.M. ve Kiefer, R.W., 2000. Remote Sensing and Image Interpretation, 4. Baskı, The Lehigh Pres, New York
- Look, B., 2005. Landslide Hazard Zonation by GIS Analysis, Connell Wagner, Brisbane, Australia.
- Luzi, L. ve Pergalani, F., 1999. Slope Instability in Static and Dynamic Conditions for Urban Planning: The "Oltre Po Pavese" Case History (Region Lombardia-Italy), Nat. Haz., 20, 57-82.
- 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.
- Mehrotra, G.S., Sarkar, S. ve Dharmaraju, R., 1992. Landslide Hazard Assessment in Rishikesh-Tehri Area, Garhwal Himalaya, India. Proceedings of 6th International Symposium on the Landslides, 10-14 February 1992, Christchurch, England, D.H. Bell (Ed.), Balkema, 1001-1007.
- Mejia-Navarro, M. ve Wohl, E.E., 1994. Geological Hazard and Risk Evaluation Using GIS: Methodology and Model Applied to Modellin, Colombia. Bull. Assoc. Eng. Geol., 31, 4 459-481.

- Menard, S., 1995. Applied Logistic Regression Analysis. Sage University Paper Series on Quantitative Application in Social Sciences, Thousand Oaks, California, 106, 98.
- Menendez-Duarte, R., Marquinez, J. ve Devoli, G., 2003. Slope Instability in Nicaragua Triggered by Hurricane Mitch: Distribution of Shallow Mass Movements. Environmental Geology, 44, 290-300
- Moore, D.M. ve Reynolds, R.C., 1989. X - Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals, Oxford University Press, New York, 332.
- Moreiras, S.M., 2005. Landslide Susceptibility Zonation in the Rio Mondeza Valley, Argentina. Geomorphology
- Nagarajan, R., Mukherjee, A., Roy, A., ve 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., 9, 4 573-585.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A. ve Khire, M.V., 2000. Landslide Hazard Susceptibility Mapping Based on Terrain and Climatic Factors for Tropical Monsoon Regions, Bull. Eng. Env., 58, 275-287.
- Nefeslioğlu H.A., San, B.T., ve Duman T.Y., 2007. Uzaktan Algılama Verilerinin Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesindeki Kullanım Potansiyeli: Kelemen ve Merer Havzaları, M.T.A., Rapor No: 10896, Ankara.
- Neuland, H., 1976. A Prediction Model of Landslips. Catena, 3, 215-230.
- Ninomiya, Y., 2002. Mapping Quartz, Carbonate Minerals and Mafic-Ultramafic Rocks Using Remotely Sensed Multispectral Thermal Infrared ASTER Data, Proceedings of SPIE, 4710, 191-202.
- Ohlmacher, G.C. ve Davis, J.C., 2003. Using Multiple Logistic Regression and GIS Technology to Predict Landslide Hazard in Northeast Kansas, USA, Engineering Geology, 69, 331-343.
- Ollier, C.D., 1979. Weathering. Longman Group Ltd. , 4th impression.
- Ovalıoğlu, R., 1971, Madenköy-I sahası jeolojik raporu, MTA Der. No. 4519.
- Ovalıoğlu, R., 1970. Rize-Çayeli-Madenköy Civarındaki I. Aryal' a ait 7293-7544-8044 Nolu Sahalarda Yapılan Çalışmalar Hakkında Rapor, MTA Maden Etüd Rap. No. 41, Ankara.
- Özdamar, K., 2002. Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi (Çok Değişkenli Analizler) 1-2., 4. Baskı, Kaan Kitapevi, Eskişehir.
- Özsayar, T., 1977. Karadeniz Kıyı Bölgesindeki Neojen Formasyonları ve Bunların Molluska Faunasının İncelenmesi, KTÜ. Yayın No:79, 77s., Trabzon.

- Özsayar, T., Pelin, S., Gedikoğlu, A., Eren, A. ve Çapkinoğlu, Ş., 1982. Ardanoş (Artvin) Yöresinin Jeolojisi, KTÜ. Yer Bilimleri Dergisi, Jeoloji, 2, 1-2, 21-38.
- Pachauri, A.K., ve Pant, M., 1992, Landslide Hazard Mapping Based on Geological Attributes, Engineering Geology, 32, 81-100.
- Pachauri, A.K., Gupta, P.V. ve Chander, R., 1998. Landslide Zoning in a Part of The Garhwal Himalayas, Env. Geol., 36, 3-4 325-334.
- Peloquin, S., Hugh, Q., Gwyn, J., Haboudane, D., Mendez, R. Ve Rivard, L., 1997. Evaluation of RADARSAT Image for Landslide Susceptibility Mapping: Application in Bolivia. Int. E. El. Eng., 128-130.
- Peloquin, S. ve Gwyn, Q.H.J., 2000. Using Remote Sensing, GIS and Artificial Intelligence to Evaluate Landslide Susceptibility Levels: Application in the Bolivian Andes. 4th Int. Conf. On Inteq. GIS Env. Mod., Canada, 26-37.
- Peltier, L., 1950, The Geographic Cycle in Periglacial Regions as Its Related to Climatic Geomorphology, Ass. Of American Geography, 40 p.
- Pistocchi, A., Luzi, L. ve Napolitano, P., 2002. The Use of Predictive Modeling Techniques for Optimal Exploitation of Spatial Databases: A Case Study in Landslide Hazard Mapping with Expert System-Like Methods. Environmental Geology, 41, 765-775
- Polemio, M., ve Sdao, F., 1999. The Role of Rainfall in the Landslide Hazard: The Case of Avigliano Urban Area (Southern Apennines, Italy). Engineering Geology, 53, 297-309.
- Pradhan, B., Singh, R.P. ve Buchroithner, M.F., 2005. Estimation of Stress and Its Use in Evaluation of Landslide Prone Regions Using Remote Sensing Data, Advances in Space Research.
- Prasada, R. ve Saibaba, J., 1999. Landslide Hazard Zonation Mapping Using Remote Sensing and Geographic Information System Techniques- A Case Study of Pithoragarh Area, U.P. Int. E. El. Eng., 577-579.
- Raju, P. ve Saibaba, J., 1999. Landslide Hazard Zonation Mapping Using Remote Sensing and Geographic Information System Techniques: A Case Study of Pithoragarh Area, U.P. Int.E.El.Eng., 577-579.
- Rautella, P. ve Lakhera, R.C., 2000. Landslide Risk Analysis Between Giri and Ton Rivers in Himachal Himalaya (India). JAG, Vol, 2, Issue, 3-4, 153-160.
- Refice, A. ve Capolongo, D., 2002. Probabilistic Modelling of Uncertainties in Earthquake-Induced Landslide Hazard Assessment. Comp. and Geosci., 28, 735-749.

- Reis, S., 2003. Çevresel Planlamalara Aitlik Bir Coğrafi Bilgi Sistemi Tasarımı ve Uygulaması: Trabzon İl Bilgi Sistemi (TİBİS) Modeli, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Remondo, J., Gonzalez, A., Teran, J.R.D.D., Cendrero, A., Fabbri, A. ve Chung, C.J.F., 2003. Validation of Landslide Susceptibility Maps; Examples and Applications From A Case Study in Northern Spain, Natural Hazards, 30, 437-449.
- Remondo, J., Gonzalez, A., Teran, J.R.D.D., Cendrero, A., Fabbri, A. ve Chung, C.J.F., 2003. Landslide Susceptibility Models Utilising Spatial Data Analysis Techniques. A Case Study From the Lower Deba Valley, Guipuzcoa (Spain), Natural Hazards, 30, 267-279.
- Sabins, F.F., 2000. Remote Sensing Principles and Interpretation, Third Edition, Remote sensing Enterprises, Incorporated and University of California, Los Angeles.
- Sağiroğlu, S., Besdok, E., Erler, M., 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1: Yapay Sinir Ağları, Ufuk Kitap Kırtasiye-Yayıncılık Tic. Ltd. Şti., Kayseri.
- San, B.T., Sümer, E.O. ve Gürçay, B., 2004. Comparison of Band Ratioing and Spectral Indices Methods for Detecting Alunite and Kaolinite Minerals Using Aster Data in Biga Region, Turkey. XXth ISPRS Congress, 12-23 July İstanbul, Türkiye, Commission 7, 77-82.
- Santacana, N., Baeza, B., Corominas, J., Paz, A.D. ve Marturia, J., 2003. A GIS-Based Multivariate Statistical Analysis for Shallow Landslide Susceptibility Mapping in La Pobla de Lillet area (Eastern Pyrenees, Spain), Natural Hazards, 30, 281-295.
- Sawa, T., ve Hamamcıoğlu, A., 1970. Gelişen Yeni Görüşlerin Işığı Altında Karadeniz Bölgesi'nin bakır-kurşun-çinko Yatakları, MMO Yayınları, Ankara.
- Schuster, R.L., 1996. Socio-economic Significance of Landslides. Landslides: Investigation and Mitigation. A.K. Turner and R.L. Schuster (eds.), Transportation Research Board, National Research Council, Special Report-247, National Academy Press, Washington DC, 12-35.
- Sesören, A., 1998. Uzaktan Algılamada Temel Kavramlar, Mart Matbaacılık, İstanbul.
- Soeters, R.S. ve Van Westen, C.J., 1996. Slope Instability Recognition, Analysis and Zonation. In Landslides: Investigation and Mitigation A.K. Turner and R.L. Schuster (eds.), Transportation Research Board, National Research Council, Special Report-247, National Academy Press, Washington DC, 129-177.
- SPSS (Statistical Packages for Social Sciences), 2001. Sürüm 11.5, SPSS for Windows Standard Version, SPSS Inc.
- Süzen, M.L., 2002. Data Driven Landslide Hazard Assessment Using Geographical Information System and Remote Sensing. Graduate School of Natural and

- Applied Sciences, Geo. Eng. Dept., PhD. Thesis, METU, Ankara, 196 p. (unpublished).
- Süzen, M.L. ve Doyuran, V., 2004a. Data Driven Bivariate Landslide Susceptibility Assesment Using Geographical Information System: A Method and Application to Asarsuyu Catchment, Turkey, Engineering Geology, 71, 3-4 303-321.
- Süzen, M.L. ve Doyuran, V., 2004b. A Comparison of the GIS Based Landslide Susceptibility Assesment Methods: Multivariate Versus Bivariate Environmental Geology, 45, 665-679.
- Tangestani, M.H., 2003. Landslide Susceptibility Mapping Using the Fuzzy Gamma Operation in a GIS, Kakan Catchment Area, Iran, Map India Conference.
- Tarhan, F., 1991. Doğu Karadeniz Heyelanlarına Genel Bir Bakış, Türkiye 1. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 38-64.
- Tatlıdil, H., 2002. Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistiksel Analiz, Cem Web Ofset Ltd., Ankara, 424.
- Temesgen, B., Mohammed, M.U. ve Korme, T., 2001. Natural Hazard Assessment Using GIS and Remote Sensing Methods, with Particular Reference to The Landslides in The Wondogenet Area, Ethiophia. Phys.Chem.Earth(C), 26,9 665-675.
- Terlemez, İ. ve Yılmaz, A., 1980. Ünye-Ordu-Koyulhisar-Reşadiye Arasında Kalan Yörenin Stratigrafisi, TJK. Bülteni, 23, 2, 179-191.
- Tüysüz, N. ve Yaylalı, G., 2005. Jeostatistik Kavramlar ve Bilgisayarlı Uygulamalar, 1. Baskı, K.T.Ü., Trabzon.
- Uromeihy, A. ve Mahdaviar, M.R., 2000. Landslide hazard zonation of Khorshrostan Area, Iran.Bull.Eng.Geol.Env., 58, 207-213.
- Van Den Eechaut, M., Vanwalleghe, T., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G. ve Vandekerckhove, L., 2006. Prediction of Landslide Susceptibility Using Rare Events Logistic Regression A Case Study in the Flemish Ardennes (Belgium). Geomorphology, In Press.
- Van Westen, C.J. ve Bonilla, J.B.A., 1990. Mountain Hazard Analysis Using a PC-Based GIS. Proceeding of the 6th International Congress of Engineering Geology, August Amsterdam, Netherlands, D.G. Price (ed.), Balkema, 265-271.
- Van Westen, C.J., 1993. Remote Sensing and Geographic Information Systems for Geological Hazard Mitigation, ITC-Journal, 4, 393-399.
- Van Westen, C.J., 1999. Seijmonsbergen, A.C., ve Mantorain, F., Comparing Landslide Hazard Maps. Natural Hazards, 20, 137-158.

- Van Westen, C.J., Rengers, N. ve Soeters, R., 2003. Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment, Natural Hazards 30, 399-419.
- 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, , Special Report, No.176,12-33, National Academy of Sciences.
- Varnes, D.J., 1984. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. UNESCO Pres, Paris, 63.
- Wachal, D.J. ve Hudak, P.F., 2001. Mapping Landslide Susceptibility in Travis County, Texas, U.S.A. Geo. Journal, 51, 245-253.
- Wang, H.B. ve Sassa, K., 2005. Comparative Evaluation of Landslide Susceptibility in Minamata Area, Japan, Environmental Geology, 47, 956-966.
- Wilson, M.J., 1987. A Handbook of Determinative Methods in Clay Mineralogy, Blackie and Son (Chapman and Hall, N.Y), 384 s.
- Wilson, J.P. ve Gallant, J.C., 2000. Terrain Analysis Principles and Application, John Wiley.
- Wu, T.H. ve Abdel-Latif, A., 2000. Prediction and Mapping of Landslide Hazard. Can.Getech. J., 37, 781-795.
- Yalçın, A., 2005. Ardeşen (Rize) Yöresinin Heyelan Duyarlılığı Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yamaguchi, Y., ve Naito, C., 2003. Spectral Indices for Lithologic Discrimination and Mapping by Using the ASTER SWIR bands, Int. J. Remote Sensing, 24, 4311-4323.
- Yeşilnacar, E. ve Topal, T., 2005. Landslide Susceptibility Mapping: A Comparison of Logistic Regression and Neural Networks Methods in a Medium Scale Study, Hendek Region (Turkey), Engineering Geology. 79, 251-266.
- Yılmaz, B.S., 1995. Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelanlarının Genel Özellikleri, Nedenleri ve Önlenme Yolları, MTA. Raporu, Ankara.
- Yomralıoğlu, T., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar, Birinci Baskı, Seçil Ofset, İstanbul.
- Zeze, J.L., Ferreira, A.B. ve Rodrigues, M.L., 1999. Landslides in the North of Lisbon Region (Portugal): Conditioning and Triggering Factors. Physical and Chemical Earth /A, 24,10 925-934.
- Zhou, C.H., Lee, C.F., Li, J. ve Xu, Z.W., 2002. On the Spatial Relationship Between Landslides and Causative Factors on Lantau Island, Hong Kong. Geomorphology, 43, 197-207.

EKLER

Ek 1.

Veri Seti-1

Logistic Regression

Case Processing Summary

Unweighted Cases ^b		N	Percent
Selected Cases ^a	Included in Analysis	1125	100.0
	Missing Cases	0	.0
	Total	1125	100.0
Unselected Cases		0	.0
Total		1125	100.0

a. The variable SINIF_5 is constant for all selected cases. Since a constant was requested in the model, it will be removed from the analysis.

b. If weight is in effect, see classification table for the total number of cases.

Dependent Variable Encoding

Original Value	Internal Value
0	0
1	1

Block 0: Beginning Block

Classification Table^{a,b}

Observed			Predicted		Percentage Correct
			AKMA		
			0	1	
Step 0	AKMA	0	976	0	100.0
		1	149	0	.0
Overall Percentage					86.8

a. Constant is included in the model.

b. The cut value is .500

Variables in the Equation

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 0 Constant	-1.880	.088	456.642	1	.000	.153

Block 1: Method = Forward Stepwise (Conditional)**Model Summary**

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	673.740	.167	.308
2	527.506	.269	.496
3	492.330	.291	.537
4	467.312	.307	.566
5	448.952	.318	.586
6	442.274	.322	.594
7	432.375	.328	.605
8	427.939	.331	.610

Hosmer and Lemeshow Test

Step	Chi-square	df	Sig.
1	.000	0	.
2	.000	0	.
3	.000	1	1.000
4	4.055	2	.132
5	2.761	3	.430
6	2.066	4	.724
7	1.089	6	.982
8	1.783	8	.987

Classification Table^a

Observed			Predicted		Percentage Correct
			AKMA		
			0	1	
Step 1	AKMA	0	924	52	94.7
		1	68	81	54.4
	Overall Percentage				89.3
Step 2	AKMA	0	915	61	93.8
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.4
Step 3	AKMA	0	915	61	93.8
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.4
Step 4	AKMA	0	955	21	97.8
		1	83	66	44.3
	Overall Percentage				90.8
Step 5	AKMA	0	927	49	95.0
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				91.7
Step 6	AKMA	0	927	49	95.0
		1	45	104	69.8
	Overall Percentage				91.6
Step 7	AKMA	0	928	48	95.1
		1	45	104	69.8
	Overall Percentage				91.7
Step 8	AKMA	0	937	39	96.0
		1	52	97	65.1
	Overall Percentage				91.9

a. The cut value is .500

Variables in the Equation

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1	TA_ANBA	3.052	.218	196.713	1	.000	21.166
	Constant	-2.609	.126	431.207	1	.000	.074
Step 2	TA_ANBA	3.679	.246	223.868	1	.000	39.591
	TA_DA	4.504	.414	118.467	1	.000	90.370
	Constant	-3.235	.170	362.577	1	.000	.039
Step 3	YDA_DA	2.413	.366	43.577	1	.000	11.169
	TA_ANBA	4.156	.283	214.902	1	.000	63.791
	TA_DA	4.981	.437	129.796	1	.000	145.608
	Constant	-3.712	.221	282.523	1	.000	.024
Step 4	YDA_DA	2.716	.380	50.969	1	.000	15.112
	TA_ANBA	3.981	.293	184.870	1	.000	53.570
	TA_DA	5.259	.450	136.735	1	.000	192.336
	ELV1	1.628	.327	24.749	1	.000	5.093
	Constant	-4.015	.245	269.424	1	.000	.018
Step 5	YDA_DA	2.919	.400	53.359	1	.000	18.521
	TA_ANBA	3.566	.304	137.488	1	.000	35.360
	TA_DA	5.195	.469	122.840	1	.000	180.410
	ELV1	2.375	.374	40.367	1	.000	10.747
	ELV2	1.304	.310	17.752	1	.000	3.685
	Constant	-4.553	.303	225.353	1	.000	.011
Step 6	YDA_DA	2.948	.403	53.401	1	.000	19.070
	TA_ANBA	3.609	.310	135.894	1	.000	36.932
	TA_DA	5.244	.473	122.929	1	.000	189.417
	ELV1	2.613	.388	45.331	1	.000	13.643
	ELV2	1.308	.311	17.746	1	.000	3.699
	SINIF_1	-1.606	.651	6.080	1	.014	.201
	Constant	-4.560	.308	219.899	1	.000	.010
Step 7	YDA_DA	2.657	.411	41.891	1	.000	14.260
	TA_ANBA	3.445	.305	127.519	1	.000	31.346
	TA_DA	5.068	.489	107.612	1	.000	158.909
	ELV1	2.308	.392	34.603	1	.000	10.051
	ELV2	1.075	.314	11.743	1	.001	2.931
	ELV5	-17.416	2278.035	.000	1	.994	.000
	SINIF_1	-1.557	.642	5.882	1	.015	.211
	Constant	-4.184	.326	164.231	1	.000	.015
Step 8	YDA_DA	2.599	.414	39.466	1	.000	13.453
	TA_ANBA	3.466	.308	126.892	1	.000	31.997
	TA_DA	5.053	.494	104.791	1	.000	156.481
	ELV1	2.352	.393	35.803	1	.000	10.502
	ELV2	1.083	.315	11.796	1	.001	2.955
	ELV5	-17.203	2279.613	.000	1	.994	.000
	ASP4	-.680	.330	4.240	1	.039	.507
	SINIF_1	-1.592	.641	6.159	1	.013	.204
	Constant	-4.063	.332	150.032	1	.000	.017

- a. Variable(s) entered on step 1: TA_ANBA.
- b. Variable(s) entered on step 2: TA_DA.
- c. Variable(s) entered on step 3: YDA_DA.
- d. Variable(s) entered on step 4: ELV1.
- e. Variable(s) entered on step 5: ELV2.
- f. Variable(s) entered on step 6: SINIF_1.
- g. Variable(s) entered on step 7: ELV5.
- h. Variable(s) entered on step 8: ASP4.

Veri Seti – 2

Logistic Regression

Case Processing Summary

Unweighted Cases ^b		N	Percent
Selected Cases ^a	Included in Analysis	1125	100.0
	Missing Cases	0	.0
	Total	1125	100.0
Unselected Cases		0	.0
Total		1125	100.0

- a. The variable KCT is constant for all selected cases. Since a constant was requested in the model, it will be removed from the analysis.
- b. If weight is in effect, see classification table for the total number of cases.

Dependent Variable Encoding

Original Value	Internal Value
0	0
1	1

Block 0: Beginning Block

Classification Table^{a,b}

Observed			Predicted		
			AKMA		Percentage Correct
			0	1	
Step 0	AKMA	0	976	0	100.0
		1	149	0	.0
Overall Percentage					86.8

- a. Constant is included in the model.
- b. The cut value is .500

Variables in the Equation

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 0 Constant	-1.880	.088	456.642	1	.000	.153

Block 1: Method = Forward Stepwise (Conditional)**Model Summary**

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	682.139	.161	.297
2	536.230	.263	.485
3	496.942	.288	.532
4	472.268	.304	.560
5	447.600	.319	.588
6	443.963	.321	.592
7	434.089	.327	.603
8	430.357	.329	.607
9	426.021	.332	.612

Hosmer and Lemeshow Test

Step	Chi-square	df	Sig.
1	.000	0	.
2	.000	0	.
3	.000	1	1.000
4	5.465	2	.065
5	5.423	3	.143
6	2.583	3	.461
7	1.431	5	.921
8	3.663	6	.722
9	3.933	7	.787

Classification Table^a

Observed			Predicted		Percentage Correct
			AKMA		
			0	1	
Step 1	AKMA	0	919	57	94.2
		1	68	81	54.4
	Overall Percentage				88.9
Step 2	AKMA	0	910	66	93.2
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				90.9
Step 3	AKMA	0	910	66	93.2
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				90.9
Step 4	AKMA	0	954	22	97.7
		1	83	66	44.3
	Overall Percentage				90.7
Step 5	AKMA	0	933	43	95.6
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				92.3
Step 6	AKMA	0	927	49	95.0
		1	38	111	74.5
	Overall Percentage				92.3
Step 7	AKMA	0	933	43	95.6
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				92.3
Step 8	AKMA	0	933	43	95.6
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				92.3
Step 9	AKMA	0	933	43	95.6
		1	45	104	69.8
	Overall Percentage				92.2

a. The cut value is .500

Variables in the Equation

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1	TA_ANBA	2.955	.214	191.164	1	.000	19.205
	Constant	-2.604	.126	429.255	1	.000	.074
Step 2	TA_ANBA	3.581	.242	218.253	1	.000	35.921
	TA_DA	4.498	.414	118.174	1	.000	89.877
	Constant	-3.230	.170	361.275	1	.000	.040
Step 3	YDA_DA	2.596	.370	49.143	1	.000	13.416
	TA_ANBA	4.068	.280	210.412	1	.000	58.466
	TA_DA	4.986	.437	130.042	1	.000	146.286
	Constant	-3.717	.221	283.261	1	.000	.024
Step 4	YDA_DA	2.900	.385	56.812	1	.000	18.169
	TA_ANBA	3.905	.289	182.497	1	.000	49.638
	TA_DA	5.265	.449	137.215	1	.000	193.478
	ELV1	1.573	.318	24.459	1	.000	4.823
	Constant	-4.020	.244	271.207	1	.000	.018
Step 5	YDA_DA	3.096	.406	58.145	1	.000	22.106
	TA_ANBA	3.533	.298	140.746	1	.000	34.228
	TA_DA	5.047	.470	115.408	1	.000	155.594
	ELV1	2.327	.357	42.359	1	.000	10.244
	ELV2	1.463	.300	23.827	1	.000	4.317
	Constant	-4.579	.297	238.512	1	.000	.010
Step 6	YDA_DA	3.167	.412	59.127	1	.000	23.747
	YDA_GR	2.872	1.123	6.545	1	.011	17.669
	TA_ANBA	3.578	.303	139.818	1	.000	35.789
	TA_DA	5.112	.475	115.833	1	.000	166.009
	ELV1	2.388	.363	43.229	1	.000	10.891
	ELV2	1.507	.304	24.654	1	.000	4.514
	Constant	-4.664	.306	232.536	1	.000	.009
Step 7	YDA_DA	2.934	.418	49.236	1	.000	18.800
	YDA_GR	2.698	1.142	5.583	1	.018	14.844
	TA_ANBA	3.451	.301	131.289	1	.000	31.542
	TA_DA	4.861	.473	105.512	1	.000	129.191
	ELV1	2.097	.368	32.559	1	.000	8.144
	ELV2	1.274	.306	17.304	1	.000	3.576
	ELV5	-17.264	2274.946	.000	1	.994	.000
	Constant	-4.307	.322	179.372	1	.000	.013
Step 8	YDA_ANBA	.911	.466	3.831	1	.050	2.488
	YDA_DA	3.280	.475	47.746	1	.000	26.581
	YDA_GR	3.034	1.163	6.802	1	.009	20.773
	TA_ANBA	3.810	.378	101.641	1	.000	45.165
	TA_DA	5.214	.524	98.879	1	.000	183.827
	ELV1	2.081	.370	31.558	1	.000	8.009
	ELV2	1.238	.307	16.239	1	.000	3.449
	ELV5	-17.137	2249.556	.000	1	.994	.000
	Constant	-4.643	.391	140.971	1	.000	.010
	Step 9	YDA_ANBA	.939	.467	4.036	1	.045
YDA_DA		3.365	.480	49.135	1	.000	28.940
YDA_GR		3.198	1.174	7.420	1	.006	24.490
TA_ANBA		3.819	.380	100.994	1	.000	45.567
TA_DA		5.243	.528	98.708	1	.000	189.190
ELV1		2.233	.381	34.422	1	.000	9.325
ELV2		1.294	.311	17.349	1	.000	3.646
ELV5		-17.119	2241.322	.000	1	.994	.000
SINIF_1		-1.222	.618	3.905	1	.048	.295
Constant	-4.666	.395	139.661	1	.000	.009	

- a. Variable(s) entered on step 1: TA_ANBA.
- b. Variable(s) entered on step 2: TA_DA.
- c. Variable(s) entered on step 3: YDA_DA.
- d. Variable(s) entered on step 4: ELV1.
- e. Variable(s) entered on step 5: ELV2.
- f. Variable(s) entered on step 6: YDA_GR.
- g. Variable(s) entered on step 7: ELV5.
- h. Variable(s) entered on step 8: YDA_ANBA.
- i. Variable(s) entered on step 9: SINIF_1.

Veri Seti - 3

Logistic Regression

Case Processing Summary

Unweighted Cases ^c		N	Percent
Selected Cases ^{a,b}	Included in Analysis	1125	100.0
	Missing Cases	0	.0
	Total	1125	100.0
Unselected Cases		0	.0
Total		1125	100.0

- a. The variable KCT is constant for all selected cases. Since a constant was requested in the model, it will be removed from the analysis.
- b. The variable TA_GR is constant for all selected cases. Since a constant was requested in the model, it will be removed from the analysis.
- c. If weight is in effect, see classification table for the total number of cases.

Dependent Variable Encoding

Original Value	Internal Value
0	0
1	1

Block 0: Beginning Block

Classification Table^{a,b}

Observed			Predicted		Percentage Correct
			AKMA		
			0	1	
Step 0	AKMA	0	976	0	100.0
		1	149	0	.0
Overall Percentage					86.8

- a. Constant is included in the model.
- b. The cut value is .500

Variables in the Equation

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 0 Constant	-1.880	.088	456.642	1	.000	.153

Block 1: Method = Forward Stepwise (Conditional)**Model Summary**

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	690.018	.155	.286
2	561.837	.246	.454
3	525.358	.270	.498
4	499.634	.287	.529
5	479.210	.300	.552
6	476.277	.301	.556
7	469.768	.305	.563
8	463.476	.309	.570

Hosmer and Lemeshow Test

Step	Chi-square	df	Sig.
1	.000	0	.
2	.000	0	.
3	.000	1	1.000
4	4.911	2	.086
5	4.704	3	.195
6	3.356	3	.340
7	5.901	5	.316
8	6.646	5	.248

Classification Table^a

Observed			Predicted		Percentage Correct
			AKMA		
			0	1	
Step 1	AKMA	0	914	62	93.6
		1	68	81	54.4
	Overall Percentage				88.4
Step 2	AKMA	0	898	78	92.0
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				89.9
Step 3	AKMA	0	898	78	92.0
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				89.9
Step 4	AKMA	0	946	30	96.9
		1	83	66	44.3
	Overall Percentage				90.0
Step 5	AKMA	0	920	56	94.3
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				91.1
Step 6	AKMA	0	920	56	94.3
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				91.1
Step 7	AKMA	0	920	56	94.3
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				91.1
Step 8	AKMA	0	944	32	96.7
		1	77	72	48.3
	Overall Percentage				90.3

a. The cut value is .500

Variables in the Equation

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1	TA_ANBA	2.866	.210	185.476	1	.000	17.560
	Constant	-2.598	.126	427.297	1	.000	.074
Step 2	TA_ANBA	3.484	.240	211.589	1	.000	32.589
	TA_DA	3.910	.350	124.644	1	.000	49.889
	Constant	-3.217	.170	358.129	1	.000	.040
Step 3	YDA_DA	2.473	.368	45.292	1	.000	11.863
	TA_ANBA	3.964	.278	203.395	1	.000	52.694
	TA_DA	4.390	.378	135.216	1	.000	80.667
	Constant	-3.697	.221	280.107	1	.000	.025
Step 4	YDA_DA	2.750	.381	52.042	1	.000	15.636
	TA_ANBA	3.816	.286	177.626	1	.000	45.440
	TA_DA	4.675	.391	142.752	1	.000	107.207
	ELV1	1.560	.309	25.482	1	.000	4.759
	Constant	-4.004	.244	270.234	1	.000	.018
Step 5	YDA_DA	2.735	.394	48.200	1	.000	15.414
	TA_ANBA	3.466	.295	137.750	1	.000	32.021
	TA_DA	4.509	.407	122.972	1	.000	90.799
	ELV1	2.209	.343	41.381	1	.000	9.105
	ELV2	1.251	.281	19.831	1	.000	3.495
	Constant	-4.470	.286	244.265	1	.000	.011
Step 6	YDA_DA	2.794	.399	49.051	1	.000	16.352
	YDA_GR	2.466	1.101	5.019	1	.025	11.776
	TA_ANBA	3.509	.300	136.833	1	.000	33.423
	TA_DA	4.568	.412	123.148	1	.000	96.368
	ELV1	2.262	.348	42.175	1	.000	9.598
	ELV2	1.287	.284	20.531	1	.000	3.621
	Constant	-4.545	.295	238.115	1	.000	.011
Step 7	YDA_ANBA	1.215	.466	6.814	1	.009	3.372
	YDA_DA	3.236	.460	49.533	1	.000	25.419
	YDA_GR	2.882	1.124	6.579	1	.010	17.846
	TA_ANBA	3.957	.378	109.754	1	.000	52.311
	TA_DA	5.010	.471	113.342	1	.000	149.869
	ELV1	2.254	.353	40.779	1	.000	9.527
	ELV2	1.230	.284	18.748	1	.000	3.420
	Constant	-4.961	.371	179.283	1	.000	.007
	YDA_ANBA	1.274	.467	7.432	1	.006	3.575
Step 8	YDA_DA	3.255	.461	49.793	1	.000	25.927
	YDA_GR	3.076	1.129	7.421	1	.006	21.677
	TA_ANBA	4.011	.380	111.549	1	.000	55.212
	TA_DA	5.084	.475	114.705	1	.000	161.445
	ELV1	1.872	.381	24.159	1	.000	6.501
	ELV2	1.134	.288	15.482	1	.000	3.109
	YOL6	-.681	.271	6.314	1	.012	.506
	Constant	-4.474	.413	117.214	1	.000	.011

- a. Variable(s) entered on step 1: TA_ANBA.
- b. Variable(s) entered on step 2: TA_DA.
- c. Variable(s) entered on step 3: YDA_DA.
- d. Variable(s) entered on step 4: ELV1.
- e. Variable(s) entered on step 5: ELV2.
- f. Variable(s) entered on step 6: YDA_GR.
- g. Variable(s) entered on step 7: YDA_ANBA.
- h. Variable(s) entered on step 8: YOL6.

Veri Seti – 4

Logistic Regression

Case Processing Summary

Unweighted Cases ^a		N	Percent
Selected Cases	Included in Analysis	1125	100.0
	Missing Cases	0	.0
	Total	1125	100.0
Unselected Cases		0	.0
Total		1125	100.0

a. If weight is in effect, see classification table for the total number of cases.

Dependent Variable Encoding

Original Value	Internal Value
0	0
1	1

Block 0: Beginning Block

Classification Table^{a,b}

Observed			Predicted		Percentage Correct
			AKMA		
			0	1	
Step 0	AKMA	0	976	0	100.0
		1	149	0	.0
Overall Percentage					86.8

a. Constant is included in the model.

b. The cut value is .500

Variables in the Equation

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 0	Constant	-1.880	.088	456.642	1	.000	.153

Block 1: Method = Forward Stepwise (Conditional)**Model Summary**

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	686.925	.158	.290
2	523.560	.271	.500
3	487.132	.295	.543
4	469.985	.305	.563
5	449.978	.318	.585
6	440.630	.323	.596
7	432.345	.328	.605
8	427.734	.331	.610
9	425.105	.332	.613
10	420.487	.335	.618

Hosmer and Lemeshow Test

Step	Chi-square	df	Sig.
1	.000	0	.
2	.000	0	.
3	.000	1	1.000
4	9.625	2	.008
5	6.328	4	.176
6	8.686	6	.192
7	6.070	6	.415
8	4.268	7	.748
9	5.579	7	.590
10	8.956	8	.346

Classification Table^a

Observed			Predicted		
			AKMA		Percentage Correct
			0	1	
Step 1	AKMA	0	916	60	93.9
		1	68	81	54.4
	Overall Percentage				88.6
Step 2	AKMA	0	912	64	93.4
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.1
Step 3	AKMA	0	912	64	93.4
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.1
Step 4	AKMA	0	944	32	96.7
		1	75	74	49.7
	Overall Percentage				90.5
Step 5	AKMA	0	945	31	96.8
		1	75	74	49.7
	Overall Percentage				90.6
Step 6	AKMA	0	928	48	95.1
		1	39	110	73.8
	Overall Percentage				92.3
Step 7	AKMA	0	929	47	95.2
		1	40	109	73.2
	Overall Percentage				92.3
Step 8	AKMA	0	929	47	95.2
		1	40	109	73.2
	Overall Percentage				92.3
Step 9	AKMA	0	929	47	95.2
		1	40	109	73.2
	Overall Percentage				92.3
Step 10	AKMA	0	941	35	96.4
		1	56	93	62.4
	Overall Percentage				91.9

a. The cut value is .500

Variables in the Equation

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1	TA_ANBA	2.901	.212	187.761	1	.000	18.185
	Constant	-2.601	.126	428.081	1	.000	.074
Step 2	TA_ANBA	3.532	.241	215.535	1	.000	34.200
	TA_DA	5.312	.557	90.972	1	.000	202.667
	Constant	-3.232	.170	361.796	1	.000	.039
Step 3	YDA_DA	2.469	.367	45.271	1	.000	11.813
	TA_ANBA	4.013	.279	206.960	1	.000	55.286
	TA_DA	5.792	.574	101.643	1	.000	327.619
	Constant	-3.712	.221	282.523	1	.000	.024
Step 4	YDA_DA	2.430	.373	42.488	1	.000	11.361
	TA_ANBA	3.832	.283	183.178	1	.000	46.171
	TA_DA	5.870	.582	101.763	1	.000	354.088
	YOL6	-1.035	.249	17.218	1	.000	.355
	Constant	-2.990	.266	126.297	1	.000	.050
	YDA_DA	2.169	.376	33.363	1	.000	8.754
Step 5	TA_ANBA	3.500	.283	152.755	1	.000	33.100
	TA_DA	5.780	.650	79.019	1	.000	323.716
	ELV5	-18.368	2280.012	.000	1	.994	.000
	YOL6	-.895	.249	12.960	1	.000	.409
	Constant	-2.734	.260	110.164	1	.000	.065
	YDA_DA	2.362	.387	37.337	1	.000	10.609
Step 6	TA_ANBA	3.384	.286	140.482	1	.000	29.490
	TA_DA	5.899	.665	78.577	1	.000	364.743
	ELV3	-.961	.327	8.620	1	.003	.382
	ELV5	-18.721	2272.479	.000	1	.993	.000
	YOL6	-.771	.253	9.260	1	.002	.463
	Constant	-2.561	.262	95.248	1	.000	.077
Step 7	YDA_DA	2.446	.395	38.391	1	.000	11.538
	TA_ANBA	3.182	.291	119.231	1	.000	24.092
	TA_DA	5.732	.668	73.618	1	.000	308.493
	ELV3	-1.270	.343	13.737	1	.000	.281
	ELV4	-1.163	.429	7.330	1	.007	.313
	ELV5	-19.050	2273.266	.000	1	.993	.000
Step 8	YOL6	-.562	.264	4.531	1	.033	.570
	Constant	-2.355	.266	78.204	1	.000	.095
	YDA_ANBA	1.000	.456	4.822	1	.028	2.719
	YDA_DA	2.788	.445	39.290	1	.000	16.256
	TA_ANBA	3.548	.361	96.672	1	.000	34.731
	TA_DA	6.080	.699	75.696	1	.000	437.238
	ELV3	-1.219	.345	12.513	1	.000	.296
	ELV4	-1.110	.431	6.634	1	.010	.330
	ELV5	-18.920	2248.412	.000	1	.993	.000
	YOL6	-.578	.263	4.812	1	.028	.561
Step 9	Constant	-2.722	.341	63.530	1	.000	.066
	YDA_ANBA	1.084	.466	5.417	1	.020	2.956
	YDA_DA	2.892	.457	40.030	1	.000	18.033
	YDA_GR	2.312	1.118	4.273	1	.039	10.092
	TA_ANBA	3.629	.373	94.503	1	.000	37.668
	TA_DA	6.188	.708	76.392	1	.000	486.827
	ELV3	-1.269	.349	13.245	1	.000	.281
	ELV4	-1.139	.433	6.921	1	.009	.320
	ELV5	-18.911	2238.340	.000	1	.993	.000
	YOL6	-.597	.265	5.067	1	.024	.550
Step 10	Constant	-2.785	.353	62.135	1	.000	.062
	YDA_ANBA	1.157	.468	6.113	1	.013	3.181
	YDA_DA	2.967	.460	41.586	1	.000	19.430
	YDA_GR	2.313	1.122	4.251	1	.039	10.101
	TA_ANBA	3.692	.378	95.319	1	.000	40.107
	TA_DA	6.323	.718	77.595	1	.000	557.483
	ELV3	-1.239	.351	12.482	1	.000	.290
	ELV4	-1.071	.437	6.002	1	.014	.343
	ELV5	-18.781	2221.442	.000	1	.993	.000
	YOL6	-.598	.268	5.001	1	.025	.550
Step 10	SINIF_2	.549	.256	4.577	1	.032	1.731
	Constant	-3.103	.389	63.494	1	.000	.045

- a. Variable(s) entered on step 1: TA_ANBA.
- b. Variable(s) entered on step 2: TA_DA.
- c. Variable(s) entered on step 3: YDA_DA.
- d. Variable(s) entered on step 4: YOL6.
- e. Variable(s) entered on step 5: ELV5.
- f. Variable(s) entered on step 6: ELV3.
- g. Variable(s) entered on step 7: ELV4.
- h. Variable(s) entered on step 8: YDA_ANBA.
- i. Variable(s) entered on step 9: YDA_GR.
- j. Variable(s) entered on step 10: SINIF_2.

Veri Seti – 5

Logistic Regression

Case Processing Summary

Unweighted Cases ^d	N	Percent
Selected Cases ^{a,b,c} Included in Analysis	1125	100.0
Missing Cases	0	.0
Total	1125	100.0
Unselected Cases	0	.0
Total	1125	100.0

- a. The variable KCT is constant for all selected cases. Since a constant was requested in the model, it will be removed from the analysis.
- b. The variable TA_GR is constant for all selected cases. Since a constant was requested in the model, it will be removed from the analysis.
- c. The variable SINIF_5 is constant for all selected cases. Since a constant was requested in the model, it will be removed from the analysis.
- d. If weight is in effect, see classification table for the total number of cases.

Dependent Variable Encoding

Original Value	Internal Value
0	0
1	1

Block 0: Beginning Block

Classification Table^{a,b}

Observed	AKMA	Predicted		Percentage Correct
		AKMA		
		0	1	
Step 0	0	976	0	100.0
	1	149	0	.0
Overall Percentage				86.8

- a. Constant is included in the model.
- b. The cut value is .500

Variables in the Equation

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 0 Constant	-1.880	.088	456.642	1	.000	.153

Block 1: Method = Forward Stepwise (Conditional)**Model Summary**

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	683.754	.160	.295
2	520.258	.274	.504
3	486.786	.295	.543
4	463.194	.309	.570
5	434.531	.327	.602
6	423.525	.333	.615
7	416.728	.337	.622
8	414.094	.339	.625
9	408.191	.342	.631
10	404.177	.345	.635
11	399.863	.347	.640

Hosmer and Lemeshow Test

Step	Chi-square	df	Sig.
1	.000	0	.
2	.000	0	.
3	.000	1	1.000
4	3.536	2	.171
5	1.761	4	.780
6	4.785	5	.443
7	3.201	6	.783
8	4.456	6	.615
9	3.819	7	.800
10	3.403	8	.907
11	6.858	8	.552

Classification Table^a

Observed			Predicted		
			AKMA		Percentage Correct
			0	1	
Step 1	AKMA	0	918	58	94.1
		1	68	81	54.4
	Overall Percentage				88.8
Step 2	AKMA	0	914	62	93.6
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.3
Step 3	AKMA	0	914	62	93.6
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.3
Step 4	AKMA	0	951	25	97.4
		1	75	74	49.7
	Overall Percentage				91.1
Step 5	AKMA	0	953	23	97.6
		1	75	74	49.7
	Overall Percentage				91.3
Step 6	AKMA	0	935	41	95.8
		1	39	110	73.8
	Overall Percentage				92.9
Step 7	AKMA	0	939	37	96.2
		1	40	109	73.2
	Overall Percentage				93.2
Step 8	AKMA	0	939	37	96.2
		1	40	109	73.2
	Overall Percentage				93.2
Step 9	AKMA	0	942	34	96.5
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				93.1
Step 10	AKMA	0	942	34	96.5
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				93.1
Step 11	AKMA	0	947	29	97.0
		1	50	99	66.4
	Overall Percentage				93.0

a. The cut value is .500

Variables in the Equation

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1	TA_ANBA	2.937	.213	190.034	1	.000	18.853
	Constant	-2.603	.126	428.864	1	.000	.074
Step 2	TA_ANBA	3.568	.242	217.809	1	.000	35.457
	TA_DA	5.314	.557	91.048	1	.000	203.111
	Constant	-3.234	.170	362.317	1	.000	.039
Step 3	YDA_DA	2.337	.364	41.252	1	.000	10.351
	TA_ANBA	4.041	.280	208.309	1	.000	56.860
	TA_DA	5.786	.574	101.437	1	.000	325.714
	Constant	-3.707	.221	281.597	1	.000	.025
Step 4	YDA_DA	2.405	.373	41.613	1	.000	11.078
	TA_ANBA	3.987	.287	192.662	1	.000	53.876
	TA_DA	5.987	.588	103.833	1	.000	398.247
	YOL6	-1.218	.253	23.088	1	.000	.296
	Constant	-2.952	.253	135.822	1	.000	.052
	YDA_DA	2.194	.378	33.690	1	.000	8.971
Step 5	TA_ANBA	3.660	.289	159.965	1	.000	38.874
	TA_DA	6.268	.772	65.834	1	.000	527.207
	ELV5	-18.947	2119.476	.000	1	.993	.000
	YOL6	-1.023	.256	15.990	1	.000	.360
	Constant	-2.713	.249	118.775	1	.000	.066
	YDA_DA	2.449	.393	38.862	1	.000	11.582
Step 6	TA_ANBA	3.597	.292	151.752	1	.000	36.481
	TA_DA	6.500	.794	67.027	1	.000	664.982
	ELV3	-1.065	.337	9.974	1	.002	.345
	ELV5	-19.360	2102.688	.000	1	.993	.000
	YOL6	-.933	.260	12.826	1	.000	.394
	Constant	-2.542	.252	101.583	1	.000	.079
	YDA_DA	2.496	.398	39.416	1	.000	12.133
Step 7	TA_ANBA	3.459	.296	136.218	1	.000	31.794
	TA_DA	6.370	.796	64.073	1	.000	583.996
	ELV3	-1.288	.346	13.878	1	.000	.276
	ELV4	-1.055	.430	6.017	1	.014	.348
	ELV5	-19.577	2106.480	.000	1	.993	.000
	YOL6	-.788	.267	8.670	1	.003	.455
	Constant	-2.373	.255	86.512	1	.000	.093
	YDA_DA	2.569	.403	40.588	1	.000	13.057
	YDA_GR	2.310	1.114	4.304	1	.038	10.077
	TA_ANBA	3.511	.302	135.385	1	.000	33.466
Step 8	TA_DA	6.458	.801	64.927	1	.000	637.570
	ELV3	-1.353	.351	14.884	1	.000	.258
	ELV4	-1.082	.432	6.277	1	.012	.339
	ELV5	-19.592	2098.241	.000	1	.993	.000
	YOL6	-.818	.270	9.145	1	.002	.441
	Constant	-2.395	.259	85.707	1	.000	.091
	YDA_DA	2.590	.407	40.587	1	.000	13.330
	YDA_GR	2.326	1.114	4.356	1	.037	10.233
	TA_ANBA	3.549	.305	135.206	1	.000	34.777
	TA_DA	6.553	.806	66.155	1	.000	701.388
	ELV3	-1.425	.355	16.153	1	.000	.241
	ELV4	-1.168	.435	7.218	1	.007	.311
	ELV5	-19.707	2089.905	.000	1	.992	.000
Step 9	YOL6	-.849	.274	9.631	1	.002	.428
	SINIF_1	-1.492	.660	5.103	1	.024	.225
	Constant	-2.305	.261	78.037	1	.000	.100
	YDA_ANBA	.948	.466	4.126	1	.042	2.579
	YDA_DA	2.958	.467	40.200	1	.000	19.267
	YDA_GR	2.700	1.139	5.623	1	.018	14.881
	TA_ANBA	3.924	.383	105.103	1	.000	50.627
	TA_DA	6.932	.839	68.223	1	.000	1024.107
	ELV3	-1.405	.355	15.651	1	.000	.245
	ELV4	-1.123	.437	6.603	1	.010	.325
	ELV5	-19.627	2062.416	.000	1	.992	.000
	YOL6	-.891	.274	10.580	1	.001	.410
	SINIF_1	-1.468	.666	4.863	1	.027	.230
	Constant	-2.663	.344	60.015	1	.000	.070
Step 10	YDA_ANBA	.932	.467	3.980	1	.046	2.540
	YDA_DA	2.957	.470	39.623	1	.000	19.237
	YDA_GR	2.669	1.141	5.471	1	.019	14.424
	TA_ANBA	3.931	.384	104.837	1	.000	50.936
	TA_DA	6.946	.848	67.071	1	.000	1039.259
	ELV3	-1.430	.357	16.063	1	.000	.239
	ELV4	-1.129	.441	6.567	1	.010	.323
	ELV5	-19.541	2056.679	.000	1	.992	.000
	ASP4	-.656	.324	4.114	1	.043	.519
	YOL6	-.885	.276	10.321	1	.001	.413
	SINIF_1	-1.416	.669	4.483	1	.034	.243
Constant	-2.517	.350	51.842	1	.000	.081	

- a. Variable(s) entered on step 1: TA_ANBA.
- b. Variable(s) entered on step 2: TA_DA.
- c. Variable(s) entered on step 3: YDA_DA.
- d. Variable(s) entered on step 4: YOL6.
- e. Variable(s) entered on step 5: ELV5.
- f. Variable(s) entered on step 6: ELV3.
- g. Variable(s) entered on step 7: ELV4.
- h. Variable(s) entered on step 8: YDA_GR.
- i. Variable(s) entered on step 9: SINIF_1.
- j. Variable(s) entered on step 10: YDA_ANBA.
- k. Variable(s) entered on step 11: ASP4.

Veri Seti – 6

Logistic Regression

Case Processing Summary

Unweighted Cases ^b		N	Percent
Selected Cases ^a	Included in Analysis	1125	100.0
	Missing Cases	0	.0
	Total	1125	100.0
Unselected Cases		0	.0
Total		1125	100.0

- a. The variable KCT is constant for all selected cases. Since a constant was requested in the model, it will be removed from the analysis.
- b. If weight is in effect, see classification table for the total number of cases.

Dependent Variable Encoding

Original Value	Internal Value
0	0
1	1

Block 0: Beginning Block

Classification Table^{a,b}

Observed			Predicted		Percentage Correct
			AKMA		
			0	1	
Step 0	AKMA	0	976	0	100.0
		1	149	0	.0
Overall Percentage					86.8

- a. Constant is included in the model.
- b. The cut value is .500

Variables in the Equation

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 0 Constant	-1.880	.088	456.642	1	.000	.153

Block 1: Method = Forward Stepwise (Conditional)**Model Summary**

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	664.751	.174	.321
2	518.193	.275	.507
3	477.010	.301	.555
4	450.711	.317	.584
5	430.556	.329	.607
6	420.154	.335	.618
7	410.079	.341	.629
8	404.066	.345	.636
9	399.845	.347	.640
10	397.349	.349	.643

Hosmer and Lemeshow Test

Step	Chi-square	df	Sig.
1	.000	0	.
2	.000	0	.
3	.000	1	1.000
4	4.217	2	.121
5	3.942	3	.268
6	1.255	4	.869
7	1.886	6	.930
8	1.911	7	.965
9	5.035	7	.656
10	7.239	8	.511

Classification Table^a

Observed			Predicted		
			AKMA		Percentage Correct
			0	1	
Step 1	AKMA	0	929	47	95.2
		1	68	81	54.4
	Overall Percentage				89.8
Step 2	AKMA	0	920	56	94.3
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.8
Step 3	AKMA	0	920	56	94.3
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.8
Step 4	AKMA	0	920	56	94.3
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.8
Step 5	AKMA	0	939	37	96.2
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				92.8
Step 6	AKMA	0	948	28	97.1
		1	53	96	64.4
	Overall Percentage				92.8
Step 7	AKMA	0	949	27	97.2
		1	53	96	64.4
	Overall Percentage				92.9
Step 8	AKMA	0	945	31	96.8
		1	53	96	64.4
	Overall Percentage				92.5
Step 9	AKMA	0	945	31	96.8
		1	53	96	64.4
	Overall Percentage				92.5
Step 10	AKMA	0	945	31	96.8
		1	53	96	64.4
	Overall Percentage				92.5

a. The cut value is .500

Veri Seti – 7

Logistic Regression

Case Processing Summary

Unweighted Cases ^a		N	Percent
Selected Cases	Included in Analysis	1125	100.0
	Missing Cases	0	.0
	Total	1125	100.0
Unselected Cases		0	.0
Total		1125	100.0

a. If weight is in effect, see classification table for the total number of cases.

Dependent Variable Encoding

Original Value	Internal Value
0	0
1	1

Block 0: Beginning Block

Classification Table^{a,b}

Observed			Predicted		
			AKMA		Percentage Correct
			0	1	
Step 0	AKMA	0	976	0	100.0
		1	149	0	.0
Overall Percentage					86.8

a. Constant is included in the model.

b. The cut value is .500

Variables in the Equation

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 0 Constant	-1.880	.088	456.642	1	.000	.153

Block 1: Method = Forward Stepwise (Conditional)**Model Summary**

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	675.465	.166	.306
2	511.641	.279	.514
3	473.592	.303	.559
4	447.370	.319	.588
5	438.408	.325	.598
6	423.670	.333	.614
7	413.780	.339	.625
8	411.343	.341	.628

Hosmer and Lemeshow Test

Step	Chi-square	df	Sig.
1	.000	0	.
2	.000	0	.
3	.000	1	1.000
4	.000	3	1.000
5	8.296	4	.081
6	4.915	5	.426
7	4.778	6	.573
8	4.724	6	.580

Classification Table^a

Observed			Predicted		Percentage Correct
			AKMA		
			0	1	
Step 1	AKMA	0	923	53	94.6
		1	68	81	54.4
	Overall Percentage				89.2
Step 2	AKMA	0	919	57	94.2
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.7
Step 3	AKMA	0	919	57	94.2
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.7
Step 4	AKMA	0	921	55	94.4
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.9
Step 5	AKMA	0	921	55	94.4
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.9
Step 6	AKMA	0	935	41	95.8
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				92.4
Step 7	AKMA	0	941	35	96.4
		1	48	101	67.8
	Overall Percentage				92.6
Step 8	AKMA	0	941	35	96.4
		1	48	101	67.8
	Overall Percentage				92.6

a. The cut value is .500

Variables in the Equationⁱ

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1	TA_ANBA	3.032	.217	195.620	1	.000	20.744
	Constant	-2.608	.126	430.817	1	.000	.074
Step 2	TA_ANBA	3.664	.245	223.443	1	.000	39.014
	TA_DA	5.319	.557	91.237	1	.000	204.222
	Constant	-3.240	.170	363.615	1	.000	.039
Step 3	YDA_DA	2.540	.369	47.500	1	.000	12.682
	TA_ANBA	4.148	.283	215.135	1	.000	63.315
	TA_DA	5.803	.574	102.054	1	.000	331.429
	Constant	-3.724	.221	284.363	1	.000	.024
Step 4	YDA_DA	2.203	.372	35.086	1	.000	9.048
	TA_ANBA	3.744	.285	173.193	1	.000	42.280
	TA_DA	5.668	.643	77.614	1	.000	289.524
	ELV5	-18.628	2235.768	.000	1	.993	.000
	Constant	-3.301	.222	220.713	1	.000	.037
Step 5	YDA_DA	2.394	.382	39.292	1	.000	10.959
	TA_ANBA	3.597	.288	155.880	1	.000	36.494
	TA_DA	5.842	.649	81.012	1	.000	344.374
	ELV1	.912	.303	9.086	1	.003	2.489
	ELV5	-18.513	2230.206	.000	1	.993	.000
	Constant	-3.493	.239	214.052	1	.000	.030
Step 6	YDA_DA	2.482	.396	39.382	1	.000	11.970
	TA_ANBA	3.327	.294	128.172	1	.000	27.859
	TA_DA	5.821	.662	77.261	1	.000	337.287
	ELV1	1.617	.361	20.059	1	.000	5.035
	ELV2	1.180	.313	14.256	1	.000	3.254
	ELV5	-17.959	2226.370	.000	1	.994	.000
	Constant	-4.027	.302	177.935	1	.000	.018
Step 7	YDA_DA	2.588	.402	41.442	1	.000	13.304
	TA_ANBA	3.383	.299	128.206	1	.000	29.455
	TA_DA	5.905	.667	78.324	1	.000	367.047
	ELV1	1.911	.377	25.744	1	.000	6.758
	ELV2	1.214	.315	14.811	1	.000	3.367
	ELV5	-17.962	2216.955	.000	1	.994	.000
	SINIF_1	-1.780	.611	8.474	1	.004	.169
	Constant	-4.059	.308	173.725	1	.000	.017
Step 8	YDA_DA	2.652	.408	42.311	1	.000	14.182
	YDA_GR	2.199	1.115	3.886	1	.049	9.014
	TA_ANBA	3.423	.303	127.541	1	.000	30.648
	TA_DA	5.972	.671	79.136	1	.000	392.424
	ELV1	1.974	.383	26.604	1	.000	7.203
	ELV2	1.265	.320	15.612	1	.000	3.543
	ELV5	-17.928	2207.146	.000	1	.994	.000
	SINIF_1	-1.792	.613	8.540	1	.003	.167
	Constant	-4.145	.318	169.507	1	.000	.016

- a. Variable(s) entered on step 1: TA_ANBA.
- b. Variable(s) entered on step 2: TA_DA.
- c. Variable(s) entered on step 3: YDA_DA.
- d. Variable(s) entered on step 4: ELV5.
- e. Variable(s) entered on step 5: ELV1.
- f. Variable(s) entered on step 6: ELV2.
- g. Variable(s) entered on step 7: SINIF_1.
- h. Variable(s) entered on step 8: YDA_GR.
- i. Stepwise procedure stopped because removing the least significant variable result in a previously fitted model.

Veri Seti – 8

Logistic Regression

Case Processing Summary

Unweighted Cases ^d	N	Percent
Selected Cases ^{a,b,c}	Included in Analysis	1125 100.0
	Missing Cases	0 .0
	Total	1125 100.0
Unselected Cases	0	.0
Total	1125	100.0

- a. The variable AA_DA is constant for all selected cases. Since a constant was requested in the model, it will be removed from the analysis.
- b. The variable KCT is constant for all selected cases. Since a constant was requested in the model, it will be removed from the analysis.
- c. The variable TA_GR is constant for all selected cases. Since a constant was requested in the model, it will be removed from the analysis.
- d. If weight is in effect, see classification table for the total number of cases.

Dependent Variable Encoding

Original Value	Internal Value
0	0
1	1

Block 0: Beginning Block

Classification Table^{a,b}

Observed	AKMA	Predicted		Percentage Correct
		AKMA		
		0	1	
Step 0	0	976	0	100.0
	1	149	0	.0
Overall Percentage				86.8

- a. Constant is included in the model.
- b. The cut value is .500

Variables in the Equation

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 0 Constant	-1.880	.088	456.642	1	.000	.153

Block 1: Method = Forward Stepwise (Conditional)**Model Summary**

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	673.740	.167	.308
2	530.378	.267	.492
3	495.661	.289	.533
4	467.129	.307	.566
5	454.803	.315	.580
6	437.922	.325	.599
7	432.548	.328	.605
8	430.192	.329	.607

Hosmer and Lemeshow Test

Step	Chi-square	df	Sig.
1	.000	0	.
2	.000	0	.
3	.000	1	1.000
4	.000	3	1.000
5	3.426	4	.489
6	1.198	5	.945
7	.868	6	.990
8	1.444	6	.963

Classification Table^a

Observed			Predicted		Percentage Correct
			AKMA		
			0	1	
Step 1	AKMA	0	924	52	94.7
		1	68	81	54.4
	Overall Percentage				89.3
Step 2	AKMA	0	914	62	93.6
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.3
Step 3	AKMA	0	914	62	93.6
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.3
Step 4	AKMA	0	917	59	94.0
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.6
Step 5	AKMA	0	917	59	94.0
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				91.6
Step 6	AKMA	0	930	46	95.3
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				92.0
Step 7	AKMA	0	933	43	95.6
		1	45	104	69.8
	Overall Percentage				92.2
Step 8	AKMA	0	933	43	95.6
		1	45	104	69.8
	Overall Percentage				92.2

a. The cut value is .500

Variables in the Equationⁱ

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1	TA_ANBA	3.052	.218	196.713	1	.000	21.166
	Constant	-2.609	.126	431.207	1	.000	.074
Step 2	TA_ANBA	3.678	.246	223.730	1	.000	39.548
	TA_DA	4.397	.400	120.768	1	.000	81.244
	Constant	-3.234	.170	362.317	1	.000	.039
Step 3	YDA_DA	2.393	.365	42.949	1	.000	10.944
	TA_ANBA	4.153	.283	214.654	1	.000	63.643
	TA_DA	4.873	.424	131.910	1	.000	130.743
	Constant	-3.710	.221	282.153	1	.000	.024
Step 4	YDA_DA	2.049	.368	30.935	1	.000	7.759
	TA_ANBA	3.735	.285	171.450	1	.000	41.899
	TA_DA	4.659	.454	105.534	1	.000	105.524
	ELV5	-18.515	2206.068	.000	1	.993	.000
	Constant	-3.273	.222	216.700	1	.000	.038
Step 5	YDA_DA	2.324	.384	36.544	1	.000	10.216
	TA_ANBA	3.650	.290	158.593	1	.000	38.488
	TA_DA	4.915	.466	111.133	1	.000	136.325
	ELV1	1.065	.303	12.328	1	.000	2.901
	ELV5	-18.341	2194.210	.000	1	.993	.000
	Constant	-3.548	.248	204.608	1	.000	.029
Step 6	YDA_DA	2.507	.402	38.892	1	.000	12.267
	TA_ANBA	3.376	.296	130.018	1	.000	29.257
	TA_DA	4.992	.487	104.917	1	.000	147.201
	ELV1	1.817	.365	24.843	1	.000	6.152
	ELV2	1.244	.310	16.100	1	.000	3.468
	ELV5	-17.763	2184.274	.000	1	.994	.000
	Constant	-4.150	.316	172.000	1	.000	.016
Step 7	YDA_DA	2.564	.406	39.797	1	.000	12.989
	TA_ANBA	3.420	.301	129.471	1	.000	30.563
	TA_DA	5.059	.495	104.600	1	.000	157.382
	ELV1	2.027	.378	28.828	1	.000	7.595
	ELV2	1.287	.312	16.972	1	.000	3.622
	ELV5	-17.627	2189.179	.000	1	.994	.000
	YOL3	-1.064	.474	5.035	1	.025	.345
	Constant	-4.166	.320	169.305	1	.000	.016
Step 8	YDA_DA	2.635	.413	40.735	1	.000	13.941
	YDA_GR	2.144	1.108	3.748	1	.053	8.537
	TA_ANBA	3.466	.306	128.733	1	.000	32.016
	TA_DA	5.133	.501	104.950	1	.000	169.525
	ELV1	2.095	.384	29.729	1	.000	8.128
	ELV2	1.329	.316	17.723	1	.000	3.777
	ELV5	-17.580	2182.260	.000	1	.994	.000
	YOL3	-1.098	.474	5.371	1	.020	.333
	Constant	-4.252	.330	165.634	1	.000	.014

- a. Variable(s) entered on step 1: TA_ANBA.
b. Variable(s) entered on step 2: TA_DA.
c. Variable(s) entered on step 3: YDA_DA.
d. Variable(s) entered on step 4: ELV5.
e. Variable(s) entered on step 5: ELV1.
f. Variable(s) entered on step 6: ELV2.
g. Variable(s) entered on step 7: YOL3.
h. Variable(s) entered on step 8: YDA_GR.
i. Stepwise procedure stopped because removing the least significant variable result in a previously fitted model.

Veri Seti – 9

Logistic Regression

Case Processing Summary

Unweighted Cases ^b		N	Percent
Selected Cases ^a	Included in Analysis	1125	100.0
	Missing Cases	0	.0
	Total	1125	100.0
Unselected Cases		0	.0
Total		1125	100.0

- a. The variable AA_DA is constant for all selected cases. Since a constant was requested in the model, it will be removed from the analysis.
- b. If weight is in effect, see classification table for the total number of cases.

Dependent Variable Encoding

Original Value	Internal Value
0	0
1	1

Block 0: Beginning Block

Classification Table^{a,b}

Observed			Predicted		Percentage Correct
			AKMA		
			0	1	
Step 0	AKMA	0	976	0	100.0
		1	149	0	.0
Overall Percentage					86.8

- a. Constant is included in the model.
- b. The cut value is .500

Variables in the Equation

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 0 Constant	-1.880	.088	456.642	1	.000	.153

Block 1: Method = Forward Stepwise (Conditional)**Model Summary**

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	703.071	.145	.268
2	551.790	.253	.466
3	516.672	.276	.508
4	497.899	.288	.531
5	472.716	.304	.560
6	462.150	.310	.572
7	457.899	.313	.576
8	455.800	.314	.579

Hosmer and Lemeshow Test

Step	Chi-square	df	Sig.
1	.000	0	.
2	.000	0	.
3	.000	1	1.000
4	10.104	3	.018
5	4.722	3	.193
6	2.590	5	.763
7	4.062	6	.668
8	3.983	6	.679

Classification Table^a

Observed			Predicted		Percentage Correct
			AKMA		
			0	1	
Step 1	AKMA	0	905	71	92.7
		1	68	81	54.4
	Overall Percentage				87.6
Step 2	AKMA	0	898	78	92.0
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				89.9
Step 3	AKMA	0	898	78	92.0
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				89.9
Step 4	AKMA	0	949	27	97.2
		1	83	66	44.3
	Overall Percentage				90.2
Step 5	AKMA	0	922	54	94.5
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				91.3
Step 6	AKMA	0	923	53	94.6
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				91.4
Step 7	AKMA	0	923	53	94.6
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				91.4
Step 8	AKMA	0	923	53	94.6
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				91.4

a. The cut value is .500

Variables in the Equationⁱ

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1 ^a	TA_ANBA	2.720	.206	175.173	1	.000	15.183
	Constant	-2.588	.126	423.757	1	.000	.075
Step 2 ^b	TA_ANBA	3.348	.235	202.668	1	.000	28.458
	TA_DA	4.736	.451	110.514	1	.000	114.032
	Constant	-3.217	.170	358.129	1	.000	.040
Step 3 ^c	YDA_DA	2.413	.366	43.445	1	.000	11.164
	TA_ANBA	3.825	.274	194.509	1	.000	45.851
	TA_DA	5.213	.472	121.933	1	.000	183.728
	Constant	-3.694	.221	279.545	1	.000	.025
Step 4 ^d	YDA_DA	2.632	.375	49.321	1	.000	13.898
	TA_ANBA	3.610	.280	166.414	1	.000	36.963
	TA_DA	5.411	.479	127.639	1	.000	223.840
	ELV1	1.292	.297	18.955	1	.000	3.640
	Constant	-3.913	.235	277.119	1	.000	.020
Step 5 ^e	YDA_DA	2.690	.392	47.181	1	.000	14.738
	TA_ANBA	3.201	.289	122.742	1	.000	24.563
	TA_DA	5.281	.499	111.881	1	.000	196.479
	ELV1	2.104	.345	37.197	1	.000	8.198
	ELV2	1.450	.295	24.115	1	.000	4.262
	Constant	-4.460	.287	241.670	1	.000	.012
Step 6 ^f	YDA_DA	2.416	.395	37.449	1	.000	11.204
	TA_ANBA	3.033	.285	113.346	1	.000	20.760
	TA_DA	5.144	.523	96.920	1	.000	171.466
	ELV1	1.849	.346	28.562	1	.000	6.352
	ELV2	1.234	.296	17.339	1	.000	3.436
	ELV5	-17.531	2304.689	.000	1	.994	.000
	Constant	-4.100	.304	182.296	1	.000	.017
Step 7 ^g	YDA_ANBA	.958	.455	4.428	1	.035	2.606
	YDA_DA	2.765	.448	38.043	1	.000	15.882
	TA_ANBA	3.384	.355	90.798	1	.000	29.498
	TA_DA	5.493	.564	94.978	1	.000	243.070
	ELV1	1.849	.348	28.198	1	.000	6.356
	ELV2	1.206	.297	16.523	1	.000	3.342
	ELV5	-17.414	2284.345	.000	1	.994	.000
	Constant	-4.438	.369	144.572	1	.000	.012
Step 8 ^h	YDA_ANBA	1.042	.466	5.004	1	.025	2.833
	YDA_DA	2.869	.461	38.700	1	.000	17.619
	YDA_GR	1.994	1.108	3.240	1	.072	7.344
	TA_ANBA	3.464	.368	88.606	1	.000	31.960
	TA_DA	5.597	.575	94.896	1	.000	269.494
	ELV1	1.907	.354	29.010	1	.000	6.732
	ELV2	1.250	.301	17.260	1	.000	3.492
	ELV5	-17.345	2279.273	.000	1	.994	.000
	Constant	-4.559	.387	138.653	1	.000	.010

- a. Variable(s) entered on step 1: TA_ANBA.
b. Variable(s) entered on step 2: TA_DA.
c. Variable(s) entered on step 3: YDA_DA.
d. Variable(s) entered on step 4: ELV1.
e. Variable(s) entered on step 5: ELV2.
f. Variable(s) entered on step 6: ELV5.
g. Variable(s) entered on step 7: YDA_ANBA.
h. Variable(s) entered on step 8: YDA_GR.
i. Stepwise procedure stopped because removing the least significant variable result in a previously fitted model.

Veri Seti -10

Logistic Regression

Case Processing Summary

Unweighted Cases ^c		N	Percent
Selected Cases ^{a,b}	Included in Analysis	1125	100.0
	Missing Cases	0	.0
	Total	1125	100.0
Unselected Cases		0	.0
Total		1125	100.0

- a. The variable KCT is constant for all selected cases. Since a constant was requested in the model, it will be removed from the analysis.
- b. The variable SINIF_5 is constant for all selected cases. Since a constant was requested in the model, it will be removed from the analysis.
- c. If weight is in effect, see classification table for the total number of cases.

Dependent Variable Encoding

Original Value	Internal Value
0	0
1	1

Block 0: Beginning Block

Classification Table^{a,b}

Observed			Predicted		Percentage Correct
			AKMA		
			0	1	
Step 0	AKMA	0	976	0	100.0
		1	149	0	.0
Overall Percentage					86.8

- a. Constant is included in the model.
- b. The cut value is .500

Variables in the Equation

	B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 0 Constant	-1.880	.088	456.642	1	.000	.153

Block 1: Method = Forward Stepwise (Conditional)**Model Summary**

Step	-2 Log likelihood	Cox & Snell R Square	Nagelkerke R Square
1	698.868	.149	.274
2	536.031	.263	.485
3	499.376	.287	.529
4	475.735	.302	.556
5	460.956	.311	.573
6	456.813	.313	.578
7	451.891	.316	.583
8	447.216	.319	.588
9	440.255	.323	.596

Hosmer and Lemeshow Test

Step	Chi-square	df	Sig.
1	.000	0	.
2	.000	0	.
3	.000	1	1.000
4	4.423	3	.219
5	2.146	3	.543
6	2.898	3	.408
7	4.853	5	.434
8	10.897	5	.053
9	2.965	6	.813

Classification Table^a

Observed			Predicted		Percentage Correct
			AKMA		
			0	1	
Step 1	AKMA	0	908	68	93.0
		1	68	81	54.4
	Overall Percentage				87.9
Step 2	AKMA	0	904	72	92.6
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				90.4
Step 3	AKMA	0	904	72	92.6
		1	36	113	75.8
	Overall Percentage				90.4
Step 4	AKMA	0	957	19	98.1
		1	83	66	44.3
	Overall Percentage				90.9
Step 5	AKMA	0	923	53	94.6
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				91.4
Step 6	AKMA	0	923	53	94.6
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				91.4
Step 7	AKMA	0	923	53	94.6
		1	44	105	70.5
	Overall Percentage				91.4
Step 8	AKMA	0	946	30	96.9
		1	68	81	54.4
	Overall Percentage				91.3
Step 9	AKMA	0	946	30	96.9
		1	68	81	54.4
	Overall Percentage				91.3

a. The cut value is .500

Variables in the Equation

		B	S.E.	Wald	df	Sig.	Exp(B)
Step 1	TA_ANBA	2.767	.207	178.598	1	.000	15.906
	Constant	-2.592	.126	424.939	1	.000	.075
Step 2	TA_ANBA	3.398	.237	206.454	1	.000	29.912
	TA_DA	5.303	.557	90.668	1	.000	200.889
	Constant	-3.223	.170	359.706	1	.000	.040
Step 3	YDA_DA	2.480	.368	45.553	1	.000	11.947
	TA_ANBA	3.879	.275	198.410	1	.000	48.384
	TA_DA	5.784	.574	101.354	1	.000	324.952
	Constant	-3.704	.221	281.225	1	.000	.025
Step 4	YDA_DA	2.797	.382	53.491	1	.000	16.387
	TA_ANBA	3.754	.283	176.106	1	.000	42.683
	TA_DA	6.076	.584	108.189	1	.000	435.338
	ELV1	1.462	.301	23.547	1	.000	4.317
	Constant	-4.020	.245	269.714	1	.000	.018
Step 5	YDA_DA	2.847	.396	51.823	1	.000	17.243
	TA_ANBA	3.400	.295	133.157	1	.000	29.973
	TA_DA	5.964	.597	99.797	1	.000	389.264
	ELV1	2.113	.351	36.232	1	.000	8.274
	ELV2	1.157	.306	14.336	1	.000	3.180
	Constant	-4.477	.296	228.314	1	.000	.011
Step 6	YDA_DA	2.914	.401	52.827	1	.000	18.435
	YDA_GR	3.176	1.159	7.509	1	.006	23.957
	TA_ANBA	3.442	.299	132.343	1	.000	31.265
	TA_DA	6.032	.601	100.671	1	.000	416.712
	ELV1	2.176	.357	37.187	1	.000	8.810
	ELV2	1.203	.310	15.085	1	.000	3.329
	Constant	-4.563	.306	222.644	1	.000	.010
Step 7	YDA_ANBA	1.051	.465	5.102	1	.024	2.861
	YDA_DA	3.294	.458	51.783	1	.000	26.945
	YDA_GR	3.522	1.179	8.932	1	.003	33.867
	TA_ANBA	3.852	.378	104.044	1	.000	47.078
	TA_DA	6.410	.640	100.459	1	.000	607.719
	ELV1	2.113	.361	34.180	1	.000	8.277
	ELV2	1.121	.311	12.985	1	.000	3.069
	Constant	-4.909	.373	173.221	1	.000	.007
	YDA_ANBA	1.122	.467	5.778	1	.016	3.071
Step 8	YDA_DA	3.277	.460	50.858	1	.000	26.506
	YDA_GR	3.668	1.182	9.621	1	.002	39.169
	TA_ANBA	3.891	.380	104.959	1	.000	48.943
	TA_DA	6.445	.643	100.502	1	.000	629.796
	ELV1	1.763	.396	19.868	1	.000	5.831
	ELV2	1.022	.316	10.446	1	.001	2.779
	YOL6	-.600	.277	4.699	1	.030	.549
	Constant	-4.454	.423	110.914	1	.000	.012
	YDA_ANBA	1.004	.468	4.604	1	.032	2.730
	YDA_DA	3.054	.468	42.636	1	.000	21.205
Step 9	YDA_GR	3.313	1.189	7.758	1	.005	27.457
	TA_ANBA	3.698	.378	95.705	1	.000	40.364
	TA_DA	6.164	.646	90.959	1	.000	475.430
	ELV1	1.550	.395	15.373	1	.000	4.711
	ELV2	.851	.316	7.235	1	.007	2.341
	ELV5	-16.887	2276.649	.000	1	.994	.000
	YOL6	-.585	.276	4.494	1	.034	.557
	Constant	-4.114	.433	90.477	1	.000	.016

- a. Variable(s) entered on step 1: TA_ANBA.
- b. Variable(s) entered on step 2: TA_DA.
- c. Variable(s) entered on step 3: YDA_DA.
- d. Variable(s) entered on step 4: ELV1.
- e. Variable(s) entered on step 5: ELV2.
- f. Variable(s) entered on step 6: YDA_GR.
- g. Variable(s) entered on step 7: YDA_ANBA.
- h. Variable(s) entered on step 8: YOL6.
- i. Variable(s) entered on step 9: ELV5.

ÖZGEÇMİŞ

Serhat DAĞ, 1976 yılında Mercan'da (Erzincan) doğdu. İlkokulu Erzincan, Ortaokul ve Lise tahsilini Erzurum'da tamamladı. 1993 yılında K.T.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümüne girdi ve 1997 yılında Jeoloji Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. Aynı yıl K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Kasım 1998'de K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Kasım 2000 tarihinde K.T.Ü. Gümüşhane Mühendislik Fakültesinin açmış olduğu Araştırma Görevliliği sınavını kazanarak Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. Temmuz 2001'de yüksek lisans öğrenimini tamamladı. Aynı yıl Eylül ayında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde Doktora öğrenimine başladı. Yabancı dili İngilizce olup, evli ve bir çocuk babasıdır.